



F12962/1i

46

České vysoké učení technické v Praze

10 72

Fakulta strojní

Základy přesné mechaniky I

prof. Ing. Josef Kamarád, DrSc.,
doc. Ing. Zdeněk Sládek, CSc.



Ediční středisko ČVUT, Praha 1, Husova 5



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Základy přesné mechaniky I

prof. Ing. Josef Kamarád, DrSc.,
doc. Ing. Zdeněk Sládek, CSc.

1987

Ediční středisko ČVUT, Praha 1, Husova 5

STANOVIS

STANOVIS PRÁVNÍKŮ V PRAZE	
15743/84	F 12 962/12
9.12.84	
CONT	
34	

BA02 453 --
CS 3108 N

OBSAH :

Obsah	str. 3
Předmluva	7
Literatura	10
1. ÚVOD	11
1.1. VÝZNAM PŘESNÉ MECHANIKY	11
1.2. ROZSAH PŘESNÉ MECHANIKY	13
Literatura	17
2. ZÁKLADNÍ POJMY A NÁZVY	18
2.1. NÁZVOSLOVÍ V PŘESNÉ MECHANICE	18
2.2. POJMY UŽÍVANÉ V METODICE KONSTRUOVÁNÍ	33
Literatura	38
3. VLASTNOSTI POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ	39
① 3.1. OBECNÉ ZÁSADY PRO VOLBU MATERIÁLŮ V PŘESNÉ MECHANICE	39
③ 3.2. MATERIÁLY KOVOVÉ	43
3.2.1. Kovy železné, feromagnetické a jejich slitiny	43
3.2.2. Kovy barevné a jejich slitiny	47
3.2.3. Speciální slitiny, odporové a magnetické materiály	51
3.2.4. Kovy lehké a jejich slitiny	53
3.2.5. Kovy vzácné a jejich slitiny	56
3.2.6. Ostatní kovy	58
④ 3.3. MATERIÁLY NEKOVOVÉ	59
3.3.1. Polovodiče	59
3.3.2. Izolanty	61
3.3.3. Umělé látky	62
3.3.4. Nerosty	64
3.3.5. Látky keramické	66
3.3.6. Brusné a lešticí prostředky	69
3.4. OSTATNÍ LÁTKY A MATERIÁLY	71
3.4.1. Tmely a lepidla	71
3.4.2. Nátěry a laky	72
3.4.3. Maziva a mazadla	73
3.4.4. Ochranné povlaky při rytí a leptání	73
3.4.5. Materiály tenkých optických vrstev	74
3.4.6. Čisticí a otírací látky a materiály	75
Literatura	77
4. POŽADAVKY KLADENÉ NA PŘÍSTROJE	78
② 4.1. FUNKČNÍ ZPŮSOBILOST	79
4.1.1. Citlivost přístroje	79
4.1.2. Přesnost přístroje	81



4.1.2.1. Zdroje a příčiny chyb přístrojů	str. 83
4.1.3. Spolehlivost přístroje	91
4.1.4. Životnost přístroje	94
4.2. STATICKÉ A DYNAMICKÉ VLASTNOSTI	96
4.2.1. Statická charakteristika	96
4.2.2. Linearita statické charakteristiky	97
4.2.3. Dynamická charakteristika	97
4.2.4. Dlouhodobá časová stabilita charakteristik	100
4.2.5. Vliv teploty na statickou charakteristiku	100
4.2.6. Hysterezní jevy	100
4.2.7. Stabilita nuly	101
4.2.8. Schopnost krátkodobého a dlouhodobého přetížení	101
4.3. ODOLNOST PROTI OTŘESŮM, VIBRACÍM, SETRVAČNÝM SILÁM A JINÝM MECHANICKÝM VLIVŮM	101
4.4. ODOLNOST PROTI CHEMICKÉMU PŮSOBENÍ	101
4.5. SNADNOST MONTÁŽE A DEMONTÁŽE	101
4.6. JEDNODUCHOST SEŘÍZENÍ	102
4.7. JEDNODUCHOST A SNADNOST ČTENÍ ÚDAJŮ PŘÍSTROJE	102
4.8. OHLED NA BEZPEČNOST A OCHRANU ZDRAVÍ PŘI PRÁCI	104
4.9. ESTETICKÝ VZHLED	104
Literatura	105
5. METODIKA KONSTRUOVÁNÍ	106
5.1. DRUHY KONSTRUKCÍ	107
5.2. KONSTRUKČNÍ METODY	108
6. SPOJOVACÍ METODY A PRVKY	117
6.1. NÝTOVÁNÍ	120
6.1.1. Nepřímé nýtové spojení	120
6.1.1.1. Konstrukce nýtového spojení	121
6.1.2. Přímé nýtové spojení	124
6.2. SPOJENÍ PŘEHYBEM, PROMÁČKNUTÍM A LEMOVÁNÍM	127
6.2.1. Spojení přehybem	127
6.2.1.1. Konstrukční provedení	128
6.2.2. Spojení promáčkutím	129
6.2.3. Spojení lemováním	130
6.3. SPOJENÍ NALISOVÁNÍM A NARÁŽENÍM	132
6.3.1. Spojení nalisováním	132
6.3.1.1. Konstrukční provedení nalisovaných spojů	134
6.3.2. Spojení narážením	135
6.4. SPOJENÍ ZALITÍM	136
6.4.1. Tvarování spojení u umělých hmot	137
6.4.2. Tvarování spojení zalitím u součástek z litých kovů	139
6.5. SVAŘOVÁNÍ V PŘESNÉ MECHANICE	140
6.5.1. Tvarování svarových spojů	143
6.5.1.1. Tvarování tupých a koutových svarů	143
6.5.1.2. Tvarování přeplátovaných spojů	144

6.5.2. Svařování plastických hmot a skla	str. 148
6.6. TVRDÉ A MĚKKÉ PÁJENÍ	149
6.6.1. Výpočet pájených spojů	150
6.6.2. Tvarování pájených spojů	151
6.6.2.1. Tvarování spojů při tvrdém pájení	151
6.6.2.2. Tvarování spojů při měkkém pájení	152
6.7. SPOJOVÁNÍ KOVŮ SE SKLEM A KERAMIKOU	154
6.8. SPOJOVÁNÍ LEPENÍM A TMELENÍM	157
6.8.1. Spojení lepením	157
6.8.1.1. Lepidla	157
6.8.1.2. Pevnostní výpočet lepeného spoje	158
6.8.1.3. Tvarování lepených spojů	159
6.8.2. Spojení tmelením	162
6.8.2.1. Tmely	162
6.8.2.2. Tvarování tmelených spojů	163
6.9. SPOJENÍ KLÍNY, PERY, KOLÍKY	164
6.9.1. Spojení klíny a pery	164
6.9.2. Spojení kolíky	165
6.9.2.1. Výpočet a konstrukce spojení kolíky	166
6.10. ZÁVLAČKY A POJISTNÉ KROUŽKY	169
6.11. UPEVNOVACÍ ŠROUBY A MATICE	170
6.11.1. Tvary šroubů a matic	173
6.12. ŠROUBOVÁ SPOJENÍ	176
6.12.1. Šroubová spojení kovových dílů	176
6.12.2. Šroubová spojení dřevěných konstrukcí	181
6.12.3. Pojištění šroubových spojů	182
6.13. ZÁVITOVÁ (CENTRICKÁ) SPOJENÍ	185
6.14. BAJONETOVÉ SPOJENÍ	189
6.14.1. Bajonetové spojení s tvarovým pojištěním	189
6.14.2. Bajonetové spojení se silovým pojištěním	190
6.15. SVÍRACÍ ZAŘÍZENÍ	191
6.15.1. Konstrukce svíracích zařízení	193
Literatura	199
7. PŘÍMÁ VEDENÍ	200
7.1. KLUZNÁ VEDENÍ	202
7.1.1. Konstrukce přímých kluzných vedení	204
7.2. VALIVÁ VEDENÍ	213
7.3. PŘÍMÁ VEDENÍ PŘIBLIŽNÁ	224
7.4. PARALELNÍ VEDENÍ	227
Literatura	231
8. OTOČNÁ ULOŽENÍ	233
8.1. OTOČNÁ ULOŽENÍ KLUZNÁ	234
8.1.1. Kluzná ložiska	235
8.1.2. Čípková uložení	249
8.1.3. Hrotová uložení	254

11) Sborné posudy průmyslových vedení



12	8.2. OTOČNÁ ULOŽENÍ VALIVÁ	str. 261
	8.2.1. Valivá ložiska	264
	8.3. PŘÍSTROJOVÁ A MINIATURNÍ LOŽISKA	275
	8.4. BŘITOVÁ ULOŽENÍ	278
	8.4.1. Konstrukce břitového uložení	281
14	8.5. SPECIÁLNÍ OTOČNÁ ULOŽENÍ	287
	8.5.1. Uložení úhloměrých strojů	287
	8.5.2. Kulové a kuličkové klouby	297
	Literatura	305
15	9. ZAŘÍZENÍ PRO PŘENOS A PŘEVOD POHYBU	307
	9.1. HRÍDELE A HRÍDELOVÉ SPOJKY	309
	9.1.1. Hřídele	309
	9.1.2. Spojky	312
	9.1.2.1. Spojky pevné	313
	9.1.2.2. Spojky poddajné a výkyvné	315
	9.1.2.3. Spojky výsuvné	319
	9.1.2.4. Spojky zvláštní	324
	9.2. OZUBENÁ KOLA A SOUKOLÍ	332
	9.2.1. Evolventní ozubená kola a soukolí	333
	9.2.2. Cykloidní a hodinářské ozubení	341
	9.2.3. Diferenciály	345
	9.2.3.1. Diferenciály s čelními ozubenými koly	345
	9.2.3.2. Diferenciály s kuželovými ozubenými koly	348
	9.2.3.3. Šnekové diferenciální soukolí	350
	9.2.3.4. Planetová soukolí	352
	9.2.4. Speciální soukolí	352
	9.2.5. Stanovení převodového poměru u ladících mechanismů	357
	9.3. TŘECÍ PŘEVODY	360
	9.4. PŘEVODOVÉ PÁKY	371
	9.5. PŘENOS A PŘEVOD POHYBU OHEBNÍMI ČLENY	386
	9.5.1. Přenos a převod pohybu ohebnými pásy	386
	9.5.2. Přenos a převod pohybu řetězy	394
	9.6. INTEGRACNÍ MECHANISMY	396
	9.7. VAČKY, VÝSTŘEDNÍKY, DRAŽKOVÉ KOTOUČE	410
16	9.8. PODÁVACÍ ÚSTROJÍ ZÁPADKOVÁ	423
	Literatura	431

P R E D M L U V A

Tento učební text je určen ke studiu předmětu "Základy přesné mechaniky" ve studijním oboru 23-37-8 - Přístrojová, regulační a automatizační technika. Prvky přesné mechaniky - jakožto výuková konstrukční disciplína - znamenají pro vědní obor přesná mechanika to, co částí strojů a mechanismů pro ostatní strojírenské obory. Avšak na řadě prvků přesné mechaniky nacházíme i příklady, osvětlující podstatu a význam přesnosti v přístrojové a měřicí technice.

Hlavním cílem předmětu "Základy přesné mechaniky" je orientovat studenty a prohloubit u nich znalosti konstruování ve specifické oblasti strojírenství - v přístrojové a měřicí technice a přesném strojírenství - na základě aplikací fyziky, s přihlédnutím k vysokým požadavkům na přesnost navrhovaných a konstruovaných zařízení, na jejich technologičnost a k nárokům na spolehlivost v provozu, i na hospodárnost výroby.

XVI. sjezd Komunistické strany Československa vytyčil řadu konkrétních úkolů pro československý strojírenský průmysl, zvláště pak pro odvětví přístrojové, automatizační a měřicí techniky, opírajících se o vědeckotechnický pokrok, jejichž řešení přispěje ke zvýšení úrovně vědy, techniky, výroby i ekonomiky. Ze závěrů XVI. sjezdu KSČ plyne další významný úkol, jímž je další intenzivní rozvoj technických oborů na vysokých školách, zejména z hlediska jejich rozhodujícího dopadu na další rozmach našeho národního hospodářství. Všechny úkoly výchovně-vzdělávacího procesu se objevují v kvalitativně vyšší úrovni na vysokých školách technických, kde k nim přistupují další složité otázky, vyplývající z úlohy vysokých škol v procesu výchova - věda - výzkum - výroba - užití.

Ve sjezdových dokumentech byla zdůrazněna jak úloha vysokých škol při přípravě kvalifikovaných odborníků, tak i úloha vědy a využívání jejích výsledků v technickém rozvoji. Odvětví strojírenství bude i nadále základem rozvoje československé ekonomiky a bude se výrazně podílet na technickém pokroku ve všech odvětvích našeho národního hospodářství. V souladu s touto tendencí směřuje hlavní aktivita oboru přístrojové techniky do těchto oblastí: projektování a využívání automatizovaných systémů řízení; rozvoj novodobých metod měření jak pro průmyslové aplikace, tak i v různých vědních oborech a odvětvích; ověřování nových prvků přesné mechaniky a optiky; využití mikroelektroniky v přístrojové technice a ve strojírenství; optoelektronika; využití laserové techniky; holograficko-interferometrické metody měření apod.

Konstrukční předmět "Základy přesné mechaniky", přednášený na strojních fakultách vysokých škol technických v ČSSR bude tímto učebním textem pokryt asi ze 70%. Zbytek studenti naleznou ve speciální knižní literatuře naší, zahraniční i časopisecké, k níž jsou uvedeny odkazy za každou hlavní kapitolou - popřípadě v doplňkových skriptech, jimiž bude tento základní učební text doplňován o nové poznatky v konstrukcích přesné mechaniky, přístrojové a měřicí techniky. Učební text je koncipován tak, aby mohl být využit na těch strojních fakultách vysokých škol technických v ČSSR, kde je zavedena výuka ve studijním oboru 23-37-8 - Přístrojová, regulační a automatizační technika, a to zvláště s ohledem na jejich specializovanou zaměření s tím, že podle svých specifických potřeb upraví rozsah příslušných kapitol, některé omezí a jiné rozšíří v doplňkových skriptech.

12) Základní koncepty a jistoty
14) Základní koncepty pro rozpracování
16) Základní koncepty pro rozpracování
18) Základní koncepty pro rozpracování
20) Základní koncepty pro rozpracování



Koncepce tohoto učebního textu je volena tak, aby poskytl celkový přehled i detailní údaje o problématice konstrukcí v přesné mechanice, které musí strojní inženýr znát. Je zde věnována pozornost variabilitě při volbě konstrukce z hlediska technologičnosti výroby, účelu a použití v provozu, přesnosti i spolehlivosti, pozornost otázkám volby vhodných materiálů, i otázkám ekonomickým. Členěním na jednotlivé kapitoly je v podstatě zachován systém rozdělení hlavních konstrukčních prvků přesné mechaniky, přístrojové a měřicí techniky tak, jak je vytvořil prof. Dr. Ing. Miroslav Hajn, zakladatel vědní disciplíny přesná mechanika, a jak je také uveden v jeho publikacích [1], [2], [3]. V těchto publikacích byly shromážděny různé detailní poznatky, zčásti výtěžné z jeho vlastní zkušenosti, zčásti získané z literatury mnoha desetiletí a z různých (příbuzných) oborů. Prof. Hajn jednak utřídil konstrukční prvky podle zásad přesné mechaniky a provedl jejich specifikaci, a jednak vytvořil obsahové dílo, pokrývající ve své době plně problematiku konstrukce v přesné mechanice. Vytvořil filosofii přesné mechaniky tím, že u všech vyskytujících se problémů vykládá příčiny daného jevu, dané situace a jejich důsledky, které nutno pak vzít v úvahu při řešení dané konkrétní problematiky.

Tato učební pomůcka obsahuje přehled o látkách a materiálech, o jejich vlastnostech a využití v konstrukci a ve výrobě přístrojů a zařízení přesné mechaniky, dále pak konstrukční metody (metodiku konstruování) v přesné mechanice, požadavky a zásady pro správnou konstrukci; hlavně pak jsou probrány obecně jednotlivé základní konstrukční prvky a způsoby, někdy bez ohledu na použití v konkrétním zařízení, jindy naopak s uvedením příkladu použití. Učební text seznamuje čtenáře se základy přesné mechaniky; odborná literatura, věnovaná konstrukcím v přesné mechanice je zatím poměrně velmi chudá, jak početně, tak i obsahem. Proto jsou zde shromážděny vědeckotechnické poznatky, které jsou roztroušeny v odborných časopisech a publikacích, popř. které nebyly dosud publikovány, ale jsou patrné na některých výrobcích přístrojové techniky a přesné mechaniky.

V učebním textu je zdůrazněn význam teorie pro praxi. "Nic na světě není praktičtější, než dobrá teorie a nejceněnější výzbrojí technika jsou jeho znalosti teoretické a obecné"¹⁾. Zkušenost ukazuje, že nejrychleji lze osvojit praktické znalosti na základě dobrých znalostí teoretických a obecných. Vzhledem k značné šíři oboru přesné mechaniky a technické optiky je učební text zaměřen obecně. Nemí jeho úkolem popisovat jednotlivé přístroje a přesné stroje. Naopak jeho úkolem je seznámit studenty s tím, co je celému oboru přesné mechaniky společné; se základními součástmi, z nichž se skládají přístroje a s obecnými poznatky a zásadami, jimiž se konstruktér přístrojů musí řídit.

Pod pojmem obecných znalostí máme na mysli umět využít možnosti aplikace v různých případech: tak např. z přesného děleného kruhu (limbus), přesného otočného uložení, vhodného odečítacího zařízení s alhidadou a z ustanovky můžeme sestavit jakýkoliv úhломěrný stroj, k jakémukoliv účelu (teodolit, nivelační přístroj, goniometr, spektrometr, refraktometr, dělicí stůl pro souřadnicovou vyvrtávací, kruhový dělicí stroj, ale i různé dalekohledové přístroje hvězdářské, i speciální stroje pro výzkum a jiné přesné pracovní stroje); nebo analytické váhy, skládající se z prvků běžných v celé přesné mechanice (vahadlo, břity, pánvice, závěsy apod.), jsou popsány rovnicemi technické mechaniky [4] a tyto rovnice

¹⁾ M. Hajn, Přehled přesné mechaniky (druhé vydání). SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1969. Str. 9.

platí stejně tak pro hodiny (kyvadlo, setrvačka), pro odstředivý tachometr, integrátor, pro jakýkoliv pohybující se mechanismus.

Pro konstruování je třeba bezpodmínečně vyžadovat znalosti technologií: jsou konstrukce, přístroje a zařízení, které zůstanou u níkaty, nebo budou vyráběny pouze v malém počtu; jsou však konstrukce jiné, u nichž musí konstruktér počítat s výrobou velkých serií, nebo dokonce s výrobou hromadnou. Pro velkovýrobu je důležitá technologičnost konstrukce, snadná vyrobiteľnost, hlediska výrobně - ekonomická.

Držíme se zásady, že nepředepisujeme materiál zbytečně příliš kvalitní a tím i drahý a také obyčejně i hůře obrobiteľný; nepředepisujeme zbytečně těsné a výrobně drahé lícování. Pro hromadnou výrobu volíme odlitky, výlisky, naproti tomu u unikátů se odlitkám a drahým modelům (nemluvě o kokilách) vyhneme a použijeme konstrukce buď montované (sešroubované), svařované, nebo pájené (u méně namáhaných součástí). Konstrukce součástí volíme tak, aby se obrábění mohlo provádět na příslušných obráběcích strojích, např. na souřadnicovém stroji apod. Pokud jde o otázku jednoduchosti příslušného zařízení a jeho částí (součástí), začínáme vždy s řešením jednodušším; neuspějeme-li např. z hlediska funkce, přesnosti, nebo spolehlivosti apod., nesmíme se bát složitější konstrukce. Mnohdy lze součást vyrobit z jednoho kusu, nebo složit z několika kusů; zde není mnohdy rozhodující jen ohled na výrobu a montáž, ale nutno vzít ohled též na požadavek tuhosti, neproměnnosti, tvarové i rozměrové stálosti (pak raději se vyhneme zbytečnému dělení součástí).

Pojmy konstruování, konstrukce a konstruktér jsou dosti široké; proto je třeba si je objasnit: Na nižším stupni je konstruktér, který třeba upravuje konstrukci již existující, modifikuje, nebo zlepšuje. Na středním stupni pak je konstruktér, který má propracovat novou myšlenku nebo koncepci. Na vyšším stupni je konstruktér, který přichází s novými myšlenkami, nebo vynalezl něco nového. Avšak základním charakteristickým znakem složité přístrojové techniky, především vědeckých přístrojů, je jejich složitost a komplexnost. Jejich výzkum, stavba i výroba vyžaduje vysoce erudované specialisty, od vědeckých pracovníků až po řemeslníky. Je to náročná činnost analytická, ale především syntetická, na níž jsou kladeny nejvyšší nároky; na ní pak také závisí konečný výsledek, jehož úroveň se pozná jednoznačně srovnáním se světovou špičkou. V dnešní době se poznatky v technice hromadí tak rychle, že jednotlivec nemůže všechno zvládnout; proto nejvyšší stupeň konstrukční činnosti je založen na vytváření erudovaných pracovních týmů. Také termín nová koncepce je zde výstižnější, než termín nová konstrukce: K vytvoření nové koncepce je třeba vedle teoretických a obecných znalostí ještě i schopnosti syntetizovat a kombinovat; dále pak tvůrčí schopnosti a nápaditosti; dobrá je i znalost detailní konstrukce.

Normy pro některé součásti, pro jakost povrchu, lícování apod. mohou znamenat pro konstruktéra jisté omezení. Zde se řídíme pravidlem, že norma lícování součástí použijeme všude tam, kde to připouští funkce i jako st, až snad s malým ústupkem na vzhled konstrukce (design); jinak se ovšem raději od normy odchýlíme. Dále vystupuje nový požadavek: dřívější přístroje laboratorní se dnes dostávají již do výrobního procesu; je třeba proto dbát již při konstruování na jejich robustnost, přístupnost, možnost snadné obsluhy a manipulace s přístrojem, možnost snadné údržby a oprav.

V jednotlivých kapitolách tohoto učebního textu je upozorněno na řadu negativních jevů s nimiž se při konstrukci v přesné mechanice setkáváme: tvarová a rozměrová nestálost součástí; vliv výrobních nepřesností na funkci zařízení; vliv



vůle a tření; výskyt nežádoucí pružnosti (nedostatek tuhosti), nebo naopak nedokonalá pružnost některých elementů; výskyt rušivých vlivů a nutnost jejich kompenzace (kompenzační zařízení); nutnost nebo zbytečnost rektifikace, justáže (zařízení rektifikační), nebo aretace; seřizování nuly, ustavování přístroje do požadované polohy apod. Jsou to otázky velmi důležité, které ale často můžeme ověřit výpočtem. Některé výpočty v přesné mechanice nebývají přesné (pro nedostatek teoretických podkladů - vzorců, vztahů, ověřených hodnot různých součinitelů, konstant apod.), avšak i hrubý výpočet často postačí alespoň pro orientaci a přinejmenším nám dává řádovou představu.

Pro tvůrčího konstruktéra jsou často nepříjemné patentové ochrany. Stává se, že byla vytvořena nová a slibná koncepce, avšak potom se shledá, že tento způsob není schůdný pro patentové překážky; někdy to vede k řešení odlišnému, avšak vyhovujícímu. Proto je nutné provést patentový průzkum (jistou cestou jsou také licenční poplatky).

Cestu k cíli při konstruování zadaného úkolu může komplikovat mnoho znaností řešení úkolu. Někdy je možné pouze jedno zásadní řešení; jindy se však nabízí několik možných variant řešení. Pak je ovšem nutná zevrubná analýza jednotlivých řešení, nebo porovnání jednotlivých alternativ, propracovaných konstrukčně do jistých podrobností, často značných. Nejvhodnější metodou vůbec je nakreslit několik alternativ, analyzovat je, a třeba i znovu je propočítat, změnit apod.

Konstruování je tvůrčí činnost, nesnadná a složitá. Je k ní třeba mnoho znalostí, vynalézavosti, praxe i intuice, často i rutiny. Přičteme-li k tomu to, co je dále uvedeno o rozsáhlosti a mnohostrannosti přesné mechaniky a jejích souvislostech s ostatními obory, vidíme, že konstruovat přístroje a zařízení přesné mechaniky je práce nejen zajímavá, ale především velmi užitečná pro celek.

Do učebního textu "Základy přesné mechaniky" zpracovali autoři jednotlivé části takto:

Prof. Ing. Josef Kamarád, DrSc. (strojní fakulta ČVUT Praha): Kapitoly 1., 2.1., 3. a 4.

Doc. Ing. Zdeněk Sládek, CSc. (strojní fakulta VUT Brno): Kapitoly 2.2., 5., 6., 7., 8. a 9.

Literatura:

- [1] M. Hajn, Základy jemné mechaniky a hodinářství. Vydavatelství Práce, Praha, 1953.
- [2] M. Hajn, Přehled přesné mechaniky. Vydavatelství Práce, Praha, 1956.
- [3] M. Hajn, Přehled přesné mechaniky. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1969.
- [4] J. Kožešník, Základy teorie přístrojů. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1965.

1. Ú V O D

Přesná mechanika je obor, jehož význam v období vědeckotechnického rozvoje stále více vzrůstá. Přesná mechanika (a technická optika) se zabývá teorií a výzkumem, konstrukcí a stavbou i technologií výroby přesných a jemných přístrojů, nástrojů, strojů a zařízení jak pro výrobu, provoz, regulaci a měření, tak i pro vědeckou a výzkumnou práci, i pro potřeby denního života; zasahuje do všech odvětví a sfér lidské činnosti. Výrobky přesné mechaniky (a v souvislosti s tím i optiky) se významně uplatňují:

- ve výrobě (od prvovýroby, až po výrobu finální: doly, hutě, stavebnictví, strojírenství, hlavně přesné strojírenství, elektrotechnika, elektronika a mikroelektronika, zemědělství a potravinářství atd.);
- v dopravě a manipulaci (letectví, signalizační zařízení, automatické řízení, automatické manipulátory a průmyslové roboty atd.);
- ve vědě a výzkumu (výzkum hmoty, vesmíru, Země, matematika, teoretické základy techniky, chemické vědy, živá hmota, člověk a biosféra, zdravotnictví atd.);
- v metrologii, která je nedílnou součástí výroby a článkem v systému řízení jakosti, i nedílnou součástí vědeckého bádání (metrologie fyzikálních veličin, chemických veličin - např. délka, plocha, rovinný úhel, hmotnost, hustota, viskozita, tvrdost, fotometrie, spektrofotometrie, kolorimetrie, polarometrie, chromatografie, ionometrie, radiometrie, pH-metrie, konduktometrie, coulometrie, voltametrie apod.);
- ve zdravotnictví, v biologii;
- při upevňování obranyschopnosti našeho státu;
- při rozvoji vzdělávání, kultury, osvěty a umění (fotografie, film, kinematografie, rozhlas, televize, audiovizuální technika apod.);
- při ovlivňování vývoje a pokroku v jiných oborech (tradice špičkové přesné výroby a netradiční, nekonvenční - mnohdy značně náročná - technologie se přenášejí a aplikují i v jiných odvětvích průmyslu; tím se stimuluje vývoj i v jiných oborech výroby a výzkumu).

1.1 VÝZNAM PŘESNÉ MECHANIKY

Bez výtvorů přesné mechaniky by nebyla možná dnešní výroba, ani dnešní věda a technický výzkum, jakýkoliv pokrok a nebyl by možný ani dnešní způsob života. Využití výrobků přesné mechaniky začíná již v prvovýrobě: proměřování v dolech, měření a regulace výrobních režimů v hutích. Měřidla a přístroje jsou nutná ve výrobě, přímo u pracovních strojů i v kontrolních odděleních. Pouhá empirie ve výrobě ustoupila a je nahrazena přesným číselným předpisem; ten může být však dodržen jen zásluhou přesných měřicích přístrojů. Od pouhého měření ve strojírenské výrobě, v energetice, v chemické výrobě postupujeme k automatické regulaci provozů.

Rozvoj vědy byl již v minulosti vždy úzce spojen (a mnohdy přímo podmíněn) vytvořením nejdříve pozorovacích a později i měřicích přístrojů: dalekohled, mikroskop, váhy, hodiny, elektrické přístroje. Platí to o všech přírodních vědách, o všech jejich aplikacích; platí to o biologii, lékařství, zdravotnictví, které by bylo bezmocné bez mikroskopu, rentgenu, různých diagnostických přístrojů apod. Technický výzkum, který je dnes podmínkou dalšího rozvoje výroby, je čin-



ností, v níž se využívají nejrozmanitější měřicí aparatury.

Vědeckotechnický rozvoj je pojem, který se nejčastěji vyskytuje v souvislosti s přechodem na vyšší kvalitativní úroveň průmyslové výroby. Jak z tohoto termínu vyplývá, jedná se o využití vědy a výsledků výzkumu v technické praxi, zejména ve výrobě; jedná se o zveřejnění výroby využitím vědeckých poznatků fyziky, chemie (ale i biochemie) při technologicky náročných výrobních procesech. Věda se stále více stává výrobní silou: dnes již to nejsou pouhé zkušenosti, kdy empirie dává odpověď na většinu otázek; nejsou to již pouze jednotlivé objevy a vynálezy, které dříve ovlivňovaly výrobu velice málo, ale silící proud nových myšlenek, který je zdrojem růstu efektivity a kvality výroby. Soudobé přesné strojírenství, elektronika (zejména mikroelektronika), ale i soudobé hutní procesy, chemická výroba složitých látek (mnohdy s polovodičovou čistotou) se neobejdou bez hlubokého pohledu do subtilních procesů, bez stálého získávání objektivních informací. Přístrojovou techniku, přesnou mechaniku a optiku, vědecké přístroje, které mohou tuto úlohu splnit velmi spolehlivě, musíme považovat ve výrobě za nepostradatelné; na jejich použití závisí často řešení zásadních problémů. Avšak i jejich využití ve výrobě je nevyhnutelné: existují takové výrobní obory, kde další pokrok bez nasazení složité přístrojové techniky je nemyslitelný. Proto přístrojová technika z těchto důvodů zaznamenává mimořádně rychlý růst ve vyspělé průmyslové výrobě.

S výrobky přesné mechaniky a optiky pracují nejen odborníci různých oborů na svých pracovištích (od rysovadla až po výpočetní techniku); nacházíme je i ve školách (audiovizuální technika), ve zdravotnictví, pronikly do osvěty a kultury (kinematografie, rozhlas, televize), ale nacházíme je dokonce i v domácnosti (hodiny, aneroid, teploměr, elektroměr) a používáme je i v soukromém životě (fotopřístroje, kinopřístroje apod.).

Charakteristickými vlastnostmi současných přístrojů jsou: složitost, vysoké požadavky na kvalitu použitých materiálů, rovněž požadavky na výrobu součástí, jejich přesnost, rozměrovou a tvarovou stabilitu; dále pak široké uplatnění výpočtových technik, umožňující automatizaci experimentů, pokusů a měření i vyhodnocování jejich výsledků. Jako příklady můžeme uvést některé zajímavé přístroje: Jedním z nejsložitějších přístrojů je spektrometr nukleární magnetické rezonance, sloužící ke studiu složitých organických látek mimořádně citlivou metodou, která otvírá možnosti studia biologických objektů včetně lidského těla. V silných magnetických polích je zkoumáný preparát vystaven vysokofrekvenčnímu poli; absorpce energie závisí na dané struktuře molekul vzorku a na frekvenci pole; vytvořený signál je dále zpracováván počítačem a výsledkem je spektrum, z něhož se dá určit struktura vzorku.

Jiným příkladem je laser, zdroj světla, který je čistým výsledkem invence lidského ducha, a který nachází ve svých různých modifikacích široké uplatnění v nejrozmanitějších oblastech vědy a techniky. Soudobá optika a optoelektronika je jedním ze základních předpokladů vysoké úrovně jak činnosti výzkumné, tak i rozvoje kvality a efektivity v mnoha výrobních oborech. Proto náleží rozvoji laserové techniky, optiky a optoelektroniky odpovídající místo: lasery se stávají (a budou se stále častěji uplatňovat) součástí pracovních nástrojů, strojů, přístrojů a zařízení v mnoha technických a vědních oborech. Laserem lze např. měřit s neuvěřitelnou přesností délky, úhly, rovinnost, ale i vibrace a kmitání, na základě interference dvou svazků koherentních světelných paprsků. Jedno z našich nejvýznamnějších průmyslových odvětví - přesné strojírenství - je stále více

závislé na přesném měření pomocí laserového interferometru. (Ovšem počítá se s vybavením laserovými interferometry přímo u přesných obráběcích strojů.)

Jinou z oblastí, která využívá možností přesného měření, je mikroelektronika (ovšem zde jsou nároky na přesnost ještě vyšší). V souvislosti s kybernetizací a elektronizací je zapotřebí celé řady přístrojů a zařízení pro výrobu klíčových součástek - integrovaných obvodů, dále zařízení a přístroje pro technologické a diagnostické účely v mikroelektronice, nebo využití elektronové optiky, rastrovací elektronové mikroskopie. S pomocí jemného elektronového svazku můžeme nejen kontrolovat složitou strukturu integrovaných obvodů (odhalit chyby v návrhu i při výrobě), ale i analyzovat integrovaný obvod v jeho funkci (s pomocí počítače), nebo dokonce i vyrábět tyto obvody podle programu, uloženého v paměti počítače¹).

1.2. ROZSAH PŘESNÉ MECHANIKY

Přesná mechanika² a přístrojová technika představuje rozsáhlý, specializovaný a velmi kvalitní průmysl. Je odvětvím strojírenství, s nímž se často prolíná - zejména s přesným strojírenstvím - takže zde nemůžeme nějakou přesnou hranici stanovit: některé přístroje nebo stroje svými rozměry, přesností, pečlivostí provedení a účelem použití jsou nesporně výtvorem přesné mechaniky (např. integrační matematické přístroje, analytické váhy, úhloměrné přístroje apod.); jsou však také stroje (např. velké souřadnicové vyvrtávačky, těžké produkční dělicí stroje délkové i kruhové), které svými rozměry, konstrukcí a celkovým typem odpovídají spíše strojům obráběcím, přesto do oboru přesné mechaniky však patří, protože jsou provedeny mimořádně přesně a je u nich užito měřicích zařízení, typických pro přesnou mechaniku nebo optiku.

Ještě neurčitější hranice je mezi přesnou mechanikou a optikou: u řady přístrojů - v podstatě mechanických - je přesnost jejich funkce při měření a odečítání podstatně zvýšena použitím optických prvků a optických pomůcek (např. u teodolitu, délkového komparátoru, u přesných provozních a kontrolních dílenkových přístrojů apod.); na druhé straně pak přístroje čistě optické (jako např. fotografické přístroje, dalekohledy, mikroskopy, spektrometry aj.) by byly bez použití prvků přesné mechaniky zcela nerealizovatelné; jejich praktická realizace a praktické použití vyžaduje konstrukčních prvků přesné mechaniky. Tak např. mikroskop, který byl původně přístrojem ryze optickým, je dnes již běžnou, ale důležitou součástí četných přístrojů určených k měření různých veličin i součástí četných strojů a přístrojů k různým účelům (obráběcích, dělicích, měřicích, lékařských aj.); totéž lze říci i o dalekohledu. Proto přesná mechanika spolu s optikou bývají považovány za jediné odvětví techniky.

¹ Na ploše několika čtverečních milimetrů vytvoří elektronový svazek za sekundu až půl milionu aktivních prvků - tranzistorů.

² Rozdíl mezi přesnou mechanikou a jemnou mechanikou - z hlediska pojmu - v podstatě není žádný. Je nutno si však uvědomit, že přesný výrobek nemusí být vždy také jemný (příklady jsou uvedeny v dalších odstavcích); a naopak, některé jemné přístroje vykazují velké relativní nepřesnosti (např. nepřesnosti vzájemné polohy otočně uložených součástí u hrotových uložení, nebo při uložení na jemných torzních závěsech některých velmi jemných měřicích přístrojů elektrických).



Zoela neurčitá hranice je též mezi přesnou mechanikou a elektrotechnikou: v řadě případů je elektřina využívána jako element pomocný (např. elektrický pohon u různých přístrojů, u přesných kyvadlových hodin, použití elektrických motorů k různým pohybům apod.); jindy se jedná o přístroj přesné mechaniky, který měří danou elektrickou veličinu (např. zrcátkový galvanometr). Pro vývoj měřicího technického je vůbec charakteristické, že měření různých neelektrických veličin (např. mechanických - čas, tlak, vibrace, teplota - nebo i veličin chemických) se provádí často elektricky - převodem měřené veličiny na vhodnou veličinu elektrickou. V takových případech pak měřicí aparatura musí být konstruována z hlediska mechanického i elektrotechnického, nebo elektronického. Podle povahy aparatury převládá buď jedno, nebo druhé hledisko: aparatura může mít pak buď charakter zařízení přesné mechaniky (např. smíšený již zrcátkový galvanometr, nebo ručkový galvanometr), anebo charakter přístroje spíše elektrotechnického (např. potenciometr), či elektronického (osciloskop, oscilograf, rozhlasový aparát, křemenné hodiny apod.).

Velmi staré a důležité odvětví přesné mechaniky je hodinářství: vytvořilo si vlastní typické konstrukční prvky a formy, takže bývá někdy považováno za zvláštní odvětví techniky. Vývoj však smazal do jisté míry i zde tyto rozdíly: na jedné straně si kapesní hodinky zachovaly svou hodinářskou konstrukci; na druhé straně nejpresnější kyvadlové hodiny jsou již výtvorem spíše přesné mechaniky; velké věžní hodiny jsou pak již výtvorem téměř strojnictví; křemenné hodiny pak patří na hranici oborů, mezi přesnou mechanikou a elektronikou (vysokofrekvenční techniku). I zde je však třeba poznamenat, že hodinářské konstrukční prvky se naopak často používají i v jiných oborech.

V nedávné době vystoupilo do popředí další odvětví - regulace a automatizace techniky. Ve výrobě, v provozu, ale i při náročnějších měřeních a při vyhodnocování výsledků experimentů se dnes nespokojíme vždy jen pouhým změřením požadovaných veličin. Požadujeme a uzpůsobujeme celé systémy tak, aby měřicí aparatura za pomoci různých servomotorů také ještě zabezpečovala regulaci, nutnou k udržení potřebných nebo optimálních provozních podmínek. Toto odvětví přístrojové a měřicí techniky je dnes již značně vyvinuté a úspěšně aplikované; má velkou budoucnost, neboť směřuje a podstatně přispívá k automatizaci provozu jako nejvyšší formě racionalizace.

Při řešení úkolů komplexní mechanizace a automatizace výroby mají velký význam automatické manipulátory a průmyslové roboty. Oblast použití těchto zařízení je velmi široká: Nejedná se zde pouze o použití při obsluze obráběcích, tvářecích a svařecích strojů, slévarenských zařízení, nebo při lisování a montáži (tedy ve strojírenské výrobě), ale i při nakládce a vykládce (v dopravě), při lakýrnických pracích, při těžkých podzemních pracích v dolech, šachtách, v zaplaveném nebo výbušném prostředí, při kontrole jaderných reaktorů atp.

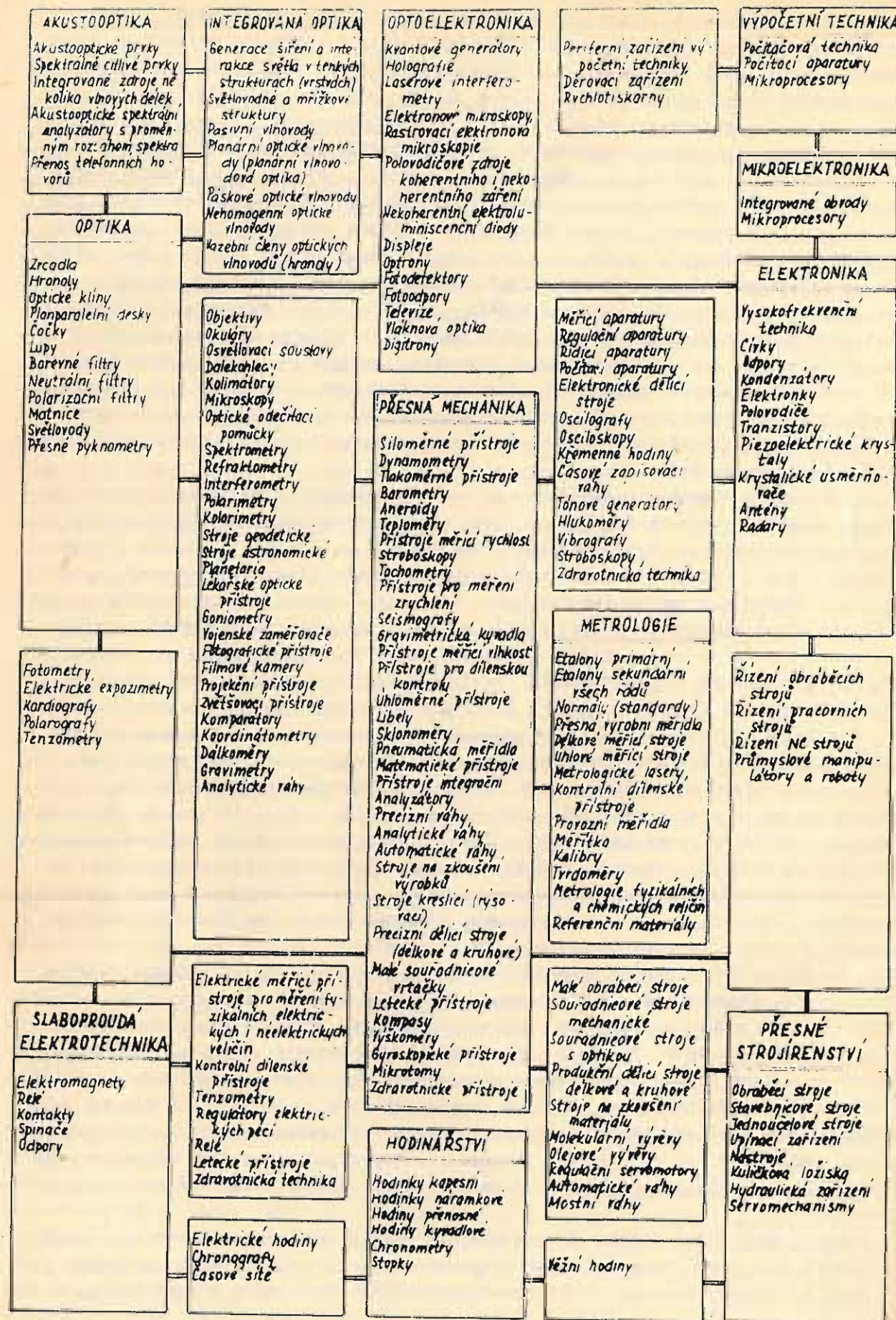
Metrologie - dříve nauka, zkoumající pouze soustavy měr a vah různých zemí a dob, především soustavy staré; později se zabývala také převáděním různých měrových jednotek na současné systémy (tj. hlavně na metrickou soustavu základních měrových jednotek a jednotek z nich odvozených). Dnes je metrologie samostatný vědní obor, zabývající se teorií (např. i teorií chyb), měřeními a měřicími přístroji (etalony mezinárodními, národními, primárními, sekundárními všech řádů, provozními měřidly) a měřicími přístroji, s ohledem na přesnost a s cílem tuto přesnost zvyšovat. Při současném rychlém rozvoji vědy a techniky rostou požadavky na zdokonalení a dosažení vyšší přesnosti při

měření prakticky všech používaných veličin fyzikálních i chemických. V metrologii geometrických veličin, kde např. délka je veličinou velmi důležitou, velmi frekventovanou a má proto dominantní význam, dosahujeme superstabilizovaným laserem (na bázi jodu nebo kryptonu), který slouží jako etalon (laserinterferometr, interferenční komparátor), přesnosti řádu 10^{-11} ; přechodem na lasery krátkodobě stabilizované, metan-helium-xenonové, je možno dosáhnout přesnosti řádu 10^{-12} až 10^{-13} . Důležitost metrologie můžeme demonstrovat na příkladu kontinuální výroby velkého množství zboží, kde produktivita je udávána v délkových jednotkách (např. v textilním průmyslu, nebo tažené dráty v hutním průmyslu); je-li použit měřicí délkový přístroj s přesností 0,5%, pak při denní výrobě 20.000 m činí chyba 100 m. Metrologie má interdisciplinární charakter a proto významně ovlivňuje materiální výrobní základnu i rozvoj každého vědního oboru. Existuje úzká souvislost mezi metrologií a úrovní příslušné materiální výroby: náklady na měření ve vyspělé výrobě - např. v letectví, kosmonautice nebo mikroelektronice - činí až 50% všech vynaložených prostředků. Významnou úlohu má metrologie při využívání mechanizace a automatizace při měření; dále pak při využívání měřicí techniky v automatizovaných systémech projektování technologických procesů a při jejich řízení - v systémech CAD, CAP a CAM¹).

Všeobecným charakteristickým rysem rozvoje vědních disciplín, který se výrazně uplatňuje zejména v poslední době v etapě vědeckotechnického rozvoje, je to, že podstatného pokroku a výsledků se dosahuje na hranicích mezi sousedními obory: např. fyzika a chemie (fyzikální chemie), kybernetika, biologie a fyzika (biofyzika), optika a elektronika (optoelektronika), akustika a optika (akustooptika) apod.; rovněž tempo rozvoje takovýchto nových - hraničních - oborů je rychlejší: nový obor je postaven na rozsáhlých základech, získaných během dlouhého vývoje mateřských disciplín. Jak již bylo uvedeno, optika a elektronika daly základ a umožnily vznik optoelektroniky. Vedle použití rádiových signálů a elektronových svazků pro přenos a zpracování informace se rozšiřují možnosti o využití světelného svazku, který má vyšší rychlost, odolnost proti elektrickým poruchám a otvírá možnost užití nových materiálů pro přenos a záznam informace. Naopak zase, zavedením světla do pevné látky, interakcí světla s pevnou látkou, užitím nových fyzikálních procesů generace světla v polovodičích atd. se dostala optika na kvalitativně vyšší úroveň. Technologie výroby optoelektronických prvků je však mimořádně náročná; prvky musí vykazovat špičkové parametry: dlouhou životnost, vysokou účinnost, spektrální čistotu záření apod.

Řešení nových problémů přináší kosmonautika a průzkum vesmíru, kde družice, automatické stanice nebo přistávací moduly nesou rozsáhlý komplex přístrojů pro výzkum rentgenového záření (rentgenový fotometr pro měření slunečního rentgenového záření), meziplanetárního plazmatu (měří se energetické a prostorové rozdělení částic plazmy slunečního původu v širokém energetickém rozsahu), vlastností slunečního větru (hmotový spektrometr pro rozbor složení částic slunečního původu, přístroje pro měření slunečního rádiového spektra) a kosmického záření (přístroje pro měření toku částic, pro registraci protonů a neutronů o určité energii); určují se vlastnosti galaktických zdrojů záření gama, zkoumá se

¹) Zkratky anglických názvů: Computer Aided Design (konstrukční příprava výroby pomocí počítače); Computer Aided Programming (technologická příprava výroby pomocí počítače); Computer Aided Manufacturing (řízení výroby pomocí počítače).



Tab. 1.

zemská magnetosféra a jevy v ní se odehrávající při průletu částic slunečního původu, zkoumá se meziplanetární magnetické pole (přístroje pro měření spektra fluktuací elektrického a magnetického pole o velmi nízkém kmitočtu); komplexně se zkoumá chemické a izotopové složení atmosféry, oblačné vrstvy, registrují se elektricky nabitě částice. Studují se náboje, které vznikají během letu na družicích nebo v jejich okolí působením nejrůznějších vnějších činitelů. Pomocí kamer, umístěných v družicích nebo přistávacích modulech jsou vysílány panoramatické snímky okolí (fotografuje se dokonce přes barevné filtry - červený, modrý a zelený - což umožňuje získat i barevné snímky povrchu); vyhodnocuje se seizmická aktivita planet, měří se fyzikální a mechanické vlastnosti zeminy. Složitost při stavění pozemských modulů na planetách spočívá v mimořádné přesnosti dosažení cíle a místa přistání.

Přesná mechanika vykazuje vedle velkého rozsahu také velkou rozmanitost, která se projevuje předně v obrovských rozdílech ve velikosti a složitosti výrobků přesné mechaniky, což můžeme demonstrovat na zařízeních sloužících témuž, nebo podobnému účelu: na jedné straně je to vzhledově a geometricky jednoduchá - byť velice přesná a výrobně značně náročná - koncová měřka, na druhé straně velký komparátor o stejnováhu úřadu. Nebo malé náramkové hodinky - a naopak ohromné věšní hodiny. Na jedné straně prostý a běžný dílenský mikrometr, na druhé straně veliký souřadnicový vyvrtávač (a frézovací) stroj o hmotnosti např. 15 tun. Tzv. "kapesní" nivelační strojek - a naopak gigantičský hvězdařský reflektor (s průměrem zrcadla několik metrů), jehož pohyblivá část váží desítky tun. Trhačí strojek, měřící pevnost textilních a jiných vláken a nití - a naopak veliký stroj k pevnostním zkouškám celých letadlových konstrukcí (nebo ještě mohutnější stroj na zkoušení stavebních konstrukcí).

Rozmanitost se projevuje také ve fyzikálním základu jednotlivých výrobků přesné mechaniky: jsou přístroje se složitou konstrukcí, jejichž teorie je ale velmi jednoduchá; naopak jsou jednodušší přístroje, které mají složitou teorii. Přesná mechanika dává k dispozici přístroje, řešící rychle i velmi složité a pracné matematické problémy a úkoly (integrátory, integrály, analyzátoři). Důkladné studium funkce přístroje a jeho dokonalá konstrukce vyžaduje často aplikaci matematiky; je-li zase rozhodující chování materiálu při různých vlivech fyzikálních nebo změny jeho vlastností s časem, je třeba aplikovat fyzikální poznatky, které mohou zasahovat až do fyziky molekulární.

Rozmanitost přesné mechaniky je též patrná a vyplývá z různorodosti používaných materiálů. V přístrojové technice používáme téměř všech materiálů: nejrůznějších kovů a jejich slitin, látek přírodních (až po dřevo) i umělých, různých nerostů, látek keramických a skelných, různých chemikálií, rozmanitých tmelů, lepidel, nátěrů, mazadel atd.

Rozsah a rozmanitost přesné mechaniky a přístrojové techniky je schematicky a proto jen velmi zjednodušeně znázorněn v tab. 1. Pokud může tento dvourozměrný diagram postihnout, je zde naznačena i souvislost s příbuznými obory a jsou zde vyznačeny i obory hraniční.

Literatura:

- [1] M. Hajn, Přehled přesné mechaniky. Vydavatelství Práce, Praha, 1956. Str. 7-10.
- [2] M. Hajn, Přehled přesné mechaniky. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1969. Str. 14 - 19.



2. ZÁKLADNÍ POJMY A NÁZVY

Tato kapitola obsahuje v podstatě vysvětlivky názvů a pojmů, které v dalším textu již nejsou blíže vysvětleny. Při výkladu v dalších kapitolách bude použito i některých speciálních odborných výrazů, názvů, pojmů a termínů. Jejich obsah musí znát každý, kdo chce hlouběji studovat přesnou mechaniku, optiku a přístrojovou techniku. Názvosloví v oblasti přístrojové techniky a přesné mechaniky je u nás, právě tak jako v zahraničí, v mnohých pojmech dosud nevyjasněno. Pokud se některé názvy a pojmy, nebo jejich obsah překrývají, nebo mají odlišný výklad, vyplývají tyto odchylky ze skutečnosti, že v některých jiných nebo příbuzných oborech mohou mít částečně jiný význam.

2.1. NÁZVOSLOVÍ V PŘESNÉ MECHANICE

ABBEŮV PRINCIP - platí obecně pro všechny přístroje, stroje a zařízení; stanoví, že měřená délka součásti a měřítka mají ležet na jedné přímce (v jedné ose) a mají být porovnávány přímo. Podle tohoto principu volíme takové uspořádání, které vylučuje chyby prvního řádu, kdy výrobní, montážní a jiné nepřesnosti mají minimální vliv na výslednou (požadovanou) přesnost.

ACHROMÁT - optická soustava, složená ze dvou nebo více čoček (achromatická čočka), nebo hranolů (achromatický hranol) z různých optických skel, u nichž je odstraněna barevná vada pro dvě vlnové délky světla (barvy).

AKCELEROMETR - přístroj k měření přímočarého nebo úhlového zrychlení; je založen na setrvačných účincích hmoty. Posuvná hmota, nebo otáčivá (v tom případě musí být těžiště v ose otáčení), je pružinami vracena do nulové polohy. Torzní akcelerometr určuje zrychlení z vychýlení dvou torzních kyvadel. Posun nebo počtení hmoty je úměrné zrychlení a přenáší se na ručku. Akcelerometry se používají při vyšetřování pohyblivých částí strojů a u dopravních prostředků. V letectví slouží k měření zrychlení letadla za letu; podle způsobu provedení buď v jednom, nebo ve dvou až třech směrech na sebe kolmých. **AKCELOGRAF** - zapisovací nebo registrační akcelerometr.

AKOMODACE - schopnost přizpůsobení dioptrického aparátu oka k pohledu na různě vzdálené předměty nebo objekty.

ALHIDÁDA - nosič odečítacích zařízení, otočný kolem svislé osy a procházející středem limbu (viz), např. u teodolitu (viz).

AMALGAM - slitina rtuti s častými kovy. Nejčastěji se vyrábí z mědi, sinku, cínu, kadmia, zlata a stříbra, ale také sodíku a draslíku (redukční činidla). Amalgam mědi slouží jako tmel; amalgam kadmia, zlata nebo stříbra se používá v zubní technice. Zinkové elektrody suchých článků se na povrchu amalgamují, aby se omešila jejich lokální korozie. Z obecných kovů netvoří amalgam železo; proto je možno rtuť transportovat v železných lahvích, neboť skleněná by těžká rtuť snadno rozbila.

ANALYZÁTOR - zařízení, které podle stanoveného programu rozebírá přijaté číselné informace a na základě rozboru vydává informace výsledné. Např. možno analyzovat různé křivky empiricky získané a stanovit jejich parametry, nebo analytické funkce. Harmonickým analyzátozem možno analyzovat periodické funkce a stanovit jejich koeficienty (vyšší harmonické). Chemický analyzátor plynů pracuje na principu absorpční objemové analýzy. Fyzikální analyzátor plynů určuje eleme-

ntní plynů nepřímo, měřením některých fyzikálních vlastností, např. tepelné vodivosti, odporu při průtoku kapilárou, absorpce světla apod. Analyzátor elektrické sítě je model, napodobující pracovní poměry v energetické rozvodné síti.

ANASTIGMÁT - soustava čoček s odstraněným astigmatismem, popř. i zaklenutím obrazu. Umožňuje ostré zobrazení celého obrazu i při velkém zorném úhlu a velkém relativním otvoru. Skládá se ze dvou samostatných soustav čoček, jejichž astigmatické rozdíly jsou stejně velké, ale opačného znaménka.

ANEMOMETR - přístroj k měření rychlosti vzduchu nebo plynu; používá se hlavně ve vzduchotechnice a v meteorologii. Jsou miskové a lopatkové, u nichž se otáčení Robinsonova kříže nebo lopatkového kola (větrníku) převádí pomocí převodového ústrojí na ručku, ukazující na stupnici počet metrů za dobu měření. U některých anemometrů jsou zabudovány stopky, počítadlo nebo tachometr (viz), udávající okamžitou hodnotu rychlosti. Citlivé anemometry miskové měří rychlost od 0,7, lopatkové od 0,3 a elektronické s tranzistorovým měřicím aparátem od 0,1 m.s⁻¹. **ANEMOGRAF** je zapisovací (registrační) anemometr, uzpůsobený pro záznam rychlosti a směru větru.

ANEROID - barometr (viz) deformační, bez rtuti. Má omezenou přesnost a používá se jen k hrubému měření, nebo k registraci. Sestává z jednoho nebo několika tlakoměrných bubínků (téměř vzduchoprázdňích), jejichž deformace (průhyb) se mechanickými převody (pákami, ozubeným segmentem s pastorkem, nebo řetískem) převádí na ručku se zvětšením kolem 150x.

APERATURA - otvor, otevření; apertura čočky (kulového zrcadla) je průměr její obruby nebo největší použitelné clonky. Číselná (numerická) apertura objektivu mikroskopu je rovna $A = n \cdot \sin \alpha$, kde α je jeho apertura a n je index lomu prostředí mezi objektivem a předmětem (preparátem).

APLANÁT - optická soustava (objektiv), u níž je odstraněna některá ze základních optických vad (barevná vada, koma, skreslení pole, otvorová vada).

APOCHROMÁT - složitá optická čočková soustava s odstraněnou barevnou vadou pro tři vlnové délky světla (barvy) a obvykle ještě se sférickou vadou opravenou pro dvě barvy. Používá se u silných objektivů mikroskopických a u objektivů reprodukčních.

ARETACE - ochranné mechanické zařízení, jímž se uchytlí nebo podepře ohnulosť část měřicího přístroje nebo zařízení v době, kdy se neměří, nebo při transportu. Aretují se např. vahadla analytických a jiných přesných vah, závěsy galvanometrů, střelky kompasů a bugol (viz) apod.

ASTROLÁB HRANOLOVÝ - astronomický (astrometrický) přístroj k určování zeměpisné polohy pozorovacího místa metodou stejných výšek hvězd nad obzorem.

ASTRONOMICKÝ UNIVERZÁL - přístroj k astronomickému určování zeměpisných souřadnic a azimutů (viz). Základem je teodolit (viz), jehož dalekohled je salomen, nebo vybaven hranolovou soustavou, aby bylo možno pozorovat hvězdy i při straném zaměření. Přístroj umožňuje velice přesně zaměřit vodorovné i výškové úhly, potřebné v praktické astronomii.

AUTOKOLIMACNÍ DALEKOHLED (autokolimátor) - měřicí dalekohled, sám sobě fungující jako kolimátor (viz). Stupnice (sámerový kříž) kolimátoru je objektivem zobrazena v nekonečnu a po odrazu od zrcadla je viditelná v zorném poli. Po otočení odrazného zrcadla se obraz kříže posune v zorném poli vzhledem ke stupnici, na níž se natočení odečítá, ve svislém nebo vodorovném směru. Autokolimátor se zrcadlem je přesná pomůcka ke kontrole rovinnosti a rovnoběžnosti os; je součástí různých přístrojů, jako optimetru, goniometru (viz), teodolitu (viz), optické lavice (viz) apod.



AZIMUT - odměr, vodorovný úhel, který v určitém bodě zemského povrchu svírá severní větev poledníku s vodorovným směrem na zemský měřický bod; počítá se ve stupňové míře od severu, ve smyslu pohybu hodinových ručiček. Má význam v geodézii. Azimut letadla je úhel mezi průmětem podélné osy letadla do vodorovné roviny a zvoleným základním směrem v této rovině (např. severním).

AZIMUTÁLNÍ MONTÁŽ - u geodetických a astronomických strojů, kde dalekohled je otočný kolem vodorovné osy, jako je tomu např. u teodolitu (viz).

BAROMETR - přístroj k měření barometrického tlaku. Měřicí princip je buď kapalínový, nebo deformační (viz aneroid). Kapalínových barometrů existuje několik typů: Gay-Lussacův, dvouramenný; Fortinův, nádobkový; normální; staniční, variační; jejich přesnost je kolem 10 Pa. Nejpresnější měření v laboratoři lze provést interferenčním barometrem; jeho krajní přesnost je $\pm 0,7$ Pa. **BAROGRAF** - zapisovací (registrační) barometr deformační, čili aneroid (viz), vybavený několika bubínky, které pohybují pisátkem; píše buď inkoustem na papír, nebo hrotem na očištěné kovové folii.

BINOKULÁR - optický přístroj, uzpůsobený pro pozorování oběma očima (např. binokulární mikroskop).

BOLOMETR - přístroj k měření záření; v podstatě tenký nažehnutý pásek, nebo drátek z čisté platiny. Je-li vystaven měřenému záření, zahřívá se, čímž se zvětšuje jeho ohmický odpor; ze zvýšení odporu bolometru, zapojeného do odporového můstku, se dá určit intenzita celkového záření zdroje.

BUZOLA - úhloměrný přístroj k měření magnetických azimutů (viz). Podstatou je magnetická střílka, jejíž poloha se odečítá na stupnici. Používá se podobně jako kompas k jednoduchým polohovým měřením a jejich orientaci. K přesnějšímu měření je buzola vybavena dalekohledem; lze ji pak postavit nad měřickým bodem jako teodolit (viz). Dostáváme tak BUZOLNÍ TEODOLIT, úhloměrný přístroj, kombinaci teodolitu s buzolou. Buzola je pevně spojena s alhidadou (viz), nebo ji lze nasadit na ložiska dalekohledu. U soudobých přístrojů bývá magnetka buzoly vestavěna uvnitř přístroje a její poloha se sleduje opticky. Přesnost čtení magnetického azimutu (viz) je asi 1 úhlová minuta. Používá se při lesním a důlním vyměřování, tam, kde měřické dílo lze výhodně orientovat podle magnetického severu.

CEJCHOVÁNÍ - ověření správnosti a použitelnosti měřidel a přístrojů; stanovení oprav (korekcí), tj. rozdílů mezi správnými a jmenovitými hodnotami přístrojů a zařízení.

CERESIN - vyčištěný a odbarvený zemní vosk (ozokerit). Výborný izolant a dobrá náhražka za včelí vosk.

CIRKUMZENITÁL - astronomický (astrometrický) přístroj k určování zeměpisné polohy pozorovacího místa; umožňuje totiž přesně zjistit okamžik, kdy hvězdy dosáhnou jisté výšky nad obzorem. Kombinací zrcadel a horizontu umělého (viz), vytvořeného hladinou rtuti, je zaručena stálost zvolené výšky a odstraňuje se nutnost použít libel a dělených kruhů.

COMPUR - sektorová fotografická závěrka, složená ze srpovitých plíšků, které se otvírají a zavírají složitým mechanismem.

COULOMBETR (coulometr) - přístroj k měření elektrického náboje a elektrického proudu podle množství látky (kovu nebo plynu), vyloučeného na záporné elektrodě (katodě) při průchodu elektrického proudu elektrolytém (viz též voltametr). **COULOMETRIE** - analytická metoda, využívající hydrolyzy; měří se elektrický náboj potřebný k úplné elektrochemické přeměně stanovené látky.

CURIEŮV BOD - teplota, při níž zanikají feromagnetické vlastnosti a nad níž se materiál stává paramagnetickým (např. u železa je Curieův bod roven 768°C).

ČIDLO - snímač popudů; zařízení, jímž se libovolná fyzikální veličina snímá a transformuje na veličinu jinou (nejčastěji elektrickou); jsou zvláště citlivá vždy na určitý druh podnětů (např. fotodioda (viz) je citlivá na světlo). Čidla jsou mechanická (např. plovák k měření stavu hladiny), pneumatická nebo hydraulická (ke snímání tlaku, membránová), elektrická odporová (přeměna se děje změnou ohmického odporu), kapacitní (přeměna se děje změnou kapacity), indukční (přeměna se děje změnou indukčnosti), piezoelektrická, magnetostrikční, fotoelektrická, termoelektrická apod.

DEKLINACE - úhlová souřadnice, určující na deklinační kružnici vzdálenost nebeského tělesa od rovníku; hlavní kružnice, procházející světovými póly jsou kružnice deklinační. **DEKLINATORIUM** - přístroj k registrování časových změn magnetické deklinace; sestává z malého tyčového magnetu, zavěšeného na tenkém křemenném vlákně a zachovává směr okamžitého geomagnetického poledníku; na magnetu je upevněno zrcátko, odrážející světelný paprsek ze stabilizovaného zdroje na fotografický papír, upevněný na otáčejícím se bubnu.

DIASPORAMETR - soustava dvou stejných optických klínů (hranolů s malým lámavým úhlem), vzájemně otočných kolem optické osy; slouží k plynulé změně malé odchylky procházejícího světelného paprsku od směru dopadu.

DIFRAKCE - ohyb. Optická difrakce je odchylka od přímočarého šíření světla při omezení paprskového svazku, způsobená vlnovou povahou světla. Difrakční jevy mají velký význam v teorii optických přístrojů; umožňují studium struktury pozorovaného obrazu; mají vliv na omezení rozlišovací schopnosti. **DIFRAKČNÍ MŘÍŽKA** - důležitá optická pomůcka k měření vlnových délek; je to osnova jemných čárek, vyrytých diamantem do skleněné destičky (mřížka na průhled), nebo do zrcadlově vyleštěné kovové destičky (mřížka na odraz).

DILATOMETR - přístroj na měření teplotní roztažnosti látek. Nejčastěji se měří rozdíl roztažení tyčky zkoušené a tyčky z taveného křemene (mechanicky, nebo zrcátkovou metodou).

DIOPTR - jednoduché zaměřovací zařízení, sloužící v geodézii k vytyčování přímého směru; sestává z průhledítka očního a předmětového (nejhrubší dioptr je muška a hledí na pušce). Připouští zacílení s chybou jen asi $30''$, ale je špatnou odečítací pomůckou, neboť oko nemůže současně ostře vidět cíl i záměrnou značku. (Dalekohled je záměrné zařízení 100x přesnější, než dioptr)

DISPERZE - závislost indexu lomu látky (skla) na vlnové délce použitého světelného záření. Jevy, způsobené různým lomem světla různé vlnové délky na rozhraní dvou prostředí, nebo ohybem světla.

DOZIMETR (dozimetrické přístroje) - zařízení, založené na využití ionizační schopnosti radioaktivního záření. Např. indikátor, sjišťující zamoření terénu zářením β nebo γ ; lze jím přibližně určovat i nízkou úroveň radiace (0,1 rentgenů za hodinu) zamořeného prostoru. **DOZIMETRIE** - metody jaderné techniky, zabývající se měřením dávky a intenzity jaderného záření, dopadajícího na daný předmět za určitou dobu, z radioaktivních zářičů, urychlovačů, reaktorů apod.

EKVATOREÁL - astronomický dalekohled, otáčivý kolem polární osy, přesně rovnoběžné s osou zemskou, a tedy i světovou, a kolem osy deklinační, na ní kolmé. Obě osy mají dělené kruhy; na prvním kruhu se odečítají rozdíly rektascenze (viz), na druhém deklinace (viz).

ELEKTROMETR - přístroj k měření potenciálního rozdílu a tím i k měření elektrického náboje; je to tedy přístroj statický, v tom smyslu, že jím neprochází elektrický proud; nemá tedy vlastní ztráty, nehledíme-li k nepatrným ztrátám v důsledku nedokonalé izolace. Konstrukce elektrometrů je různá; nejjednodušší při-



stroje jsou podobné elektroskopu s pozlátkovými foliemi, jejichž polohu měříme mikroskopem.

ETALON - normál, model nebo prototyp pomůcky, přístroje nebo zařízení, který nahrasuje jednotku příslušné fyzikální veličiny (metr, litr, kilogram, ampér, volt, ohm, kelvin, kandela, mol apod.); etalony se uchovávají v laboratořích za předepsaných podmínek. Mezinárodní etalony se uchovávají v Mezinárodním ústavu pro míry a váhy v Sevres u Paříže.

FERRARISŮV MOTOREK - malý elektrický motorek na střídavý proud; jeho působení je založeno na silovém účinku mezi proudem ve statoru a vířivými proudy, indukovanými ve vodivém kotouči. Státorem je elektromagnet, složený ze železných plechů; do jeho vzduchové mezery zasahuje rotor, konstruovaný ve tvaru tenkostěnného bubínku nebo kotouče z nemagnetického kovu. Otáčky jsou úměrné elektrickému proudu, který protéká vinutím cívky elektromagnetu. Používá se pro elektroměry a jako součást některých indukčních ochranných.

FLUORESCENČNÍ STÍNÍTKO - skleněná deska potažená tenkou vrstvou, která fluoreskuje, tzn. že neviditelné rentgenové záření mění zčásti na záření o delší vlnové délce a tedy i lidskému oku viditelné. Při fotografování se používá tzv. zesilovací folie, která intenzivní fluorescencí podstatně zvyšuje účinek záření na citlivou vrstvu, na niž přiléhá.

FLUORIMETRIE (fluorescimetrie) - měření intenzity fluorescence (viz luminescence) určité látky; provádí se ve fluorimetrech, což jsou upravené fotometry (viz).

FOTODIODA (fotonka) - dvouelektrodová elektronka, jejíž anodový proud je řízen intenzitou světla, které dopadá na fotokatodu, z níž se uvolňují elektrony; ty jsou přitahovány kladnou anodou. Proud je přibližně úměrný intenzitě osvětlení.

FOTOELASTICIMETRIE - metoda k zjišťování rozdělení napětí v technických zařízeních na jejich modelech z průhledných látek; využívá se umělého dvojlohu, vyvolaného na modelech mechanickými silami. Model umístěný v polarizátoru se prosvěcuje rovnoběžným, lineárně polarizovaným světlem, které po průchodu zkříženým analýzátozem vytvoří interferenční obrazce, z nichž lze odvodit směr a velikost hlavních napětí.

FOTOELEKTRICKÝ NÁSOBIČ (fotonásobič) - nejcitlivější zařízení k registraci a zesílení účinků světelného záření. Elektronka s citlivou fotokatodou, která po dopadu světla uvolňuje elektrony; ty jsou přitahovány dynodou s povlakem majícím vysoký koeficient sekundární emise; dopadající elektrony vyvolávají z dynody třikrát až pětikrát větší množství elektronů. Zařazením až 10 dynod získáme z velmi slabého světelného impulsu na fotokatodu relativně velký impuls elektrického napětí na výstupu (zesílení řádu 10^5 až 10^7).

FOTOGRAMMETRIE - měřická metoda, sloužící v geodézii ke konstrukci plánů a map z měřických pozemních nebo leteckých snímků.

FOTOMETRIE - obor optiky, zabývající se měřením světelných veličin (světelného toku [lm], svítivosti [cd], jasů [nt], osvětlení [lx], energie záření [lmh], osvitu [lx]); k tomu se používají: fotografické desky, fotodiody (viz), fotoelektrické násobiče (viz), bolometry (viz), radiometry (viz) a fotometry. **FOTOMETR** - optický přístroj k měření světelných veličin; spektrofotometr (viz) používá monochromatického světla (viz). **FOTOMETRIE PLAMENNÁ** - odvětví spektrální analýzy; měří se intenzita záření nesvitivého plamene, do něhož je uváděn rozprášený roztok zkoumané látky; provádí se plamennými fotometry.

FOTOTEODOLIT - přístroj k pořizování měřických pozemních snímků (viz fotogrammetrie).

FREKVENTOMETR - přístroj k měření frekvence, kmitočtu, veličiny, která u periodicky opakovaných dějů a průběhů udává počet kmitů za jednotku času (sekundu),

nebo počet periodicky opakovaných dějů v daném prostoru za jednotku času.

GALVANOMETR ZRCÁTKOVÝ - nejcitlivější systém s otočnou cívkou; výchylka se odečítá metodou zrcátkovou, obyčejně pomocí projekční lampy; citlivost možno stupňovat až na $1 \cdot 10^{-11}$ A, pro úhlovou výchylku 1/2000.

GEL - rosolovitá hmota; mají schopnost přijímat rozpouštědlo, jsou-li s ním ve styku; mění-li při tom objem, je to gel elastický; v opačném případě gel neelastický, např. silikagel (viz též koloidy).

GONIOMETR - přístroj k přesnému měření úhlů optickými prostředky. Konstrukce jsou různé; dobře též vyhovuje spektrometr (viz). Měřené těleso je umístěno na otočném stolku; ten je spojen s děleným kruhem. Otáčením stolku nastavíme jednu plochu měřeného tělesa kolmo na osu autokolimačního dalekohledu (viz), potom dalším otočením plochu druhou. Úhlový rozdíl obou poloh je rovný doplnku úhlu. (Nejsou-li plochy tělesa zrcadlově lesklé, lze si pomoci tím, že na ně přilepíme planoparalelní skleněné destičky.)

GRAVIMETR - přístroj k měření relativního tíhového zrychlení, buď přesným měřením hmotnosti malého lehkého kyvadélka, nebo na základě deformace per či spirály, způsobené tíží. Gravimetr statický je založen na principu jednoramenných vah. V dynamickém gravimetru se vyvolávají kmity, při nichž zároveň působí moment tíže, obecně proměnlivý s místem (ze změny doby kyvu se odvodí změna tíže).

GYROSKOP - přístroj s rychle se otáčejícím setrvačnickem v Cardanově závěsu; při naklápění závěsu zachovává osa setrvačnicku stálý směr vzhledem ke stálým; používá se ho jako umělého horizontu (viz) v letadlech, v gyrokompasu a ke stabilizaci směru letu letadla.

HODINÁŘSTVÍ - konstrukce, výroba, technologie, údržba, opravy, čištění a mazání hodin (viz chronometrie).

HORIZONT UMĚLÝ - důležitý letecký přístroj pro let v mlze nebo v noci; udává horizontální polohu; je založen na vlastnostech volného setrvačnicku (složitý v teorii, v konstrukci i při výrobě). Umělý horizont v astronomických přístrojích je realizován hladinou rtuti (na mělké misce), jež je přesně vodorovná.

HYGROSKOPIE (hygroskopičnost) - schopnost látek pohlcovat a zadržovat vlhkost; hygroskopické látky přitahují na sebe vlhkost prostředí, pohloučí ji a jejím vlivem se mění (porušují) ve tvaru, objemu, hmotnosti a často i ve skupenství.

HYPOMETR (hypsotermometr) - barometr (viz), měřící tlak vzduchu teplotou bodu varu vody.

CHRONOMETR - nejpřesnější přenosné hodiny (se setrvačkou), uložené obyčejně v Cardanově závěsu; podle mezinárodní dohody se chronometry nazývají též přesně provedené a vyregulované hodinky s volným kotvovým krokem (mnohdy je lepší, než choulolistivý krok chronometrový), pokud vyhovují předepsaným úředním zkouškám.

Přesnost chronometru je řádu 10^{-6} . **CHRONOGRAF** - přístroj k samočinné registraci časových údajů; jedno písátko registruje pravidelné elektromagnetické impulzy z hodin, druhé je ovládáno pozorovatelem; stiskem tlačítka se na pásek papíru (posouváný hodinovým strojem) registruje sledovaný časový údaj. **CHRONOMETRICKÝ TACHOMETR** - hodinový stroj, který periodicky spojuje ústrojí, řídící ručku, a poháňacím hřídelem; ručka se pohybuje skoky. Přístroj je velmi přesný. **CHRONOSKOP** - přístroj k měření krátkých časových intervalů. Mechanické chronoskopy mají přesnost asi 1 ms; přesnost elektronických chronoskopů (s digitálním údajem) je omezena jen přesností a kmitočtem řídícího křemenného oscilátoru (viz).

CHRONOMETRIE - časoměrná technika; zahrnuje teorii měření času a časoměrných přístrojů, normálu času, časových stupnic a dále konstrukci hodin a časoměrných přístrojů všeho druhu (viz též hodinářství).



IMERZE - v mikroskopové technice náhrada vzduchového prostředí mezi objektem mikroskopu a preparátem kapkou imerzní kapaliny (např. cedrový olej).

INDIKÁTOR - zařízení, udávající (zpravidla ukazatelem) výsledný údaj měřicího procesu. Číselníkový úchylkoměr - měřicí pomůcka ve tvaru hodinek, z nichž vychází posuvné tykadlo; používá se k měření délkových rozměrů, úhylek rozměrů apod. v dílenské měřicí technice (rozsah obvykle 10 mm, přesnost = 0,01 mm). Indikátor k vyšetřování pístových strojů je v podstatě zapisovací (nejčastěji pístový) manometr (viz) s vysokou vlastní frekvencí; zapisuje tlak ve válci nejčastěji jako funkci dráhy pístu; plocha získaného indikátorového diagramu představuje práci, přijatou nebo vykonanou pístem stroje (tzv. práci indikovanou). Pro rychloběžné stroje jsou indikátory speciální, optické nebo elektrické (např. mikroindikátor, pracující mikrozáznamem). Indikátorem nazýváme i zařízení udávající stav hladin kapalin (viz limnigraf), výše tlaků apod.

INTEGRAL - přístroj podobný integrátoru (viz); automaticky kreslí integrální křivku ke křivce dané funkce, kterou sleduje pojízdným hrotem. Existují různé konstrukce pro speciální úkoly, např. pro řešení některých diferenciálních rovnic. Pro technickou praxi je důležitý stroj, který rýsuje křivku v pravouhlých souřadnicích, podle rovnice $A = \int y \cdot dx$ a funguje tedy jako planimetr. Získanou integrální křivku můžeme znovu integrovat. (Tak např. z křivky zatížení nosníku získáme integrální křivku, která dává průběh posouvající síly; další integrální křivka značí průběh ohybových momentů a třetí integrační křivka je křivka ohybová.)

INTEGRÁTOR - přístroj podobný lineárnímu planimetru; dává po objetí uzavřené křivky číselný údaj nejen její plochy, ale i jejího momentu statického, momentu setrvačnosti, popř. i momentu vyššího, podle výrazu $A_1 = \int y^3 \cdot dx$, nebo údaj podle výrazu $A_2 = \int y^{1/2} \cdot dx$ (viz též planimetr).

INTEGROVANÉ VALIVÉ LOŽISKO - kombinované valivé ložisko, tvořící jeden celek a plnící funkci soustavy jednotlivých ložisek v ložiskovém uzlu (např. radiálního a axiálního ložiska).

INTERFERENCE SVĚTLA - skládání vlnění. Šíří-li se prostorem několik vlnění stejného druhu současně, dochází k jejich skládání v jediné, výsledné vlnění. Jsou-li světelné vlny koherentní (viz), tzn. že mají stejný kmitočet (vlnovou délku) a stálý fázový posun, může dojít k jejich zesílení (zeslabení).

INTERFEROMETR - optický přístroj, který využívá interference světla (viz) k měřicím účelům (např. ke stanovení vlnové délky monochromatického světla, tloušťky tenkých vrstev v optice a mikroelektronice, k délkovým měřením, k měření rovinnosti, rovnoběžnosti ploch apod.). LASERINTERFEROMETR - přístroj k podobným účelům; jako zdroj světla je zde použit laser (viz).

JUSTÁŽ - oprava optických přístrojů, nebo soustav, či jejich součástí (prvků) tak, aby byly splněny všechny teoretické podmínky pro jejich správnou funkci, které buď nemohly být při výrobě mechanicky správně provedeny, nebo byly užíváním porušeny.

KATETOMETR - přístroj na přesné odečítání vertikálních vzdáleností; sestává ze svislého měřítka (dělení délkové), po kterém se posouvá dalekohled.

KOHERENTNÍ SVĚTELNÉ VLNY - světelné paprsky stejné vlnové délky, které přicházejí do daného bodu se stálým fázovým rozdílem; pouze takovéto vlny mohou spolu interferovat (viz). Nejjednodušejší je získáme rozdělením paprsku vycházejícího z monochromatického světelného zdroje na paprsky dva, které dospějí do daného bodu po projití různých optických drah.

KOKILA - kovová forma z oceli, kalená a popuštěná, k vstřikovému nebo tlakovému odlévání přesných součástí v přesné mechanice, s dokonalým povrchem (fini-

šem), hlavně hliníkových, duraluminových, zinkových apod.; též k lisování součástí z termoplastů a termosetů (bakelit apod.).

KOLIMACE - seřízení do určitého směru; např. optické osy astronomického dalekohledu nebo geodetického přístroje do určitého směru, který je zpravidla osou nebo průměrem kruhového dělení.

KOLIMÁTOR - optický přístroj, sestávající ze spojné čočkové soustavy a značky, umístěné v její ohniskové rovině; značka se čočkovou soustavou zobrazuje do nekonečna. Přístroj se používá k fixaci určitého směru.

KOLOIDY - látky, tvořící s prostředím, v němž jsou rozptýleny (dispergovány), soustavu o dvou fázích (mikroheterogenní), v níž lze dispergované částice rozložit optickými metodami od dispergujícího prostředí; jejich průměr se pohybuje v mezích 1 nm až 1 μm (viz gely).

KOLORIMETR - optický přístroj pro srovnávání nebo měření intenzity zabarvení látek; měří se intenzita světla, zkoušenou látkou pohlcovaného nebo vyzařovaného. Intenzita zabarvení se určí srovnáním se standardem (barevná skla, srovnávací roztoky). U objektivních a všestranně spolehlivých fotoelektrických kolorimetrů se srovnává pomocí fotoelektrických článků. KOLORIMETRIE - metoda chemické analýzy. Barva zkoušeného roztoku udává jakost, popř. je úměrná koncentraci rozpustné látky (viz též komparace).

KOMPARACE - srovnávání, přirovnávání (viz komparátor). Např. srovnávání délek (součástí, měřidel délkových); srovnávání intenzity světla (zabarvení látek), roztoků, koncentrace vodíkových iontů (pH), při spektrální analýze apod. (viz kolorimetr).

KOMPARÁTOR - přesný stroj ke komparaci (viz) délkových měřidel (v užším smyslu ke komparaci metrových měřitek). Sestává z mohutného, na těžkých základech spočívajícího nosníku, na němž jsou svisle montovány velké šroubové mikroskopy, jimiž lze měřit rozdíl obou čárkových měřitek na desetiny mikrometru. Koncové měřky (viz) se proměňují komparátory různé konstrukce. Existují komparátory čistě mechanické (libelové), mechanicko-optické, interferenční (viz interference světla; interferometr; koherentní světelné vlny). Komparátor transversální se používá ke kontrole měřitek, longitudinální ke stanovení chyb dělení základní délky.

KONCOVÉ MĚRKY (též Johanssonovy) - ocelové, kalené hranoly o rozměru 9 x 30 a (od 10 mm výše) 9 x 35 mm, různé výšky (délky). Po speciálním tepelném zpracování (umělému stárnutí) jsou strojně broušené broušeny a pak strojně lapovány (viz) na definitivní rozměr. Měrné (koncové) plochy jsou dokonale rovinné, plan-paralelní a se zrcadlovým povrchem, který umožňuje sestavení měrek tzv. naprýsknutím a jejich komparaci (viz) interferometrem (viz). Měrky jsou dodávány v různých stupních přesnosti: nejpřesnější vykazují chybu řádu 0,1 μm (při 20 mm); která stoupá na 0,3 μm (při 100 mm). Jsou sestaveny v sadách různě bohatých; čím početnější sada, tím menší počet měrek stačí k sestavení požadovaného rozměru; tím je také tato míra přesnější.

KOORDINÁTOGRAF - přístroj k v y n á š e n í a sestrojování bodů, jejichž poloha je dána pravouhlými nebo polárními souřadnicemi. KOORDINÁTOMETR - přístroj k m ě ř e n í souřadnic bodů, jejichž poloha je dána v pravouhlých nebo polárních souřadnicích.

KORONOGRAF - astronomický přístroj k pozorování vnější sluneční atmosféry. V koronografu musí být rozptýlené sluneční světlo potlačeno, pro malou intenzitu záření pozorované koróny; objektiv je pomocnou clonkou zobrazen na proměnnou clonku, kterou je možno přivírat, čímž lze odstranit rozptýlené světlo z okrajů objektivu; ohniskový obraz slunce je odclonen kruhovou clonkou, takže do dalšího

systému se zobrazují pouze vnější části zorného pole; k pozorování protuberancí a koróny se užívá monochromatický filtr.

KVALITA PŘÍSTROJE - soubor vlastností a znaků, které určují jeho použitelnost a zajišťují ji pro požadovaný úkol za stanovených podmínek. Kvalitativním znakem přístroje je každá jeho vlastnost, která má, anebo může mít vliv na jeho použití pro požadovaný účel.

KVANTOVÉ GENERÁTORY A ZESILOVAČE - souhrnný název nových zdrojů elektromagnetických vln, infračerveného záření a světelného záření, které vznikly na základě teorie fyzikálních jevů absorpce a emise vlnění a záření a na základě kvantových vlastností hmoty. Podle druhu zesilovaného vlnění rozlišujeme zesilovače velmi krátkých vln - m a s e r (zkratka anglického názvu "Microwave Amplifier by Stimulated Emission of Radiation", tj. mikrovlnný zesilovač založený na vynucené emisi záření), zesilovač infračerveného záření - i r a s e r (z anglického "Infrared Amplifier by Stimulated Emission of Radiation", tj. infračervený zesilovač založený na vynucené emisi záření) a zesilovač světelného záření - l a s e r (z anglického "Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation", tj. zesilovač světla založený na vynucené emisi záření).

KYVADLO FOUCAULTOVO - těžká koule, zavěšená na tenkém drátě ve volném závěsu. Kyvadlo se snaží zachovat směr roviny kyvu vzhledem k hvězdné soustavě. Avšak Země se otáčí kolem své osy a proto rovina kyvu mění s časem svoji polohu vzhledem k předmětům svého okolí. Z této změny lze pak soudit podle zákonů mechaniky na velikost zemské rotace.

LAPOVÁNÍ - pojem sice poněkud široký, ale v podstatě je to vzájemné zabrušování dvou ploch volným brusivem (práškem) smíšeným s vhodným mazadlem. Obvykle je míněna dokončovací operace, při níž nejjemnějším brusivem a vhodným lapovacím nástrojem se dosáhne vrcholné přesnosti a až zrcadlové jakosti povrchu. Příkladem je lapování koncových měrek (viz), přesných kuželových a válcových otočných uložení úhlových strojů, mikrometrických šroubů, rovinných desek.

LASER - zesilovač světelného záření (viz kvantové generátory a zesilovače).

LIMBUS - vodorovný kruh u teodolitu (viz) s úhlovým dělením, který slouží k měření vodorovných úhlů.

LIMNIGRAF - přístroj pro souvislé zapisování výšky hladiny vodního toku.

LINEÁRNÍ LOŽISKO - kuličkové, resp. válečkové ložisko, určené pro neomezený vratný přímočarý pohyb, v němž dochází ke stálému vratnému oběhu valivých elementů v uzavřené drážce do zatížené oblasti. (Někdy se setkáváme s názvem kuličkové či válečkové vedení - toto však vede k záměně s vlastním přímočarým vedením.)

LUMINISCENCE - emise světla tělesem (luminiscenční látkou) ve větší míře, než odpovídá záření absolutně černého tělesa stejné teploty. Je způsobena přechodem elektronu ze vzbuzeného stavu do stavu základního, a to buď v molekule, nebo v poruše krystalové mřížky. U f o t o l u m i n i s c e n o e je vzbuzení vyvoláno pohlcením světelného kvanta dostatečné energie; dochází-li k emisi bezprostředně, jedná se o f l u o r e s c e n o i; dochází-li k emisi s jistým spožděním (elektron je zadržen v metastabilním stavu), jedná se o f o s f o r e s c e n o i; dochází-li k emisi při zvyšování teploty, jedná se o t e r m o l u m i n i s c e n o i. Jiné druhy luminiscence se liší způsobem vzbuzení: elektroluminiscence, katodoluminiscence, radioluminiscence, triboluminiscence (plastickou deformací krystalu), krystaloluminiscence (krystalizací z přesytených roztoků), chemoluminiscence (energií chemické reakce, zpravidla silně exotermní), bioluminiscence (reakce uvnitř živého organismu).

LUMINOFORY - látky schopné absorbovat energii elektronů, nebo i neviditelného záření a přeměnit ji ve viditelné světlo; používá se jich na obrazovkách

televizorů, na zářivkách a rentgenových štítech a u nočních světelných (světélkujících) ukazatelů.

MAGNETOMETR - přístroj k měření magnetických momentů feromagnetických materiálů. K měření se využívá magnetického pole, vyvolaného zmagnetovanými předměty; jako indikátor tohoto pole slouží např. magnetka.

MAGNETOOPTIKA - obor optiky, který studuje a využívá všechny jevy, související s vlivem magnetického pole na emisi, absorpci a šíření světla.

MAGNETOREZISTENCE - změna (obvykle zvýšení) elektrického odporu v magnetickém poli; výrazně se projevuje u polovodičů (viz magnetorezistor), zatímco u kovů (s výjimkou vizmutu) je velmi slabá. Využívá se v sondách k měření intenzity magnetického pole (např. vizmutové spirály).

MAGNETOREZISTOR - polovodičový prvek, jehož elektrický odpor závisí na intenzitě magnetického pole; materiálem je např. antimonid indium nebo jiný materiál s velkou pohyblivostí nositelů proudu. Užívá se k měření intenzity magnetického pole, v regulačních zapojeních, v násobičích kmitočtu, v měničích stejnosměrného proudu na proud střídavý, v zesilovačích, v oscilátorech a v měřicí technice.

MAGNETOSTRIKCE - změna rozměrů feromagnetických látek při magnetování. Relativní délkové změny bývají řádu 10^{-6} . Využívá se v měřicí a regulační technice.

MANOMETR (tlakoměr) - přístroj k měření tlaku kapalin, plynů, par, v nádržích, potrubích apod. Pro přesná měření se převážně používají tlakoměry kapalinové, obvykle se sloupem rtuti, lihu nebo vody. V technice se nejčastěji používají tlakoměry deformací, které měří přetlak velikostí deformace vhodného pružného prvku. Pro přesné stanovení tlaku se používá též tlakoměrů pístových, kde se silové působení zkoumaného tlaku na píst měří deformací pružiny. Tlakoměr k měření tlaku ovzduší se nazývá barometr (viz), barograf, aneroid (viz).

METROLOGIE - vědní obor, zabývající se teorií, metodami měření a měřidly - etalony (viz) - a měřicími přístroji s ohledem na přesnost a s cílem přesnost zvyšovat.

METRONOM - přístroj k udávání časových intervalů (taktu, rytmu, např. v hudbě); je to kyvadlo s měnitelnou dobou kyvu, cejchované v počtu kyvů za minutu.

MEZNÍ VRSTVA - tenká vrstva vzdušiny, lnoucí k povrchu tělesa, ve které se účinkem drsnosti povrchu a vaskosti vzdušiny vyrovnává rychlost tělesa na rychlost okolního proudu; charakter mezní vrstvy má podstatný vliv na obtékání tělesa, na jeho profilový odpor a na stabilitu obtékání.

MEZNÍ ÚHEL - při úplném odrazu (totální reflexi); přechází-li paprsek z prostředí hustšího do řidšího, láme se od kolmice; při určitém úhlu ϵ_m , který se nazývá mezním (též kritickým), je úhel lomu $\epsilon' = 90^\circ$ a nastává tedy úplný odraz.

MĚŘENÍ - objektivní, kvantitativní a kvalitativní zhodnocení měřené veličiny. Při výrobě jakéhokoliv druhu, při provozu technických zařízení, dopravě, vědecké a výzkumné činnosti apod. potřebujeme znát o sledovaném jevu mnohem přesnější údaje, než nám mohou poskytnout naše smysly. Proto je nutné, aby takovéto poznatky byly nezávislé na pozorovateli a aby se daly vyjádřit číselně. Toto lze dosáhnout použitím pomůcek, které jsou k takovému účelu určeny: jsou to měřicí prostředky, měřidla, měřicí stroje a měřicí přístroje (viz).

MĚŘICÍ PŘÍSTROJ - zařízení, které zpracovává vstupní veličinu A na výstupní veličinu α na základě fyzikálního principu, který byl použit pro jeho konstrukci a stavbu: $\alpha = f(A)$. Vstupní veličina A je tedy přetvářena přístrojem na jinou veličinu; ta se liší od původní veličiny kvalitativně, což možno vyjádřit též kvantitativně počtem základních jednotek téže kvality.

MĚŘICÍ TECHNIKA - soubor činností, které mají jako konečný cíl měření (viz). Zahrnuje především vývoj, konstrukci a stavbu měřících přístrojů (viz) a strojů,



a jejich výrobu a technologii; dále pak ověřování činnosti těchto zařízení, zajišťování jednotnosti a správnosti měř, jejich užívání a jejich zákonnou ochranu i kontrolu; zahrnuje konečně pak i vypracování měřicích metod a metod vyhodnocování naměřených výsledků.

MIKROMANOMETR - kapalinový manometr (viz), jehož jedno rameno je většího průřezu než druhé, které je skloněné a tím dovoluje přesnější odečítání rozdílu hladin.

MIKROTOM - zařízení (strojek), jímž lze z preparátu řezat tenounké plátky pro mikroskopování. Preparát je v držáku, který se zdvihá mikrometrickým šroubem (často se západkovým podáváním); nůž, podobný široké břitvě, je posuvný v přesném a těsném vedení. Uspořádání mikrotomu bývá různé; tloušťka plátek je až jen 0,001 mm (pro elektronový mikroskop). (Měkké preparáty nutno ztuhit chemicky, nebo zmrazením.)

MIKROVÁHY - nejjemnější váhy; mohou to být zmenšené a zjemnělé analytické váhy. Používají se však i konstrukce zcela odlišné: např. váhy Petersonovy, u nichž se nepatrné zlomky nevyvažují závažíčky, ani jezdcem, ale aerostaticky (na konci vahadla visí skleněná bublina, závažky jsou umístěny pod recipientem, v němž lze libovolně měnit a přesně měřit tlak vzduchu); u jiné konstrukce jsou bity a pávičky realizovány z vybraných krystalků karborunda. Pro břemena nepatrné hmotnosti lze užít torzních vah (viz).

MONOCHROMATICKÉ SVĚTLO - jednobarevné světlo, jemuž přísluší jediná vlnová délka. Získáme je pomocí monochromátoru (viz).

MONOCHROMÁTOR - přístroj, sloužící k izolování velmi úzkého oboru vlnových délek spojitého spektra, nebo k izolaci jednotlivých spektrálních čar čárového spektra; je to buď spektroskop (viz), u něhož je okulár dalekohledu nahrazen úzkou šterbinou, nebo speciálně konstruovaný přístroj pro pohodlné a přesné nastavení vlnové délky světla.

MONOKULÁR - optický přístroj pro pozorování jedním okem (např. monokulární mikroskop).

NIVELAČNÍ STROJ - důležitý geodetický stroj; je určen k měření výškových rozdílů; odečítání se provádí záměrným dalekohledem, spojeným s citlivou libelou, zaměřováním na dělené latě, které jsou svisle stavěny na body, jejichž výška je měřena. Je důležitý i ve strojírenství: používá se při montáži strojů a velkých přípravků, např. v letecké výrobě.

NIVELOVÁNÍ - geodetická metoda, při níž se určuje výškový rozdíl dvou bodů z výškových odlehlostí obou bodů od základní vodorovné roviny. Trigonometrické nivelování se provádí výpočtem z délky a sklonu záměry, měřené teodolitem (viz). Geometrické nivelování se provádí pomocí nivelačního stroje (viz).

NONIUS - pomocné měřítko, posuvné podél hlavního měřítka k určování menších zlomků dílků hlavního měřítka; vernier (viz).

NORMÁL (standard) - zařízení, skonstruované a adjustované tak, aby rozdíl mezi skutečnou a nominální (jmenovitou) hodnotou měřené zákonné měrové jednotky byl co nejmenší a s časem se neměnil; normál se používá k seřizování (viz).

OPTICKÁ LAVICE - zařízení, umožňující sestavit různé aparatury při optických pokusech a měřeních; v podstatě je to přímé vedení stavěcí (poziční) ve tvaru tyče tříhranného průřezu, po němž se posouvají stojánky (jezdci), nesoucí čočky, filtry, olony, světelné zdroje apod.; stojánky se dají fixovat na přímém vedení v požadované poloze.

OPTRON - optoelektronický systém; je tvořen v jednoduchém případě nekoherentní elektroluminiscenční diodou a fotodetektorem, které jsou elektricky odděle-

ny; je to druh optoelektrického izolátoru; může pracovat jako převodník stejnosměrného napětí, nebo jako transformátor stejnosměrného proudu.

OSCILÁTOR - zařízení na vyvozování kmitů oscilací (obvykle elektricky).

OSCILOGRAF - přístroj k pozorování nebo registraci časového průběhu proměnných elektrických napětí a proudů. Pro nízké frekvence je podstatou přístroje smyčka z vodivého drátu, umístěná v poli silného elektromagnetu; pro vysoké frekvence se používají oscilografy katodové. **OSCILOMETR** - lékařský přístroj k měření velikosti tepových oscilací (chvění) na horních nebo dolních končetinách. **OSCILOSKOP** - elektronický měřicí přístroj, který umožňuje pozorovat na stínítku obrazovky rychlé a periodicky se opakující jevy (zvláště elektrické).

PARALAKTICKÁ MONTÁŽ - u ekvatorálu (viz), kde dalekohled je otáčivý kolem polární osy, přesně rovnoběžné s osou zemskou (a tedy i s osou světovou), a kolem osy deklinační (která je na ni kolmá).

PARALAXA - porušení v koincidenci předmětů nebo obrazů, vyvolané malými pohyby oka; je způsobena paralaktní chybou, ke které dochází při čtení údajů na přístrojích s ukazatelem a stupnicí při pohledu šikmo, a nikoliv kolmo na stupnici; nebo v zaměřovacím dalekohledu, nesplývá-li rovina obrazu s rovinou nitkového kříže. V astronomii je to obecně míra vzdálenosti nebeských těles.

PASÁŽNÍ STROJ (též průchodník) - velký dalekohled, otočný kolem osy, kolmé na rovinu poledníku; jeho záměrná osa zůstává tedy v rovině poledníku. Stroj je montován na mohutných základech a je seřizen s největší pečlivostí. Zjišťuje se jím okamžik průchodu (pasáže) hvězdy poledníkem; lze jím proto měřit rektascenci (viz) hvězd, nebo naopak pozorováním hvězd o známé rektascenci zjišťovat hvězdný čas. Podobnému účelu slouží astroláb (viz) a cirkumzenitál (viz), daleko přesnější výsledky dává fotografující zenitální dalekohled. Pasážní stroj, opatřený vertikálním děleným kruhem, slouží k měření výšky hvězd (tzv. meridiánový kruh).

PENETRACE - hloubka ve zkoušené látce, do které vnikne normální jehla nebo kulička *p e n e t r o m e t r u*, zatížená určitým závažím (hmotou), v daném čase a při určité konstantní teplotě.

PIEZOELEKTRICKÝ JEV - lze pozorovat na některých krystalech: křemeni, turmalínu, Seignettově soli (viz). Rovnoběžné koncové plošky tělíska, vhodně z uvedeného krystalu vyříznuté, dostanou opačné elektrické náboje, jestliže je tělísko namáháno tlakem nebo tahem; jev je reciproční: dostanou-li koncové plošky náboje, tělísko se mírně zkrátí, nebo prodlouží. Proto lze takovýto tělísko použít ve spojení s elektronkou jako oscilátoru (viz) k buzení ultrazvuku, k měření času, jako rezonátoru pro kontrolu frekvence, jako stabilizátoru frekvence, dále do přenosů gramofonů, mikrofónů, nebo k měření rychle se měnících sil se zápisem oscilografem (viz).

PITOTOVA TRUBICE (náporová trubice) - zařízení k měření rychlosti kapaliny nebo plynu; v jejím ústí, namířeném proti proudu, vzniká dynamický náporový tlak, který je funkcí rychlosti a hustoty kapaliny (plynu).

PLANETARIUM - přístroj k názornému předvádění skutečných nebo i zdánlivých pohybů těles sluneční soustavy; pohyblivý model hvězdné oblohy se promítá přístrojem, umístěným ve středu, na kupoli, znázorňující nebeskou klenbu. Kromě zdánlivého pohybu oblohy se všemi stálými viditelnými pouhým okem, lze tímto přístrojem znázornit zdánlivé pohyby Slunce, Měsíce a planet, a to různými rychlostmi.

PLANIMETR - přístroj k určování plošného obsahu rovinných obrazců; objede-li se pojezdčím hrotem polárního planimetru obvod obrazce, lze z údaje měřicího bubínku, upevněného na jednom rameni planimetru, určit číselně jeho plošný obsah. **Momentový planimetr** - viz integrátor.

POINTOVÁNÍ - oprava chyb; řídí-li např. regulátor otáčení astronomického dalekohledu při fotografování hvězdné oblohy, je nutno cíl stále sledovat (třeba i po několik hodin) hledacím dalekohledem a chyby hodinového stroje ručně opravovat.

POLARIMETR - optický přístroj, jímž se měří stočení polarizační roviny v roztocích některých látek (opticky aktivních); toto stočení je úměrné koncentraci a proto je možno rychle (bez analýzy) určit koncentraci (např. cukru v řepné šťávě apod.). POLARIMETRIE - kvantitativní stanovení opticky aktivních látek na základě jejich schopnosti stáčet rovinu polarizovaného světla; stanovení se provádí pomocí polarimetrů.

POLAROGRAF - přístroj pro automatický záznam polarografických křivek; znamená závislost proudu na napětí při elektrolýze; vznikají tak polarogramy, z nichž lze vyčíst přítomnost a množství různých složek roztoku. Tato Heyrovského metoda je dnes běžná v chemických, lékařských a přírodovědeckých laboratořích. Přístroj je v podstatě spojení automatického potenciometru (viz) a zrcátkového galvanometru (viz), jehož výchylka se zaznamenává na citlivý papír. POLAROGRAFIE - elektrochemická metoda, spočívající v měření závislosti intenzity procházejícího proudu na vloženém napětí při elektrolýze roztoku pomocí elektrod se stále se obnovujícím povrchem (např. rtuťová kapková elektroda). POLAROMETRIE - chemická metoda odměrné analýzy, volumetrie (viz), titrace, chemická kvantitativní analýza. Hledaná látka se stanoví reakcí s roztokem činidla přesné koncentrace.

POLYMERIZACE - tvoření velikých složitých molekul, beze změny chemického složení příslušné látky; produkt polymerizace se nazývá p o l y m e r. (Opakem polymerizace je štěpení molekul, krakování.)

POTENCIOMETR - zdroj nastavitelného a přesně známého napětí; je základním přístrojem měřicí techniky a je-li srovnán s normálním článkem Westonovým (viz), umožňuje nejpresnější měření napětí nebo proudu.

PUPILA - kruhový otvor, buď skutečný, nebo myšlený, který omezuje v optických soustavách svazek paprsků, vycházejících z osového bodu; skutečná clona v optické soustavě se nazývá clonou otvorovou, nebo-li aperturní; její obraz vytvořený částí optické soustavy, která ji předchází (resp. následuje) se nazývá pupilou vstupní (resp. výstupní); omezuje paprskové svazky vstupující do optické soustavy (resp. vymezuje paprskové svazky, jimiž vzniká obraz).

RADIOMETR (radiometrické přístroje) - zařízení pro detekci a měření záření tepelného, infračerveného, nebo radioaktivního. Radiometrem alfa, nebo beta-gama se měří stupeň zamoření povrchu různých předmětů, vzduchu, vody apod. RADIOMETRIE - metoda měření tepelného, infračerveného, nebo radioaktivního záření (viz dozimetrie).

RECEPTOR - čidlo (viz); ústrojí, uzpůsobené k zachycování fyzikálních, nebo chemických podnětů z prostředí.

REFLEKTOR - astronomický dalekohled, jehož objektivem je duté zrcadlo, na rozdíl od čočkového dalekohledu; mezi oběma těmito typy je dalekohled Schmidtův, v podstatě zrcadlový, ale doplněný korekční nekulovou čočkou, která umožňuje jinak nedosažitelnou světelnost zrcadla.

REFRAKTOMETR - optický přístroj k měření indexu lomu světla v pevných látkách nebo kapalinách. Nejuzšívanějším je Abbéův polokulový refraktometr k měření indexu lomu pevných látek i kapalin a ponorný refraktometr, používaný pouze pro kapaliny. K přesnému měření indexu lomu kapalin se používá dvojhranolový refraktometr; jeho hranoly jsou proudící vodou udržovány na konstantní teplotě. U všech

refraktometrů přichází světelný paprsek na rozhraní hranolu a měřené látky pod úhlem dopadu $\alpha = 90^\circ$ a láme se do hranolu pod mezním úhlem (viz); tento úhel se zjistí pozorováním lomeného paprsku pomocí dalekohledu a nitkového kříže (zaměřného obrazce). REFRAKTOMETRIE - v chemii jedna z metod analýzy metodami fyzikálními. Slouží ke stanovení indexu lomu a tím i koncentrace látek v roztocích (používá se např. v cukrovarnictví, konzervárenství, chemickém průmyslu apod.).

REFRAKTOR - astronomický dalekohled, s čočkovým objektivem.

REGLÁŽ - správné a přesné seřízení hodin, chronometrů (viz) a časoměrných přístrojů a jejich vyregulování z hlediska jejich přesného chodu.

REKTASCENCE - jedna ze souřadnic v rovníkové soustavě; měří se podél rovníku od jarního bodu proti směru pohybu oblohy, v míře úhlové nebo časové.

REKTIKACE - oprava měřicích strojů, přístrojů, nebo jejich součástí, aby byly splněny všechny teoretické podmínky jejich správného a přesného chodu, které buď nemohly být mechanicky absolutně provedeny, nebo jsou transportem a užíváním porušeny. Proto se před každým měřením přístroj vhodným způsobem a vhodnými metodami zkouší a zjišťuje se jeho chyba, popř. její velikost.

RENTGENOMETR - hlavní přístroj pro radiační průzkum; měří úroveň radiace zamořeného terénu v mezích od setin až do několika set rentgenů za hodinu.

SEIGNETTOVA SŮL - vinan sodnodraselný, $\text{KOOO.CHOH.COONa.4H}_2\text{O}$; velké bezbarvé krystaly, vykazující piezoelektrický jev (viz).

SERVOMOTOR - výkonný orgán, schopný vyvinout síly mnohonásobně převyšující schopnost orgánu regulačního nebo čidla (viz). Servomotor se používá i při řízení ručním, nestačí-li lidská síla (řízení velkého letadla, rozvod těžního stroje). Servomotory jsou různých konstrukcí: mechanické, pneumatické, hydraulické, elektrické; jsou nezbytnou součástí většiny zařízení pro automatickou regulaci.

SFÉROMETR - přístroj, určený k měření poloměru křivosti kulových ploch čoček tím, že se změří výška kulového vřchlíku, jehož průměr je určen rozměry přístroje; sférometr doléhá na kulovou plochu čočky buď ve třech bodech, nebo kruhovou hranou; na střed čočky doléhá měřicí tykadlo.

SILIKONY - sloučeniny, obdobné sloučeninám organickým, avšak úlohu uhlíku zde zastává křemík (silicium). Je známo na tisíce silikonů, látek kapalných i tuhých, které mají nejrozličnější fyzikální vlastnosti. (Jako ukázkou můžeme uvést olejovitý silikon, který se výborně hodí např. do olejových tlumičů, neoxyduje a jeho viskozita je téměř nezávislá na teplotě.)

SPEKTROBOLOMETR - přístroj k měření a indikaci zářivé energie pomocí jejího tepelného účinku (viz bolometr).

SPEKTROFOTOMETRIE (spektrální fotometrie) - měření množství světla, propouštěného (pohlaceného) určitou látkou v závislosti na vlnové délce záření; provádí se s p e k t r o f o t o m e t r y (viz fotometrie).

SPEKTROGRAF - optický přístroj k registraci spektra, zpravidla fotografickou cestou. SPEKTROGRAFIE - způsob registrace spektra; provádí se buď fotografickou cestou (u infračerveného, viditelného a ultrafialového světla, rentgenového záření a záření gama), nebo pomocí elektrických registračních zařízení (viz bolometr, fotoelektrický násobič). SPEKTROMETR - optický přístroj k měření vlnových délek spektrálních čar, lámavosti, lámavých úhlů, disperze (viz) apod. Záření vyšetřovaného zdroje prochází vstupní štěrbinou a kolimátorem; u hranolového spektrometru se rozkládá hranolem, u mřížkového spektrometru ohybem na mřížce. Dalekohledem se pozoruje osvětlená štěrbinu kolimátoru; otočný dalekohled je spojen s děleným kruhem, stavitelný stolek pro hranol se otáčí s nosičem vernierů (viz), nebo mikroskopů; pro oba pohyby jsou ustanovky (viz). SPEKTROMETRIE - měření vlnových délek ve spektru. SPEKTROSKOP - optický přístroj k vizuálnímu



pozorování spektra; je konstruován podobně jako spektrometr nebo spektrograf. **SPEKTROSKOPIE** - obor fyziky, zabývající se vznikem a vlastnostmi všech druhů spekter; nepostradatelná a spolehlivá metoda četných vědních a technických oborů. (Spektra molekul a atomů souvisí s jejich vnitřní stavbou; studium spekter dává proto cenné informace o uspořádání atomů a jejich vazeb v molekule.)

SPEKTROHELIOGRAF - přístroj k f o t o g r a f o v á n í Slunce ve světle jediné spektrální čáry. **SPEKTROHELIOSKOP** - přístroj k p o z o r o v á n í Slunce ve světle jediné spektrální čáry.

TACHOMETR - přístroj k měření otáčivé rychlosti. Karlíkův tachometr, používaný u těžních strojů, využívá odstředivé síly, působící na rtuť v nádobě. Chronometrický tachometr je hodinový stroj, který periodicky spojuje ústrojí řídící ručku s poháněcím hřídelem; ručka se pohybuje skoky, ale přístroj je velmi přesný. **TACHOGRAF** - zapisovací, registrační tachometr, zapisující otáčivou rychlost.

TACHYMETR - teodolit (viz) o menší přesnosti, který má v dalekohledu dálkoměrný kříž. Je vhodný pro rychlé zaměřování bodů v polárních souřadnicích, při čemž dostáváme i výškové rozdíly (tzv. tachymetrování). Existují též stroje složitější, které dávají hotové výsledky přímo, bez dodatečných výpočtů.

TENZOMETR - zařízení k měření deformací zatěžované součásti nebo konstrukce; z nich pak lze stanovit namáhání příslušné části. Jsou mechanické (s pákovým systémem), optické (s optickým zrcátkovým systémem), elektrické (odporové, kapacitní, indukční), nebo kombinované. Nejvíce jsou používány elektrické odporové tenzometry (tzv. strain gauge): je to osnova tenkých odporových drátků, která se lepí na vyšetřovanou součást; deformací drátků se mění jejich ohmický odpor, který je mírou zjišťovaného namáhání vyšetřované součásti.

TEODOLIT - nejdůležitější geodetický stroj k měření a vytyčování vodorovných a svislých úhlů. Záměrný dalekohled je uspořádán v azimutální montáži (viz). Na horizontálním kruhu - limbu (viz) - čteme horizontální úhly - azimuty (viz), na vertikálním kruhu úhly vertikální (výškové). Jednoduché teodolity jsou se čtením na úhlové minuty; přesné stroje jsou vybaveny odečítacími mikroskopy; souběžné stroje mají skleněné dělené kruhy a čtení mikroskopem na zlomky úhlové sekundy, přičemž je automaticky vykompenzován vliv excentricity kruhů.

TERMOSTAT - pouzdro, skříň, nebo místnost, kde se udržuje stálá teplota (nejčastěji automaticky, řízeným topením elektrickým, nebo plynovým); při teplotě kolem 20 °C je třeba jak zařízení topného, tak i chladičného; pro nízké teploty stačí jen zařízení chladičové.

TORZNÍ VÁHY - příčka, visící na drátku, často na křemenném vlákně; dovoluje měřit nejmenší otáčivé momenty. (Často se takto označuje druh mikrováh.)

TURMALÍN - silikátový polodrahokam, velmi složitého a variabilního složení, různých barev, průhledný i černý. Jeví význačné pyroelektrické, piezoelektrické a optické vlastnosti.

TVRDOMĚR - technický přístroj, založený na nestejném vnikání tvrdého tělíska do zkoušeného kovu nebo součásti; tělískem bývá buď ocelová kulička (Brinell, Rockwell), diamantový kuželík (Rockwell), nebo diamantový jehlan (Vickers). Měří se buď automaticky hloubka otisku (Rockwell), avšak spolehlivější, ale pracnější je měření příčných rozměrů otisků vizuálním nebo projekčním mikroskopem. (Malé rozměry otisků umožňují kontrolu i nepřilíš malých součástí, prakticky bez poškození; ze změřené tvrdosti lze soudit též i na pevnost materiálu.)

ULTRAMIKROSKOP - speciálně upravený mikroskop, kterým je možno pozorovat velmi malé (ultramikroskopické) částice, jejichž velikost je pod rozlišovací mezí běžného mikroskopu; používá se např. v chemii ke zkoumání koloidních látek.

USTANOVKA - zařízení u přístrojů přesné mechaniky k jemnému a přesnému nastavení polohy části (součásti), která má velký rozsah pohybu; pro pohyb přímočarý jsou ustanovky délkové, pro pohyb kruhový ustanovky obvodové nebo osové.

VARIÁTOR - druh převodového soukolí pro plynulou změnu převodu.

VARIOMETR - přístroj, udávající za letu letadla vertikální složku rychlosti. Mění-li letadlo výšku, mění se tlak okolního vzduchu; vzduch v nádobce nestačí tyto změny ihned sledovat, neboť spojení s vnějším je tvořeno kapilárou; vzniklé rozdíly tlaku ukazuje diferenční manometr, cejchovaný přímo v m.s⁻¹.

VENTURIHO TRUBICE - přístroj k měření průtočné rychlosti a průtočného množství tekutiny v potrubí (nebo vzduchu, plynu); sestává z trubice, zužující se kuželovitě z průměru potrubí a zase se rozšiřující na též průměr, a z manometru (viz), jehož ramena jsou připojena v místech největšího a nejmenšího průřezu trubice; rozdíl tlaků udává průtočnou rychlost, nebo množství.

VERNIER - pomocné měřítko k určení menších zlomků dílků hlavního měřítka; nonius (viz).

VIBROGRAF - přístroj pro zapisování (registraci) chvění, kmitání a rychlých periodicky se opakujících pohybů. **VIBROMETR** - přístroj pro měření chvění, kmitání, rychlých periodicky opakovaných pohybů součástí, zařízení, materiálu apod.

VOLUMETRIE - odměrná analýza, titrace (viz polarometrie), druh chemické kvantitativní analýzy; hledaná látka se stanoví (titruje) reakcí s roztokem činidla přesné koncentrace (titru), jehož objem se měří odměrnou nádobou (byretou).

VOLUMINOMETR - přístroj k měření objemu pevných těles: těleso se vloží do nádoby, uzavře se víkem a otáčením mikrometrického šroubu vyžene píst rtuť ke značce; totéž se opakuje bez měřeného tělesa; rozdíl obou čtení je hledaný objem.

VOLTAMETR - přístroj k určování prošlého elektrického množství, podle elektrolitických účinků proudu: měří se hmotnost pevných (nebo objem plyných) látek, které se vyloučily na elektrodách (viz coulombmetr).

VÝSKOMĚR LETECKÝ - aneroid (viz), jehož stupnice je označena přímo v metrech výšky (předpokládá se smluvená průměrná závislost mezi výškou a barometrickým tlakem vzduchu).

WESTONŮV NORMÁLNÍ ČLÁNEK - důležitý galvanický článek, který se používá jako normál (viz) elektromotorické síly; jednu jeho elektrodu tvoří 12,5%ní kadmiový amalgam (viz), druhou rtuť, pokrytá síranem rtuťným a nasyceným roztokem síranu kademnatého; jeho elektromotorická síla při 25 °C je 1,01830 V.

WOLLASTONOVY DRÁTKY - drátky o průměru $d = (0,5 + 2) \mu\text{m}$; vyrábějí se tak, že se z tlustostěnné stříbrné trubičky o průměru D , obsahující platinové jádro o průměru d (poměr $D/d \approx 5$) vytáhne tenký drátek, načež se stříbro rozpustí kyselinou dusičnou.

2.2. POJMY UŽÍVANÉ V METODICE KONSTRUOVÁNÍ

TECHNICKÝ SYSTÉM - je soubor prvků s danou strukturou a určitou funkcí, ohraničený vzhledem k okolí tzv. hranicemi systému. Hranice systému vymezují, co do systému patří a co ne. Spojení mezi systémem a okolím tvoří pouze vstup a výstup. Systém se dále může dělit na dílčí systémy. Jako příklad systému může tvořit převodová skříň. Vstupem do systému jsou vstupní otáčky a hnací krouticí moment, výstupem pak výstupní otáčky a hnaný krouticí moment. Dílčím systémem v této převodovce může být např. 1. převodový stupeň. Převodovka sama může být dílčím systémem dalšího zařízení. Jaké vnitřní konstrukce je převodová skříň nás zajímat nemusí. Toto je důležité, protože z hlediska obecnosti se nemusíme podrob-

ným popisem zařízení zabývat a tím jsme schopni odstranit významovou mnohoznačnost v různých oborech.

ENERGIE, LÁTKA, SIGNÁL. Energie je z fyzikálního a technického hlediska síla, schopná vykonávat práci. Pojem energie musí být současně doprovázen druhem energie. Z technického hlediska pod pojmem energie chápeme energii mechanickou, tepelnou, elektrickou, chemickou, jadernou atd., ale také sílu, proud, teplo.

Látka se v technickém slova smyslu projevuje svými konkrétními vlastnostmi, jako je hmotnost, tekutost, barva, pevnost, houževnatost apod. Jinak látkou rozumíme plyn, kapalinu, pevné těleso atd., ale také surovinu, materiál, stavební díl, předmět zkoušky, zkoumaný předmět atd.

Signálem rozumíme informaci podanou ve fyzikální formě. (Informaci s lidmi nazýváme zprávou.)

V technickém procesu mohou být energie, látka a signál měněny nebo vedeny. Např. elektrická energie se dá měnit na mechanickou, tepelnou, světelnou, a to strojem, přístrojem, zařízením. Látka může být dělena, vrstvena, tvarována, dopravována, převáděna na jiný stav atd. Signály mohou být vkládány, sbírány, vedeny, srovnávány, registrovány apod.

Dochází-li v technickém procesu ke změně energie, látky, nebo signálu, pak mluvíme o toku energie, látky, signálu. Při současných tocích obvykle převládá jedna z uvedených veličin a ta pak tvoří tzv. hlavní tok; ostatní veličiny vytvářejí vedlejší toky. Vedlejší toky mohou, ale také nemusí být zjevné. Změna látky je vždy doprovázena tokem energie.

Při řešení technického úkolu musí být vždy uvažována kvalita a kvantita uvažovaných veličin, abychom obdrželi jednoznačná kritéria pro upřesnění úkolu, pro volbu a hodnocení návrhu, konečného výrobku a ekonomických parametrů.

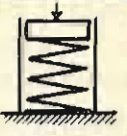
FUNKCE, FUNKČNÍ SOUVISLOST - je vztah mezi vstupem a výstupem technického systému s cílem plnit daný úkol. Funkční souvislosti musí být jednoznačné a reprodikovatelné. Pro stacionární děje nám může postačit jen vstup a výstup, aniž by muselo být udáno konkrétní řešení plnění funkce. Tím se stává funkce nezávislá na řešení. Pro nestacionární děje se musí mimo vstup a výstup udat i jejich časové závislosti. Funkce jsou popisovány pouze předmětem a slovesem, jako např. dílce spojit, otáčky snížit, sílu zavést, deformaci vyvodit apod. Doporučuje se doplnit tyto údaje hodnotami fyzikálních veličin.

Funkce může být buď celková nebo dílčí. Celková funkce vyplývá z upřesněného úkolu, tj. ze všech účastněných veličin vztažených na vstup a výstup. Celková funkce se může skládat z dílčích funkcí, které plní dílčí úkoly tzv. celkové funkce. Dílčí funkce se zapojují v nuceném sledu podle požadovaného průběhu, tj. sekvencí. Zapojené dílčí funkce musí být vzájemně únosné. Zapojením dílčích funkcí mohou vznikat různá řešení, čili variace.

Vzájemné spojení dílčích funkcí vytváří funkční strukturu, v níž může být jedna hlavní; ostatní jsou pak vedlejší. Vytypovat hlavní funkci může být někdy obtížné, ale dají se určit zkoumáním vzájemných souvislostí.

LOGICKÉ SOUVISLOSTI - určují nutnou návaznost mezi vstupem a výstupem dílčích funkcí, při plnění celkové funkce. Při logickém rozboru funkčních souvislostí se hledá napřed obecná souvislost, která musí v systému nastat nebo musí být vynucena. Obecná souvislost se nalezne z vazeb dílčích funkcí nebo z jejich vstupů či výstupů. Zapojení dílčích funkcí je buď postupné (seriové), nebo současné pro několik funkcí (paralelní). Např. měření výkonu - motor - spuštění motoru - zatěžování motoru brzdou - měření síly na rameni brzdy - měření otáček (obě současné) - vyhodnocení. Spojení dílčích funkcí provádíme podle dvouhodnotové logiky.

FYZIKÁLNÍ SOUVISLOSTI - jsou fyzikální jevy a jejich vzájemné vazby, které realizují dílčí funkce. Ve strojírenství obvykle se funkce uskutečňuje fyzikálním jevem, ale je možno použít i jevu biologického nebo chemického. (Tyto uvedené jevy můžeme v podstatě chápat i jako jevy fyzikální.) Každý fyzikální jev je popsán fyzikálním zákonem, v němž jsou účastněným veličinám připsány kvantitativní hodnoty. Vyjádření fyzikálního jevu v konkrétní podobě dává fyzikální princip. Blokové schéma řešení dílčí funkce fyzikálním jevem, principem, až k řešení udává schéma:

Dílčí funkce	Fyzikální jev	Fyzikální princip	Řešení
Akumulovat mechanickou energii	Pružná deformace tělesa $E = -\frac{1}{2} \cdot l \cdot F$	Akumulace energie pružinou	

Tutéž dílčí funkci lze splnit i jinými fyzikálními jevy. Tím vznikají variace řešení. Použitý fyzikální princip může plnit dílčí funkci optimálně jen za určitých podmínek.

TVAROVÉ SOUVISLOSTI - dávají konkrétní podobu fyzikálnímu principu. Vzniká princip řešení. Každý fyzikální princip je vázán na místo svého působení, na uspořádání činných ploch, čar nebo prostoru a na volbu druhu pohybu. Tvar činných ploch může být buď měněn, nebo předem stanoven a to druhem, formou, velikostí a počtem. Druh, formu, velikost a počet lze aplikovat i na pohyb:

- druh - postupný, rotační;
- forma - rovnoměrný, nerovnoměrný;
- směr - ve směru osy x, y, z; kolem os x, y, z;
- velikost (hodnota) - rychlost, zrychlení;
- počet - jeden, více.

Tvar činné plochy je vázán na látku. Teprve volba materiálu, látky a jejich vlastností dává předpoklad pro správné tvarování a tím vytvoření i principu základního řešení. V některých případech je nutné mít předem určitou představu o tvaru, rozměrech a výrobních možnostech, aby mohla být provedena kombinace principů řešení pro splnění celkové funkce.

HLAVNÍ CÍL ÚKOLU - je plnění technické funkce při ekonomické realizaci se zaručenou bezpečností pro člověka a okolí. Bez těchto základních podmínek by bylo řešení samoúčelné. Další podmínky pro řešení technického úkolu jsou tyto:

- bezpečnost - ve smyslu přípustnosti provozu;
- ergonomie - ve vztahu stroj - člověk, design;
- výroba - způsob výroby a výrobní prostředky pro dílčí výrobu;
- kontrola - v každém požadovaném cílovém bodě;
- montáž - uvnitř, vně, při dílčí výrobě;
- doprava - uvnitř nebo vně provozních místností;
- spotřeba - provoz, obsluha, hlídání, inspekce;
- náklady - cena, doba, termíny.

Tyto faktory mohou mít vliv na funkci, činný princip, tvarování.

INTUICE - je v podstatě zdůrazněná nápaditost, která využívá komplexních poznatků a zkušeností uložených ve vědomí. Nový nápad vznikne naráz a tento poznatek se uloží ve vědomí, při čemž může být buď již málo ovlivněn nebo úplně z paměti vymazán. Intuice dodala pro konstrukci a vynálezy mnoho velmi dobrých řešení, ale přesto má tyto hlavní nedostatky:



- dobrý a správný nápad zřídka přichází v době, kdy jej potřebujeme, protože jej nemůžeme vynutit;
- nápad závisí na náladě a na zkušenostech pracovníka;
- vzniká nebezpečí, že řešení bude záviset jen na technické úrovni pracovníka a na jeho představách.

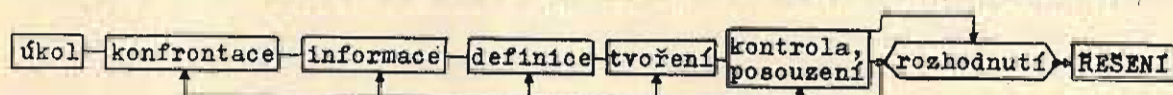
DISKURZE - je vědomý myšlenkový postup, který daný problém zpracovává v postupných krocích. Jednotlivé kroky - myšlenky - se vědomě, ovlivnitelně a sdělovatelně analyzují, obměňují a kombinují. Diskurzní myšlení je umožněno skutečností, že řešení dané úlohy se zpravidla neprovádí celkově, ale že se člení na přehledné dílčí úlohy, které se dají snadněji řešit. Existuje více diskurzních metod.

Intuice a diskurze nejsou ve vzájemném protikladu, ale naopak diskurze může podpořit intuici.

ANALÝZA - je získávání informací členěním a rozložením nalezeného řešení na jednotlivé prvky, zkoumáním jejich vlastností a vzájemných souvislostí. Z těchto informací získáváme poznatky k posouzení řešení. Analýza může být prováděna v každém ukončeném kroku řešení, aby se včas vyloučily omyly a našly správné postupy.

SYNTÉZA - je v podstatě zpracování informací jejich spojováním, za účelem získání nových účinků. Jedná se o postup hledání, nalézání, kombinování jednotlivých znalostí a dílčích řešení k funkčně schopnému systému. Je to vlastně spojování jednotlivostí k jednotnému celku. Při kombinování jednotlivých dílčích úkolů, nebo časově na sebe navazujících kroků, musí se vždy současně uvažovat celková funkce, neboť jinak by mohlo dojít k omylům při řešení úkolu.

KONSTRUKČNÍ PROCES - je chápán jako uspořádaný postup prací, které je nutné provést od zadání konstrukčního úkolu až po jeho realizaci ve formě výkresové dokumentace. V podstatě zde jde o přeměnu informací, které jdou od kvalitativního ke kvantitativnímu řešení. Výdej informací je současně vstupem do dalšího plánovaného pracovního kroku. Mezi jednotlivými kroky ať pracovními či rozhodujícími existují nutné a pevně spjaté souvislosti, vázané na cíl, plánování, kontrolu a provedení. Vazba vzájemných souvislostí se dá znázornit blokovým schématem:



Konfrontace spočívá v hledání protikladů známých nebo (ještě) neznámých realizačních možností. Účinnost konfrontace závisí na vědomostech, znalostech a zkušenostech oboru a konstruktéra. Informací rozumíme v tomto schématu získání bližších údajů o zadání úkolu - zakázky -, podmínkách výroby, možných principech a známých podobných řešení. Definice musí vytypovat podstatu úkolu a cíl v abstraktní rovině, aby řešení nebylo omezeno podmínkami v definici. Tvoření je rozvíjení ideí pro řešení úkolu podle různých metod jejich kombinování a obměňování. Výsledky myšlenkového a konstrukčního postupu jsou podrobovány kontrole a posuzování s ohledem na cíl, který chceme dosáhnout. Rozhodnutí dává zásadní odpověď o dalším postupu práce. V případě, že výsledek s ohledem na cíl je neuspokojivý, se ptáme zda opakování pracovních kroků má naději na úspěch či ne. Při kladné odpovědi se vracíme do předcházejících kroků s informacemi na vyšší úrovni. Při záporné odpovědi další postup zastavujeme.

VYJASNĚNÍ ÚKOLU představuje získávání informací o požadavcích, které jsou kladeny na řešení úkolu a také o stávajících podmínkách, za nichž se má řešení uskutečnit, aby bylo optimální. Proto je nutná jasná, přesná a co nejobsažnější formulace úkolu, aby v průběhu práce nemusely být dávány či požadovány další doplňky či prováděny korektury. Při jasné formulaci odpadají dotazy, sbírání informací, konzultace atd., což značně šetří čas při vlastní konstrukční práci. Přes-

ná formulace se má předávat na tzv. požadavkovém listu (zakázce), a tento má být před předáním konzultován s konstruktéry a techniky.

V požadavkovém listu musí být vyjasněno:

- o jaký problém se vlastně jedná;
- co se očekává nebo přeje (i když nevysloveně) od řešení;
- jaké je postavení úkolu vzhledem k daným podmínkám;
- jaké jsou volné cesty k vývoji;
- jaký účel má řešení splňovat;
- jaké vlastnosti má řešení mít.

Neobsahuje-li požadavkový list - zakázka - úplné údaje, je nutno je v konstrukci přezkoušet a získat další informace, a to s ohledem na:

- neúplnost zakázky - dotazy na obchodní oddělení nebo u zákazníka, na reklamace, na zkušební a montážní zprávy;
- stav techniky - zda existuje podobné řešení v odborných knihách, technických časopisech, patentech či prospektech;
- předepsané údaje - tj. mezinárodní doporučení, národní normy, směrnice zahrnutých vyjímek atd.;
- budoucí vývoj - který zahrnuje změny struktur a způsobů informací o nových trendech technickoekonomického vývoje a vývoj vlastních představ ke splnění úkolu.

Při formulaci úkolu a požadavkového listu se dále můžeme řídit podle níže uvedených bodů:

- geometrie - velikost, výška, šířka, délka, průměr, potřebný prostor, počet, uspořádání, připojování, výstavba, následné rozšiřování, . . .;
- kinematika - druh pohybu, směr pohybu, rychlost, zrychlení, . . .;
- síla - směr, velikost, četnost, hmotnost, druh zatížení, momenty, deformace, tuhost, pružné vlastnosti, stabilita, rezonance, . . .;
- energie - druh, vedení, účinnost, ztráty, tření, stav, tlak, teplota, ohřátí, chlazení, připojené energie, akumulace, přeměna energie, pracovní síly, . . .;
- látky - tok materiálu, doprava materiálu, fyzikální a chemické vlastnosti vstupního a výstupního produktu, pomocné látky, předepsané materiály, . . .;
- signál - vstupní a výstupní hodnoty, druh signálu, údaje o provozních, signalizačních, regulačních přístrojích, . . .;
- bezpečnost - základní bezpečnostní technika, ochranné systémy pracovníka, bezpečnost okolí, . . .;
- ergonomie - vztah člověk - stroj, obsluha, výška, místo, druh obsluhy, přehlednost, osvětlení, tvarování, komfort obsluhy, . . .;
- výroba - omezení místem výroby, kooperace, větší sestavitelné rozměry, speciální výrobní způsoby, výrobní prostředky, dosažitelné kvality, tolerance, kvóta zmetků, kusová, seriová, hromadná, . . .;
- kontrola - měřicí a zkušební možnosti, zvláštní předpisy, . . .;
- montáž - sestavování, výstavba, zakládání, stavebnicová montáž, speciální montážní způsoby, . . .;
- doprava - omezení zdvihadlem, drážní profil, dopravní cesty podle velikosti a hmotnosti, zásilací podmínky a druhy, nasazení manipulátorů a robotů, . . .;
- provoz - bezhlučný, místo použití, území, spolehlivost, pracovní a okolní teploty, diagnostika, . . .;

údržba - bez požadavků na velkou údržbu, počet a časová potřeba na údržbu, inspekce, výměna, nátěry, odsávání, . . . ;

náklady - maximálně přípustné, náklady na nářadí, investice, amortizace, . . . ;

termíny - konec vývoje, síťový plán, dodací lhůty,

Je vhodné vyjasnění úkolu aplikovat nejen na nové výrobky, ale i na všechnu konstruktérskou činnost.

KONCIPOVÁNÍ - určuje konceptem zásadní cestu řešení daného úkolu. Koncipování může začít až po vyjasnění a přesné formulaci úkolu tak, že se provedou tyto kroky: úkol se abstrakcí zevšeobecni, aby se našla podstata úkolu, která není ovlivněna známými řešeními a mohly se dát volné cesty k novému řešení na základě současného stavu vědy a techniky; při známé podstatě se stanoví celková funkce, jejíž plnění se provede dílčími funkcemi. Vznikne tak funkční struktura. Ta se realizuje fyzikálními principy a fyzikálními souvislostmi a jejich kombinacemi na principy řešení. Spojování dílčích funkcí do funkční struktury se může dít seriově, paralelně, popř. se zpětnovazebním účinkem. Funkční struktura má být jednoduchá, přehledná, logická a ke znázornění má používat symbolů.

Pracovní kroky musí najít nejlepší řešení, které má vycházet z technických hledisek, ale současně se může brát i ohled na ekonomickou stránku. Vyskytne-li se současně několik rovnocenných variant řešení, pak se konečné rozhodnutí o variantě provádí až z další konkretizace, např. i z více tvarových variant.

NAVRHOVÁNÍ je v podstatě technické zobrazení vybraného konceptu, při němž se provádí tvarování z technických a ekonomických hledisek, doplněné dalšími údaji pro jednoznačnost ve výrobě. Vzniká tak současně i rozměrový návrh. Rozměrových i tvarovacích návrhů může být více a mohou vznikat současně nebo postupně. Tím se dají získat informace o přednostech nebo nedostatecích řešení. Rozměrové návrhy musí být zhodnoceny z technicko-ekonomických hledisek, aby se dal vybrat ten, který bude vykazovat nejlepší celkové parametry. Optimální návrh může být doplněn vybranými dílčími řešeními i z jiných předložených variant, vykazující lepší vlastnosti, než obsahoval optimální návrh. Tím můžeme získat konečné řešení pro další zpracování úkolu.

Konečný návrh slouží pak ke kontrole funkcí, pevnosti, prostoru, technologie apod., při čemž automaticky předpokládáme, že ekonomické náklady jsou reálné a splnitelné.

VYPRACOVÁNÍ ÚKOLU je zhotovení výrobní dokumentace, která se předává do výroby pro konkretizaci daného úkolu. Výrobní dokumentace předpisuje konečný tvar, rozměr, vlastnosti povrchu, tolerance, úchytky tvaru a polohy, určuje materiál, přezkoušuje výrobní možnosti, náklady, montážní postup, kontrolu, nutné zkoušky a jiné podklady pro materiální realizaci.

Tato fáze konstrukčního procesu nesmí být podceňována, protože těžkosti bývají často ukryty právě v detailech. Odtud musí být někdy prováděny korektury v návrhu, spojené s opakováním předcházejících kroků. Zhotovení výrobní dokumentace musí být sledováno i konstruktérem, který byl pověřen návrhem a to, zda byly plně splněny jeho představy, zda nebyly zkresleny a zda byla jeho hlediska brána v úvahu.

Literatura:

- [1] Příruční slovník naučný (I. až IV. díl). Academia, nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1962 až 1967.
- [2] Technický naučný slovník (I. až V. díl). SNTL - nakladatelství technické literatury, Praha, 1962 až 1964.

3. VLASTNOSTI POUŽÍVANÝCH MATERIÁLŮ

3.1. OBECNÉ ZÁSADY PRO VOLBU MATERIÁLŮ V PŘESNÉ MECHANICE

Vlastnosti materiálů posuzujeme v přesné mechanice poněkud jinak, než v ostatních oborech strojírenství [1], [2], [3], [4], [5]. Ve strojírenství je kladen hlavní důraz na pevnost materiálu. Avšak ta v přesné mechanice - až na výjimky - bývá nevyužita: působící síly jsou obvykle malé, součásti jsou předimenzované a často klademe důraz na tuhost součástí.

Hlavním znakem přesné mechaniky je přesnost. Proto klademe zcela zvláštní důraz na přesnou obrobiteľnost materiálu a na jeho rozměrovou i tvarovou stálost. Velký důraz klademe na tuhost součástí, protože pružné deformace součástí snižují přesnost zařízení; proto nás zajímá modul pružnosti materiálu daleko více, než jeho pevnost. Pro některé účely je důležitá tvrdost materiálu, jindy jeho lůžiskové vlastnosti; u speciálních materiálů pak jsou rozhodující zvláštní fyzikální vlastnosti - ať již mechanické, tepelné, nebo magnetické a elektrické apod. - pro které materiál právě volíme.

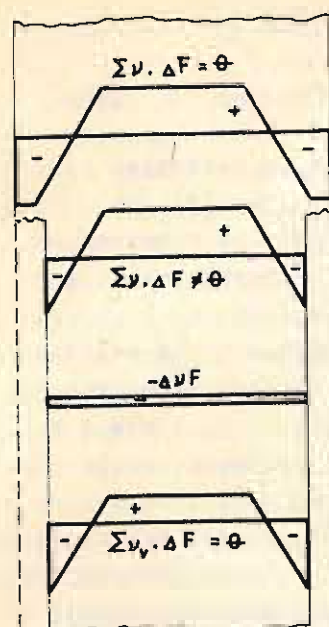
Obrobiteľnost je schopnost materiálu nechat se obrábět při dosažení určitého třískového výkonu a požadované jakosti obroběného povrchu. Avšak v přesné mechanice zní otázka obrobiteľnosti jinak než ve strojírenství: při výrobě obvykle nelze dosáhnout vysokých třískových výkonů; veliký řezný výkon znamená velké řezné síly a tedy i značné deformace obráběné součásti; vznikající oteplování vede pak k dalším deformacím a rozměrovým změnám. Tam, kde požadujeme nejvyšší přesnost, nutno naopak obrábět často velmi pomalu; u součástí malých průměrů ani větší řezná rychlost není dosažitelná¹⁾.

Při výrobě drobných součástí v přesné mechanice a přístrojové technice se používají nástroje s plátky ze slinutých karbidů ne proto, že umožňují velký třískový výkon, ale proto, že mají lepší trvanlivost břitů. Podmínkou je, aby se materiál dal odebírat i v nejtenších třískách. Soustružíme-li čípek o průměru $d = 0,1 \text{ mm}$, je nutné odebírat třísky řádově silné $s = 1 \mu\text{m}$; tříska od jemně nabroušeného a vyleštěného nože odletuje jako prach; je zřejmé, že se zde k obrábění nehodí každá ocel. Malé součásti do hodiniek jsou často na hranici obrobiteľnosti.

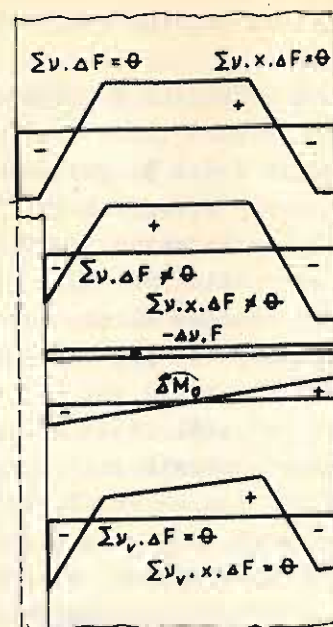
Rozměrová a tvarová stálost je při volbě materiálu ještě důležitější vlastností. Při opracování materiálu, který se špatně obrábí břitkem, lze si někdy pomoci broušením; avšak nelze vyrobit trvale přesnou součást z materiálu, který mění - popř. ještě celé roky - své rozměry. Rozměrové změny mají dvě příčiny: ze strojírenství známý "creep" (tečení) a molekulární nestabilitu materiálu.

Každý materiál se trochu plasticky deformuje účinkem trvale působícího napětí, a to tím více, čím vyšší je teplota. Ve strojírenství způsobuje creep potíže u součástí namáhaných za vysokých teplot. V přesné mechanice jsou sice teploty nízké, creep je tedy velmi malý, a přesto v mnoha případech přece jen znatelný. Zvláště nepříznivé je chování trvale zatížených pružných elementů, měřicích pružin,

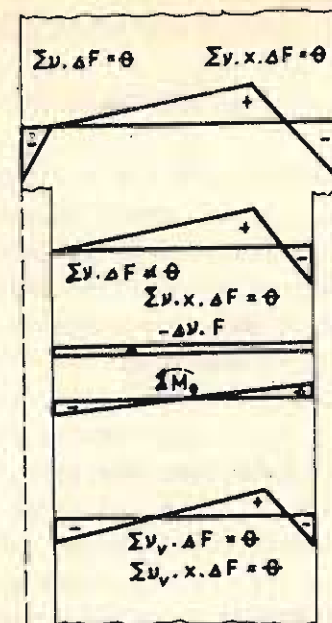
¹⁾ Např. při průměru čípku $d = 1 \text{ mm}$ znamená $10.000 \text{ ot.min}^{-1}$ obvodovou rychlost pouze $v = 31,4 \text{ m.min}^{-1}$.



Obr. 3.1.



Obr. 3.2.



Obr. 3.3.

membrán, tlakoměrných krabic, např. u aneroidů: měřicí pružina se poddává, tím se posunuje nulová poloha ukazatele a přístroj je nutno často podle normálu opravit. Creep je u různých materiálů různý; nejmenší byl zjištěn u taveného křemene, veliký je např. u zinku.

Trvale působící napětí, které je příčinou rozměrové a tvarové nestability, může být způsobeno buď vnějšími silami, nebo vnitřním napětím v materiálu samém. Vnitřní pnutí mohou vzniknout po tepelném zpracování, např. kalení. Popouštění se tato napětí uvolňují, ne však úplně. K dalšímu uvolňování dochází postupně během času; součást tedy ještě po léta mění své rozměry¹⁾. U duralu, kde po kalení následuje proces stárnutí, jsou tyto změny daleko větší, než u oceli; z duralu proto nelze vyrobit spolehlivě přesnou součást.

Podobného druhu jsou napětí, která vznikají v odlitcích při chlazení, nebo u svařovaných součástí. Vnitřní napětí v materiálu vznikají také tvářením za studena (válcování, ražení, tažení za studena). Tváření za studena může vést k různým samovolným změnám; např. ke změnám elektrické vodivosti; u etalonů odporu a u přesných odporových teploměrů je počítován již i vliv deformace drátu při navíjení. Důsledky vnitřních pnutí a jejich vlivy při obrábění jsou uvedeny na obr. 3.1 až 3.3. Tažená tyč může mít v povrchové vrstvě tlakové napětí; aby nastala rovnováha, bude vnitřek tyče v tahovém napětí. Změníme-li obrobením průměr tyče d , odstraníme část tlakově napjaté vrstvy; dostaví se nový rovnovážný stav tím, že se zmenší tahové napětí uvnitř a zvětší se tlakové napětí (obr. 3.1); tyč se zkrátí. Byl-li materiál opracován nesymetricky, bude i zkrácení nesymetrické a tyč se působením ohybového momentu M_0 prohne (obr. 3.2). To se stává u součásti (např. hřídelů) po vyfrézování drážky pro podélný klín. Nevyhnutelně se též prohne tyč po soustružení, byl-li původní obraz napjatosti nesouměrný (obr. 3.3).

Samovolné a dlouhodobé rozměrové, tvarové i jiné změny mohou být způsobeny také strukturní nestabilitou materiálu. Ta není dosud uspokojivě probádána. Víme však, že hlavní roli zde hraje složení materiálu; zřetelný vliv zde má historie zpracování materiálu. Typické v tomto ohledu je chování feroniklových slitin (in-

¹⁾ Toto je hlavní problém např. při výrobě koncových měrek.

		Délka L v milimetrech							
		5	10	20	50	100	200	500	1000
Rozdíl v součinitelích teplotní roztažnosti α_1 a α_2 dvou materiálů, $\times 10^6$	2	0,01	0,02	0,04	0,1	0,2	0,4	1,0	2,0
	4	0,02	0,04	0,08	0,2	0,4	0,8	2,0	4,0
	6	0,03	0,06	0,12	0,3	0,6	1,2	3,0	6,0
	8	0,04	0,08	0,16	0,4	0,8	1,6	4,0	8,0
	10	0,05	0,10	0,20	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
	12	0,06	0,12	0,24	0,6	1,2	2,4	6,0	12,0
	14	0,07	0,14	0,28	0,7	1,4	2,8	7,0	14,0
	16	0,08	0,16	0,32	0,8	1,6	3,2	8,0	16,0
	18	0,09	0,18	0,36	0,9	1,8	3,6	9,0	18,0
	20	0,10	0,20	0,40	1,0	2,0	4,0	10,00	20,0
	22	0,11	0,22	0,44	1,1	2,2	4,4	11,0	22,0
	24	0,12	0,24	0,48	1,2	2,4	4,8	12,0	24,0
	26	0,13	0,26	0,52	1,3	2,6	5,2	13,0	26,0
	28	0,14	0,28	0,56	1,4	2,8	5,6	14,0	28,0
	30	0,15	0,30	0,60	1,5	3,0	6,0	15,0	30,0

Tab. 2.

varu). I tato nestabilita se časem zmírňuje a často i zde saháme k různým stabilizačním procesům. Molekulárně nejstabilnější jsou nerosty. Avšak i křemenná tyčka v křemenných hodinách stárne, ovšem zde jde o samovolné změny frekvence řádu $1 \cdot 10^{-7}$. Problém samovolných změn materiálu není kvalitativní, nýbrž kvantitativní. Přesně vzato, dokonale stabilní není žádný materiál.

Kde je třeba stálosti fyzikálních vlastností, tam se snažíme samovolné změny omezit tím, že součásti podrobíme různým tepelným procesům, spojeným s občasným hrubováním součástí, nebo i jiným fyzikálním vlivům, takže materiál stábilizujeme (přirozené, umělé stárnutí). Stabilizují se např. odlitky, svařované součásti, invarové tyče, navinuté odporové dráty, ale také tavený křemen, který je nejstabilnější ze všech látek vyrobených lidskou rukou. Stárím se všechny nepravidelnosti obecně mírní, materiál se uklidňuje, ustaluje. Vysokou stálostí se proto vyznačují nerosty, které vznikly již před miliony roků.

V přesné mechanice má dále nemalý význam délková změna teplotou, udávaná obvykle přibližnou rovnicí

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot t, \quad [\text{mm}; ^\circ\text{C}] \quad (1)$$

kde L je původní délka mm;

α je součinitel teplotní roztažnosti [$^\circ\text{C}^{-1}$];

t je rozdíl teplot [$^\circ\text{C}$].

Součinitel α pro teploty kolem 20°C je u kovů řádu $1 \cdot 10^{-6}$ (invar), až $29 \cdot 10^{-6}$ (zinek), u některých látek (celuloid, plexiglas) ještě daleko větší; nejmenší je u taveného křemene. Při vyšších teplotách se součinitel mění, tzn. že změna délky s teplotou není lineární, ale spíše parabolická, lépe definovaná rovnicí

$$\Delta L = L(\alpha_1 t + \alpha_2 t^2). \quad [\text{mm}; ^\circ\text{C}] \quad (2)$$

S rovnicí (1) vystačíme ve většině případů; v hodinářství se však setkáme s případem, kde právě kvadratické členy rov. (2) jsou rozhodující. Roztahování materiálu teplem je někdy užitečné (teploměry), obvykle však poměry komplikuje. Pak



je nutno použít různá kompenzační zařízení a metody, nebo volit řešení nejradikálnější - umístit zařízení v termostatu. Tepelné dilatace nám činí potíže nejen při konstrukci měřicích přístrojů a jejich výrobě, ale i při jejich užívání, při všech přesných měřeních a při přesné výrobě.

Při rozdílných součinitelích tepelné roztažnosti α a α' dvou materiálů (např. materiálu měřidla a materiálu měřené součásti) platí pro ohybu ν vztah

$$\nu = L(\alpha - \alpha') \cdot \Delta t \quad [\text{mm}; ^\circ\text{C}] \quad (3)$$

V tab. 2 jsou uvedeny ohyby ν v mikrometrech, pro různé délky L a pro různé rozdíly součinitelů tepelné roztažnosti. Chyba bude nulová při teplotě 20°C , poněvadž podle mezinárodní úmluvy jsou měřidla správná při této teplotě. Chyba bude též nulová při teplotě odlišné, jestliže měřidlo a měřená součást mají stejné součinitele roztažnosti ($\alpha_1 = \alpha_2$). Jinak vznikají poměrně velké chyby: Ferro-niklové metrové měřítka lze srovnat s platínovým etalonem na $0,1 \mu\text{m}$ jen tehdy, když se teplota měřítka liší nejvýše o $0,02^\circ\text{C}$. Připustíme-li dvojnásobnou chybu pro přesná měření strojnická, pak ocelovou součást o délce $L = 100 \text{ mm}$ smíme měřit jen při teplotě 19 až 21°C ; mosaznou součást bychom takto změřili s chybou $\nu = 0,7 \mu\text{m}$; hliníkovou součást již s chybou $\nu = 1,3 \mu\text{m}$. Z toho vyplývá, že jedině termostatická místnost s teplotou stálou v mezích $\pm 0,5^\circ\text{C}$ nám umožní využít přesnosti soudobých měřidel.

Změnou teploty se mění také modul pružnosti v tahu i koeficient, což nutno brát v úvahu u pružinových měřicích přístrojů (měřicí pružiny, pera, membrány, tlakoměrné krabice, vlnovce) a zejména v hodinářství.

U měřicích přístrojů elektrických se většinou negativně projevuje změna elektrické vodivosti a magnetické indukce s teplotou.

Často se nepříjemně uplatňují jevy hysterese, tj. takové, které nejsou přesně vratné: indukce v železe silně pokulhává za magnetomotorickou silou; deformace pružiny trochu pokulhává za zatížením; ohřátý invar se po ochlazení již nevrátí přesně na původní délku. Vznikají chyby, které po jisté době vymizí, anebo zůstane nějaké residuum. Tyto jevy nelze číselně předvídat a jejich příčiny nejsou dosud vždy náležitě objasněny. Jistě souvisí s uvedenými jinými projevy nestability materiálu a proto je hledíme smírnit vhodným mechanickým a tepelným zpracováním (stabilizací).

Lze říci, že neexistuje žádný ideální nebo univerzální materiál. V přesné mechanice a přístrojové technice volíme materiály podle požadovaného účelu a často se musíme spokojit s kompromisním řešením. Nevýhodné vlastnosti materiálu se pak snažíme zmenšit konstrukcí, nebo je vykompenzovat nějakým vlivem opačným.

Využíváme speciálních vlastností některých látek, např. piezoelektrického jevu, vysoké tvrdosti, dvojlohu, ložiskových vlastností, termoelektrických vlastností, polarizace světla apod. Mnoho konstrukcí v měřicí technice je možných jen zásluhou těchto speciálních látek. Používání úzce specializovaných materiálů je vůbec charakteristické pro dnešní vývoj nejen přístrojové techniky, přesné mechaniky a optiky, ale i veškeré strojní techniky, elektrotechniky, elektroniky, mikroelektroniky, optoelektroniky a dalších, hlavně hraničních oborů.

3.2. MATERIÁLY KOVOVÉ

3.2.1. Kovy železné, feromagnetické a jejich slitiny

ŽELEZO (ferrum), prvek, chemická značka Fe; atomové číslo 26, atomová hmotnost 55,847, bod tání 1528°C , hustota 7,86. Používá se pro výrobu oceli temperované, šedé a tvárné litiny. Železo je látka feromagnetická¹⁾. Čisté železo je bílý, lesklý, tažný a nepříliš tvrdý kov. Má velkou afinitu ke kyslíku, na vlhkém vzduchu rezaví, mění se na svém povrchu v hydroxid železitý, $\text{Fe}(\text{OH})_3$. V technických sloučeninách je železo nejčastěji dvojmocné a trojmocné (kyslíčník železitý, Fe_2O_3 , používá se jako leštící prostředek v optické výrobě). Ferro-kart je speciální magnetický materiál, získaný lisováním prášku z čistého železa a umělých pryskyřic; používá se ve vysokofrekvenční technice.

Ocel je technické železo, s obsahem uhlíku do 2%, zbavené větších částí nečistot; vyznačuje se kujností. Ocel uhlíková obsahuje vedle uhlíku v malém množství i jiné prvky (křemík, mangan, chrom, nikl, molybden); její vlastnosti ovlivňuje však převážně obsah uhlíku. Oceli legované (slitinové) obsahují určité prvky (mangan, nikl, chrom, molybden, vanad, wolfram, titan, kobalt) v poněkud větším množství; určují tedy vlastnosti těchto ocelí. Oceli konstruktivní, s menším obsahem uhlíku, jsou pevné a houževnaté, často tepelně nezpracované, nebo ve stavu žíhaném.

Oceli ušlechtilé se zpravidla tepelně zpracovávají zušlechťováním, oementováním nebo nitridováním. Oceli speciální se nazývají podle různých fyzikálních vlastností: ocel nemagnetická; nerazavějící; žáruvzdorná a žárupevná; automatová (snadno obrobitelná); magnetová (s velkou koerzitivní silou a remanencí); armco (s minimálním obsahem uhlíku); invar (s malou tepelnou roztažností); ocel pružinová - ocelová struna.

Pro výrobu řezných nástrojů se používají oceli nástrojové, uhlíkové nebo legované (ocel rychlořezná); kalí se a popouštějí, aby se u nich dosáhlo maximální tvrdosti.

V přesné mechanice je ocel materiál nepostradatelný. Užívá se nejrozličnějších druhů ocelí, na nejrozličnější součásti, hlavně ovšem na osy, hřídele, pastorky, čepy, kolíky, šrouby, všude tam, kde potřebujeme tvrdost, pevnost a tuhost, vysoký modul pružnosti. Je užívána často ve stavu zakaleném, nebo povrchově tvrzena.

Stříbitá ocel je typickým materiálem (zejména v hodinářství); používá se ve tvaru kulatých, přesných, rovných a vyleštěných tyčí. Velmi dobře se soustruží a snadno kalí. Má různé složení: někdy jen ušlechtilá ocel uhlíkatá, jindy mírně legovaná. V hodinářství se používá vesměs kalená a popouštěná do modra, tedy tak tvrdá, aby se právě dala ještě soustružit tvrdým nožem; v tomto stavu se dá také výborně leštit. Je výborným materiálem pro drobné, zejména hodinářské nástroje.

Automatová ocel je rovněž hojně užívaný druh, sice méně kvalitní, zato obzvláště dobře opracovatelný. Užívá se jí na hromadně vyráběné součástky na automatech, též v laciném hodinářství (budíky apod.). Dob-

¹⁾ Látky feromagnetické (feromagnetika) - látky silně magnetické - jsou vystaveny silnému silovému působení magnetického pole.



ré obrobiteľnosti je dosaženo prísadou vysokého percenta síry, ktorá však často rýchlo ničí hodinárske (živočišné) mazací oleje.

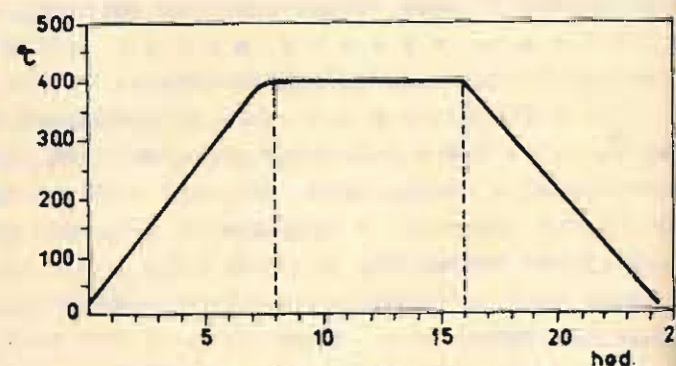
Pro měřicí techniku jsou důležité druhy ocelí, vyznačující se rozměrovou stálostí (měrky, kalibry), nebo oceli pružinové a speciální slitiny železa, tzv. feronikly.

Ortoperm je orientovaná transformátová, křemíková ocel, válcovaná za studena v pásech. Nejvýhodnější magnetizační křivku a nejmenší ztráty má tento materiál ve směru válcování. Užívá se ho proto převážně ve tvaru vinutých toroidních jader pro magnetické zesilovače a speciální transformátory. Sonaperm je rovněž orientovaná transformátová, křemíková ocel; má však vyšší počáteční permeabilitu. Používá se pro sdělovací a síťové transformátory. Ocel s prísadou boru (až 6%) se používá pro regulační a stínící orgány jaderného reaktoru.

Litina je slévarenská slitina železa a uhlíku, jehož množství, velikost zrna a jejich rovnoměrné rozložení určuje mechanické vlastnosti litiny. Litina očkovaná se vyznačuje zvýšenou pevností; rovnoměrné rozdělení lístkového grafitu se získává prísadou křemíku (ve formě ferosilicia). Litina tvárná, s uhlíkem vyloučeným ve tvaru zrnitého grafitu; docílí se prísadou hořčíku. Litina tvrzenná, vzniká při rychlém ochlazení tuhnutí šedé litiny kovovými ochladítky (např. kokilou). Litina bílá, litina temperovaná, dlouhodobě žíhaná, houževnatá a snadno obrobitelná. Litina legovaná s prísadou kovů, jako je nikl, chrom apod.

V přesné mechanice je šedá litina hojně používána na součásti větších rozměrů, zejména na rámy a součásti větších strojů a aparatur. Vlivem volného grafitu má výborné ložiskové vlastnosti, proto se z ní zhotovují lože a vedení obráběcích, souřadnicových i nejpreciznějších dělicích a měřicích strojů, ale také i jiné součásti vyžadující nejvyšší přesnosti (např. ozubená kola dělicích strojů). Speciální druhy litiny se používají pro podobné účely: je to očkovaná litina s prísadou chromu a niklu. Dobře se ještě obrábějí a mají zvýšenou odolnost proti otěru. Vhodnou volbou materiálu lze dosáhnout opotřebení hlavně těch součástí, u nichž to méně vadí (např. lože soustruhu – přímé vedení – musí zůstat rovné; opotřebení suportu již tak mnoho nevadí).

Litinu lze dobře opracovat břitím, broušením a lapováním. Protože odlitky mají značné vnitřní pnutí, obrábíme je až po přirozeném nebo umělém zestárnutí (event. po ohrubování se litina stabilizuje podruhé): přirozené stárnutí se děje tak, že odlitky se vystaví působení počasí a teplotních změn po dobu jednoho nebo dvou let; při umělém stárnutí odlitky žíháme v peci, nebo podrobujeme tepelnému zpracování (např. podle časového průběhu z diagramu na obr. 3.4). Účinek stabilizace roste s teplotou. Výhodou legovaných litin je možnost jít na vyšší teploty (až 500 °C) bez obavy ze změknutí. Rozměry odlitků používaných v přesné mechanice kolísají od drobných součástí, přes velké odlitky pro velké měřicí stroje až k ohromným odlitkům pro hvězdařské dalekohledy. Litina je též vhodná



Obr. 3.4.

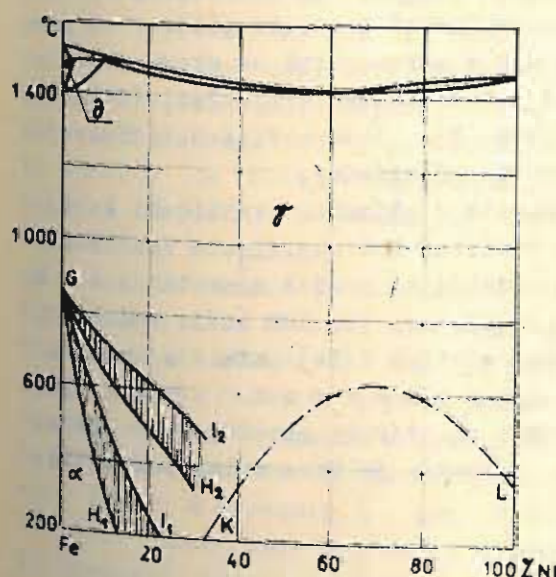
materiál pro rovinné příměrné a lapovací desky a pro brousící nástroje pro optickou výrobu (rovinné desky, kulové misky apod.).

KOBALT (cobaltum), prvek, chem. zn. Co; atomové číslo 27, atomová hmotnost 58,94. Kobalt je šedý, lesklý, feromagnetický kov, tvrdší než železo. Samotného kovu se neužívá; přidává se v množství až 30% do magnetových nebo některých rychlořezných, anebo žárupevných ocelí. Kobaltové slitiny se užívají jako řezné plátky nebo tyčinky pro navařování břitů nástrojů (tzv. stelit nebo real); od stelitu byla v poslední době odvozena řada vysoce žárupevných slitin. Práškový kobalt slouží jako pojivo v tvrdých kovech. V chemických sloučeninách je nejčastěji dvojmocný a trojmocný. Kysličník kobaltnatý (CoO) se rozpouští v tavenině skla a tvoří modré křemičitany, což se využívá při barvení skel.

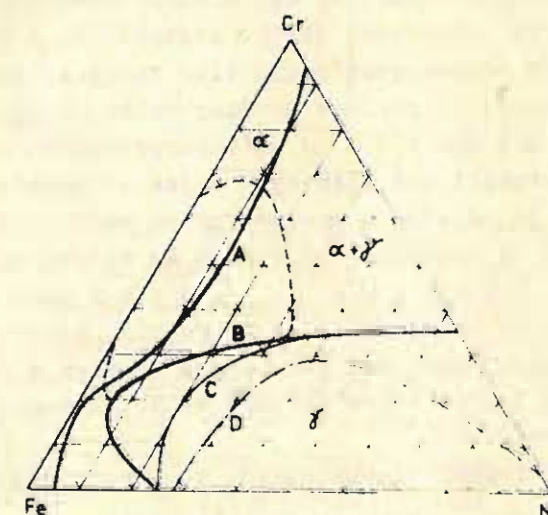
NIKL (nicolum), prvek, chem. zn. Ni; atomové číslo 28, atomová hmotnost 58,7. Je to bílý lesklý kov, feromagnetický, na vzduchu stálý. Je důležitým materiálem pro slitiny. Čistý se používá na kontakty, při stavbě elektronek, do odporových teploměrů a termočlánků. V chemických sloučeninách je nikl dvojmocný. Důležitý je síran nikelnatý (NiSO₄) a jeho podvojná sůl, síran nikelnato-amonný, jehož se užívá v galvanickém niklování. U přístrojů často kombinujeme černý lak s lesklým nebo matným niklováním (např. matné niklování hrubších stupňů). Niklování jsou závaží pro analytické váhy a často i přesná kyvadla hodin.

MANGAN (mangan), prvek, chem. zn. Mn; atomové číslo 25, atomová hmotnost 54,94. Kov podobný železu, tvrdý, avšak křehký. V chemických sloučeninách je nejčastěji dvojmocný, čtyřmocný a sedmimocný. Slitina manganu se železem se nazývá feromangan; jako prísada k oceli zvyšuje její houževnatost a usnadňuje tepelné zpracování.

Feronikly jsou binární slitiny železa a niklu, ale i ternární slitiny železa niklu a chromu. Rovnovážný diagram [5], [6] binární slitin železa s niklem je uveden na obr. 3.5; při 68% niklu a 1436 °C má likvidus zcela malé minimum. Curieho bod má maximum kolem 68% niklu při teplotě 615 °C. Slitiny, jichž složení leží pod čarou KL, vykazují neobyčejně zajímavé a technicky důležité fyzikální vlastnosti. Ternární soustava [5], [6] železa, niklu a chromu je znázorněna rovnovážným diagramem na obr. 3.6; čára D je hranicí slitin feromagnetických. Původní slitiny železa a niklu se dnes často mírně legují i jinými prísadami. Všechny tyto slitiny se vyznačují ne právě dobrou opra-



Obr. 3.5.



Obr. 3.6.

covatelností a většinou vyžadují umělé stárnutí a stabilizaci. Někdy však ani tyto procesy nestačí k uklidnění uvedené málo stabilní slitiny. V přesné mechanice a přístrojové technice jsou nejdůležitější tyto slitiny:

Invar¹⁾ je slitina železa s 36% niklu; má nejmenší součinitel teplotní roztažnosti ze všech kovů a jejich slitin. Je stříbrolesklý, nekoroduje, špatný vodič tepla a elektřiny. Hodnota součinitele teplotní roztažnosti závisí na malých přísadách a nečistotách, ale také na způsobu zpracování. Existuje několik druhů invaru s koeficientem teplotní roztažnosti $0,8, 1, 1,6$ a $2,5 \cdot 10^{-6}$. Hodnoty tohoto koeficientu v závislosti na složení slitiny jsou uvedeny v diagramu [5], [6] na obr. 3.7. Invar se používá na měřicí pásma a dráty v geodezii a na kyvadlové tyče v chronometrii. Nestabilita tohoto materiálu se projevuje jednak časovou nepravidelností v teplotní roztažnosti, jednak pomalými, léta trvajícími změnami délky. Často zde nepomáhají zcela ani různé složité a dlouhotrvající procesy umělého stárnutí. Jedním ze způsobů stabilizace invaru je např. ten, že invarová tyč se vsune do dlouhého tenkého solenoidu, který se na 48 hodin připojí na síť: střídavý proud způsobí jednak pohyb molekul střídavým přemagnetováním; dále pak vznikají též střídavé podélné změny v důsledku magnetostrikce; krom toho se tyč i mírně ohřívá. Novější druhy trochu legované dalšími přísadami, např. chromem, vykazují již pravidelnější ohvívání. Nestabilita invaru je nejzávažnější v geodezii (při přesném vyměřování základů), méně již u hodin, kde teplotní podmínky jsou stálejší a které dnes ostatně dáváme do termostátů.

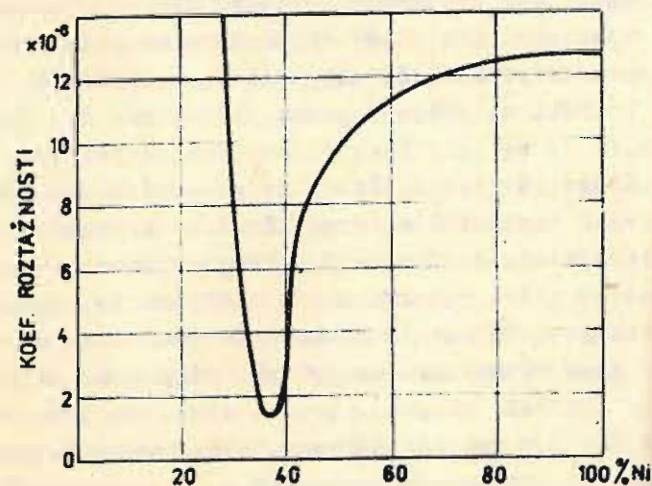
Elinvar²⁾ je ternární slitina, např. 50,8% Fe, 39,2% Ni a 10% Cr. Její modul pružnosti je téměř nezávislý na teplotě. Tyto slitiny jsou důležité pro velkovýrobu hodin: z elinvaru se vyrábějí stříbrolesklé vlásky, jejichž teplotní chyba v modulu pružnosti je zcela přijatelná pro praktickou potřebu. Jen u nejpřesnějších hodin a chronometrů se ukazují nedostatky elinvaru: jistá nestabilita a poměrně velké molekulární tření (útlum), takže vlasek spotřebovává více energie, než ocelový. Pro řadu měřicích přístrojů vyhovují elinvarové pružiny celkem dobře a jsou hojně užívány.

Nivarox je slitina podobného složení, ale s přísadou berylia. Má lepší vlastnosti než elinvar a hojně se používá pro kvalitní hodinky. Výroba těchto slitin je náročná a provádí se ve vakuu v malých indukčních pecích s náplní 1 a 2 kg (z 1 kg materiálu je asi 20 km drátku na vlásky, tj. asi pro 200 tisíc hodin).

Ferniko a **kovar** jsou ternární slitiny železa, niklu a kobaltu. Jsou to velmi důležité feronikly, které mají roztažnost skla; lze je proto používat při výrobě žárovek a elektronek na přívody proudu; zatavené do skla (místo dříve užívané drahé platiny). Tato technika je dnes velmi pokročilá;

1) Z franc. "invariable", tj. "neproměnný".

2) Z franc. "élasticité invariable", tj. "neproměnný modul pružnosti".



Obr. 3.7.

Roentgenovy lampy nebo krátkovlnné elektronky lze takřka libovolně sestavovat sváření ("stavením") kusů ze skla a kovů. Zde jde totiž o spojení, které musí snést nejvyšší vakuum. Existuje stupnice slitin (některé z nich jsou i bez niklu) se součiniteli teplotní roztažnosti α od $3,5 \cdot 10^{-6}$ do $9 \cdot 10^{-6}$, pro všechny druhy skel, od pyrexu až k obyčejnému tabulovému sklu.

Permalloy, **permax**, **termopermaj** jsou feronikly různého složení, význačné svými speciálními vlastnostmi magnetické a elektrické a tím nepostradatelné pro konstrukci elektrických a elektromechanických měřicích přístrojů.

Na nejpřesnější technická měřítka pro souřadnicové a měřicí stroje se užívá slitiny s 57% niklu, která nekoroduje, dá se dobře vyleštit a má součinitel teplotní roztažnosti α 11,3 až $11,7 \cdot 10^{-6}$, tj. jako průměrná ocel. To je výhodné proto, že většina součástí, které je třeba přesně vrtat a měřit, je z oceli a z litiny.

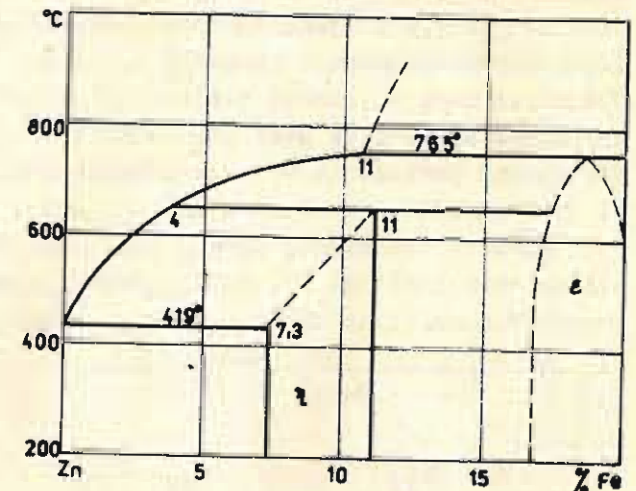
3.2.2. Kovy barevné a jejich slitiny

Měď (cuprum), prvek, chem. zn. Cu; atomové číslo 29, atomová hmotnost 63,54. Načervenalý, měkký a tažný kov; na vlhkém vzduchu se pokrývá zeleným povlakem zásaditých uhličitů (patinou, čili měděnkou). Pro svou vysokou teplotní vodivost se používá k výrobě kotlů a destilačních přístrojů; dále na stěny termostátů pro křemenné oscilátory, na pouzdra vzduchotěsně uzavřených hodin. Pro svou vysokou elektrickou vodivost se užívá k výrobě drátů pro elektrická vedení, cívky přístrojů apod. Jako konstrukční materiál je měď nevhodná, špatně se opracovává ("maže se"). Důležitější jsou proto slitiny mědi: s cínem tvoří měď bronz a se zinkem tvoří mosaz (viz dále); tvoří též tvrdé a pružné bronzy fosforové a beryliové, používané v přesné mechanice a elektrotechnice.

V chemických sloučeninách je měď jednomocná nebo dvojmocná (nejznámější je modrá skalice - krystalovaný hydrát síranu měďnatého - $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; užívá se k mědění).

Zinek (zincum), prvek, chem. zn. Zn; atomové číslo 30, atomová hmotnost 65,37, bod tání 419°C , hustota 7,13. Zinek je modrobílý, měkký a křehký kov, za vyšší teploty tažný. Při teplotách nad 500°C se vypařuje. Na vzduchu je stálý, v kyselinách a loužích rozpustný. V chemických sloučeninách je dvojmocný.

Protože zinek je na vzduchu stálý, používá se k ochraně železných plechů, drátů apod. před korozií. Roztavený zinek má velkou schopnost rozpouštět železo a difundovat do něho [5], [6]. Při ponoření železného předmětu do zinkové lázně se jednak lázeň železem sytí a jednak se na povrchu železa tvoří slitiny různého složení, jejichž krystalizace odpovídá rovnovážnému diagramu na obr. 3.8; nehlouběji od povrchu proniká do krystalů α -železa fáze ϵ ; dále k povrchu je směs fáze ϵ s krystaly η ; fáze η se pak mísí s povrchovou vrstvou zinku, která tvoří hlavní část povlaku. Intermediární fáze ϵ a η jsou velmi křehké a tvrdé krystaly: plech, pozinkovaný prostým máčením, se nedá ohýbat.



Obr. 3.8.



Jako konstrukční materiál je zinek méně vhodný. Snadnou slévatelností a opracovatelností by se dobře hodil pro experimentální improvizace; má však značný creep (to se zřetelně ukázalo na zinkových kompenzacích kyvadel). Dále pak má příliš velkou hodnotu součinitele teplotní roztažnosti. Ze slitin jsou nejdůležitější slitiny s mědí - mosazi - a to tzv. bílé a červené (viz dále).

Sírník zinečnatý, ZnS, světélkuje účinkem radioaktivních a rentgenových prvků, je součástí některých luminoforů. Zinkit (chemicky kysličník zinečnatý, ZnO) je červený nerost, šesterečné krychlové soustavy. Pro elektrotechnické účely, kde se používá jako polovodič, se připravuje uměle.

Cín (stannum), prvek, chem. zn. Sn; atomové číslo 50, atomová hmotnost 118,70, bod tání 232 °C. Bílý, lesklý a velmi tažný kov, příbuzný olovu. Je stálý na vzduchu i ve vodě (chemicky netečný). V chemických sloučeninách je buď dvojmocný, nebo čtyřmocný.

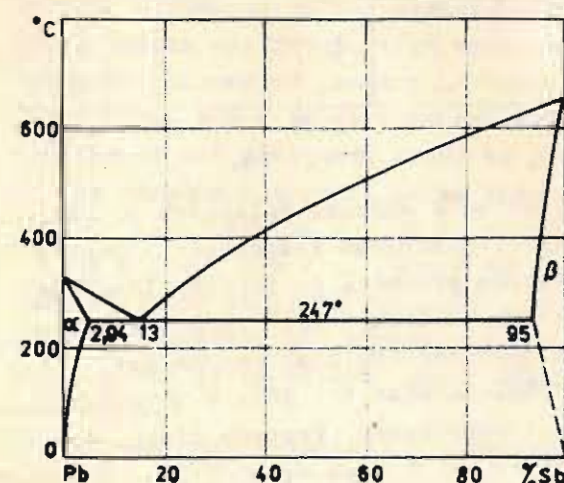
Cín se používá k pokovování železných plechů (bílý plech používaný k obalům v potravinářském průmyslu) a měděných nádob (kotle používané při výrobě potravin a léčiv). Cín lze válcovat na tenké folie (staniol). Důležité jsou slitiny cínu s mědí - bronzy (viz dále); dále slitiny cínu s olovem - pájky a ložiskové kovy.

OLOVO (plumbum), prvek, chem. zn. Pb; atomové číslo 82, atomová hmotnost 207,19, hustota 11,34. Modrobílý, měkký kov, taje při teplotě 327,3 °C. V chemických sloučeninách je olovo dvojmocné nebo čtyřmocné. Při použití olova, jeho slitin a sloučenin je třeba dbát na jejich značnou jedovatost.

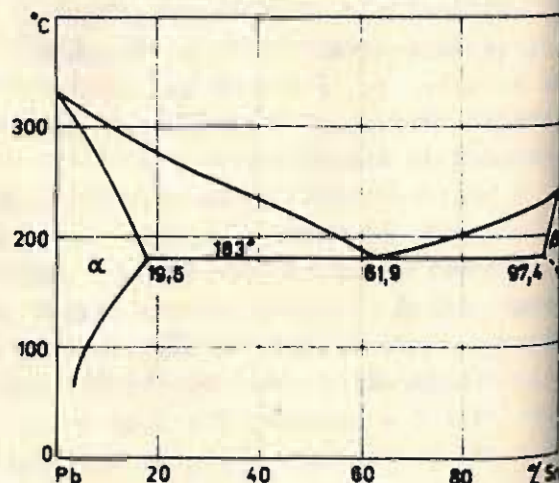
Olovo se používá k výrobě akumulátorů, k ochraně elektrických kabelů, k výrobě rour a chemických zařízení, k ochraně před různými druhy záření, dále jako výplň závaží, výplň kyvadlových čochek apod.

Důležité jsou slitiny olova: Tvrdé olovo pro chemický průmysl obsahuje 3 až 15% antimonu. Rovnovážný diagram slitin olova s antimonem je uveden na obr. 3.9 (je to jednoduchý diagram s eutektikálou při 247 °C a eutektickým bodem při 13% antimonu). Měkčí pájky obsahují 40 až 70% olova a 60 až 30% cínu; taje v rozmezí teplot 180 až 255 °C (tab. 3). Rovnovážný diagram slitin olova s cínem je uveden na obr. 3.10 (větší přísada cínu způsobuje pomalé zvětšování pevnosti a tvrdosti, jakož i odolnosti proti namáhání). Slitinami olova jsou rovněž litina, ložiskové kovy, broky apod.

KADMIUM (cadmium), prvek, chem. zn. Cd; atomové číslo 48, atomová hmotnost 112,41, bod tání 321 °C. Bílý, lesklý kov, příbuzný zinku; značně pohlcuje elektrony. V chemických sloučeninách je kadmium dvojmocný.



Obr. 3.9.



Obr. 3.10.

Druhy pájek	Hlavní složky	Pracovní teploty	Specif. hmotnost
	%	°C	g.cm ⁻³
Cínové pájky	8 % Sn, zbytek Pb	305	10,8
	25 % Sn, zbytek Pb	257	9,8
	30 % Sn, zbytek Pb	249	9,6
	35 % Sn, zbytek Pb	237	9,5
	40 % Sn, zbytek Pb	223	9,3
	50 % Sn, zbytek Pb	200	8,8
	60 % Sn, zbytek Pb	185	8,5
Olověné pájky	90 % Sn, zbytek Pb	219	7,5
	98,5 % Pb	320	11,5

Tab. 3.

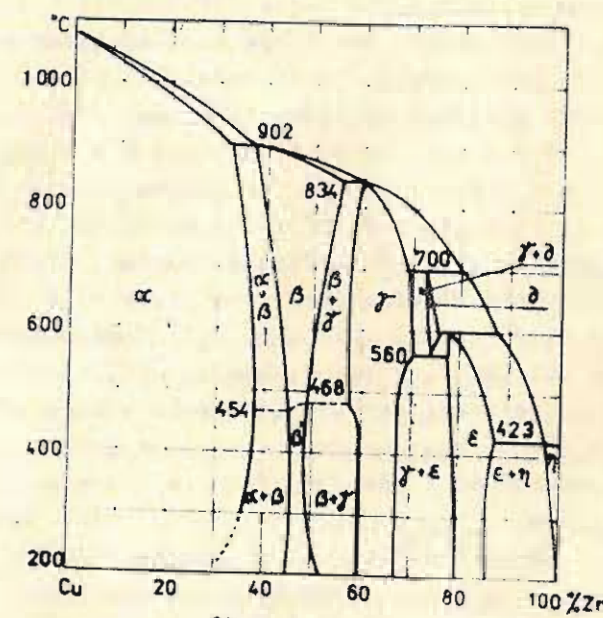
Kadmium se používá na galvanotechnickou úpravu kovů (kadmiování). Dále jako přísada do snadno tavitelných slitin: W o o d ů v k o v je nízkotající slitina, sestávající z 50% vizmutu, 26,7% olova, 13% cínu a 10% kadmia; taje při 70 °C a používá se proto na různé tepelné pojistky. Ze slitin kadmia jsou významné kompozice k vylévání ložisek; obsahují kromě kadmia ještě stříbro a měď, nebo hořčík a měď. Kadmium se často přidává do pájek. Protože značně pohlcuje neutrony, používá se ho zpravidla k výrobě regulačních tyčí do jaderných reaktorů.

CHROM, prvek, chem. zn. Cr; atomové číslo 24, atomová hmotnost 52,01. Stříbrobílý kov, velmi tvrdý, stálý na vzduchu i za vyšší teploty. V chemických sloučeninách je nejčastěji trojmocný a šestimocný.

Chrom je důležitou přísadou legovaných ocelí; se železem dává tvrdé slitiny, pevné, odolné proti chemickým vlivům a proti žáru. Pro svoji chemickou stálost a tvrdost je používán k úpravě povrchu jiných kovů. V průmyslu dnes užíváme hojně chromování, místo niklování. Tvrdým chromováním lze výborně opravit opotřebovaná měřidla; je-li operace dobře provedena, jsou tato měřidla rovnocenná původním. Za zmínku stojí též chromování nástrojových břitů.

Mosaz je slitina mědi se zinkem. Se stoupajícím obsahem zinku vzrůstá její pevnost, klesá však houževnatost a zpracovatelnost za studena, která je nejlepší při obsahu kolem 30% zinku. Od 45% zinku jsou mosazi křehké, nehodí se tedy pro konstrukční účely, avšak používá se jich jako tvrdých pájek. Pro tváření za tepla se používá mosazí kujané - slitiny s 40% zinku (Muntzův kov).

Obrobitelnost mosazi je obecně dobrá, zlepšuje se přísadou asi 2% olova (mosaz automatová). Specifické mosazi, které mají vyšší pevnost, popř. lepší houževnatost a kujnost, obsahují malou přisadu



Obr. 3.11.



du manganu, železa, hliníku nebo niklu (tzv. delta kov, Rublerův bronz apod.). Rovnovážný diagram soustavy měď - zinek je znázorněn na obr. 3.11 [5], [6], [7]. Je v něm rozlišeno šest druhů krystalů: krystaly α jsou normálním substitučním tuhým roztokem zinku v mědi; fáze β je též tuhým roztokem; krystaly γ jsou neobvykle tvrdé a křehké; krystaly δ jsou stabilní jen v malém rozmezí teplot; fáze ϵ je tvrdá a zcela křehká; krystaly η jsou tuhými roztoky mědi v zinku.

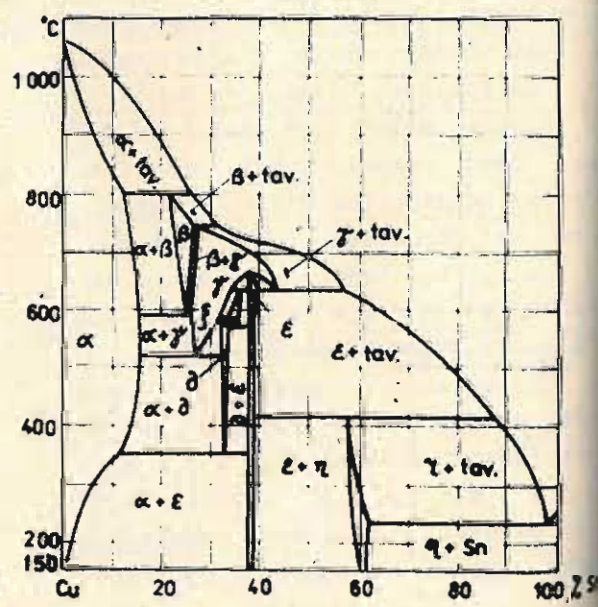
Mosaz je klasickým a dodnes hojně používaným materiálem v přesné mechanice. Ve většině případů nevádí její poměrně vysoká měrná hmotnost (kol 8,4 g.cm⁻³), ani poměrně malá tvrdost. Je takřka ideálně opracovatelná, přitom málo otupuje nástroje; je dostatečně pevná, dá se dobře tvářet kovářím, řezáním a lisováním, výborně pájeť měkkou i tvrdou pájkou, galvanicky pokovovat a chemicky černit; za normálních podmínek málo koroduje. Tvrdá mosaz má výborné ložiskové vlastnosti, zejména když je ještě zpevněna tepáním. V hodinářství se ocelové čípky hřídelek ukládají do mosazných ložisek (pokud nejsou uloženy v kamenech); rovněž hodinová ozubená kola jsou vždy mosazná, stejně tak stoupací kola chronometrů a kyvadlových hodin, někdy též málo namáhané pastorky. Z mosazi jsou vyráběny nejružnější drobné součástky a asi polovina šroubků z celkového množství používaného v přesné mechanice a přístrojové technice.

Mosaz se používá na odlitky, zejména drobné, dále užíváme mosaz i tvářeně, ve formě profilových tyčí kruhového, šestihranného, čtyřhranného průřezu a pod., trubek, plechů různé tloušťky a drátů rozličných průměrů. Důležitá je tvrdá mosaz tyčová a tvrdé, silné a dokonale rovné plechy (tzv. "hodinářské"); tyto druhy obsahují přísadu olova, aby při řezání dávaly pěknou křehkou třísku. Většina součástí v hodinách je vystřižena pod lisem z mosazných plechů. Složitější součásti lze vyrábět rovněž pouhým nařezáním z tažených tyčí příslušného profilu. Měkké druhy mosazných plechů se hodí výborně pro lisování a hluboké tažení. Pro svou nemagnetičnost je mosaz vhodná na pouzdra buzol a kompasů; zde ovšem mohou vadit i docela malé stopy železa, nebo i nepatrné stopy vzniklé otěrem řezných ocelových nástrojů. Někdy je účelné mosaz stábilizovat: obvykle postačuje ohřev v olejové lázni na 200 °C po dobu půl hodiny.

Niklové mosazi - nazývané pakfong, alpaka, argentan, nové stříbro - mají část zinku nahrazenou niklem. Jsou bílé barvy, mají lepší odolnost proti korozi a dobrou tvárnost (viz dále).

Bronz je slitina mědi a cínu (cínový bronz). Do obsahu 8% cínu je bronz tvárný; užívá se ho na dráty a plechy; výborně vzdoruje korozi. Při obsahu nad 8% cínu lze bronz pouze odlévat, např. na armatury nebo ložiskové pánve; odlitky jsou pevné, houževnaté, těsné a odolávají korozi. Litý bronz s obsahem 10% cínu se nazývá dělovina, s obsahem od 20 do 25% cínu zvonovina.

Krystalizační poměry slitin mědi s cínem jsou velmi složité; rovnovážný diagram je uveden na obr. 3.12 [5], [6], [7] (je zde jistá příbuznost se slitinami mě-



Obr. 3.12.

di se zinkem). Cín je v mědi v tuhém stavu částečně rozpustný. Tavoí teplota slitin mědi s cínem se snižuje tak, že likvidus klesá na každé procento přídatku cínu asi o 10 °C.

Bronz je méně užívaný než mosaz, poněvadž nemá proti mosazi žádné zvláštní výhody a přitom se hůře obrábí. Přesto se používá někdy na odlitky, na drobné hřídelky s bronzovými pastorky, někdy na velké dělené kruhy, nebo na součásti geodetických strojů, bronzová kluzná ložiska (pouzdra) apod.

Bronz odkysličený fosforem se nazývá bronz fosforový. Stoupne-li přísada fosforu přes 5%, stává se slitina velmi křehkou. Fosforový bronz je v přesné mechanice důležitý: vyrábíme z něho kontaktní a měřicí pružiny, tenké závěsné pásky pro galvanometry, membrány, tlakoměrné krabice apod.

Nahradí-li se cín jiným kovem, např. olovem, vzniká bronz olověný (slitina mědi a olova), popř. s přísadou železa, niklu a manganu. Olovo se přidává pro zlepšení slévateľnosti a leštitelnosti. Zvyšováním obsahu olova v bronzu se zlepšují jeho kluzné vlastnosti. Obdobně dostáváme bronz křemíkový, niklový, manganový, nebo beryliový (viz dále). U těchto bronzů dosahujeme lepších mechanických, popř. chemických a elektrických vlastností. Některé tyto slitiny slouží jako odporové materiály. Červený kov je slitina, v níž část cínu je nahrazena zinkem.

Nahradíme-li cín hliníkem, dostáváme bronz hliníkový. Slitiny mědi s hliníkem do obsahu kolem 8% hliníku jsou velmi houževnaté a užívá se jich ve stavu válcovaném i taženém. Slitiny od 8 do 12% hliníku se používají ke slévání; při obsahu 9 až 11% hliníku mají dobrou tvárnost za tepla a dají se kovat a lisovat na tyče a výlisky. Často se do hliníkových bronzů přidávají ještě další přísady: železo, nikl a mangan.

3.2.3. Speciální slitiny, odporové a magnetické materiály

Niklová mosaz (pakfong, alpaka, argentan, nové stříbro) je slitina proměnlivého složení a obsahuje 10 až 30% niklu. Proti obyčejné mosazi je hůře slévateľná a opracovatelná, je dražší, ale jinak má lepší chemické vlastnosti než mosaz. Proto se dosti hojně užívá na rýsovadla, planimetry, ruční šrouby, tedy na předměty, přicházející do styku s rukou; dále se užívá na kontaktní pružiny, tlakoměrné membrány a krabice, též pro méně náročné stupnice. Má pěkný vzhled, součásti z tohoto materiálu se proto nelakují.

Slitiny mědi s 2 až 10% niklu mají vysokou stálost v žáru; slitiny s 15 až 20% niklu lze dobře táhnout; ze slitin s 20 až 25% niklu se razí mince; slitin s 20 až 30% niklu se používá pro výrobu součástí, u nichž se žádá vysoká odolnost vůči korozi.

Monelův kov je slitina niklu a mědi. Obsahuje v průměru 65 až 70% niklu, 26 až 30% mědi, dále nejvýše 3% železa, 1,5% manganu, 0,25% křemíku a 0,2% uhlíku, což je dáno způsobem výroby. Mechanické vlastnosti se jen málo odlišují od vlastností niklu. Magnetická přeměna se děje blízko nad normální teplotou, asi při 90 až 95 °C.

Hastellovy B, slitina niklu s 28% molybdenu, 6,5% železa a 0,35% vanadu. Vzdoruje všem kyselinám, včetně ohlorkodíkové.

Beryliový nikl (berylíový bronz) obsahuje asi 2% berylia; zušlechťuje se na vysokou pevnost při značné pružnosti a chemické stálosti.

Contraoid je slitina niklu obsahující 14% chromu, 25% železa, několik procent molybdenu, manganu a 1% berylia. Má podobné použití jako beryliový nikl.

Nimonic, austenitická slitina niklu s 20% chromu, vytvrzovaná titámem a hliníkem, někdy s přísadou kobaltu, wolframu a molybdenu. Je významnou zárupevnou niklovou slitinou pro lopatky a jiné části plynových turbin.

Nichrom (chromnikl), důležitá slitina se 14 až 20% chromu, je žáruvzdorná, žárupevná a chemicky odolná; má také značný elektrický odpor.

Inconel je slitina niklu s 13% chromu, 7% železa, 2,5% titanu a 0,7% hliníku. Má podobné vlastnosti jako nichrom.

Antoxyd je slitina niklu s 20% chromu, 35% železa a 5% molybdenu; odporový materiál.

Konstantan je slitina mědi a niklu (58% Cu, 42% Ni), s malou přísadou manganu. Používá se jako odporový materiál pro nižší teploty; vyznačuje se nepatrnou závislostí ohmického odporu na teplotě; používá se na topné elektrické odpory. Dále se používá jako záporný element termočlánku železo/konstantan.

Manganin je slitina niklu a manganu, vhodná k výrobě odporových drátů pro nižší teploty; užívá se k měření vysokých tlaků (řádově 10^2 MPa) v kapalinách. Ohmický odpor vzrůstá o 0,2 až 0,25% na každých 100 MPa. Měření je snadné můstkem, nesnadné je zato utěsnit přívody proudu.

Nikelin je slitina mědi, niklu a zinku. Používá se jako odporový materiál pro nižší teploty.

Megapyr, kanthal jsou odporové materiály pro vyšší teploty ze slitin niklu, chromu, železa a hliníku.

Odporové materiály v elektrotechnice jsou kovy a slitiny s vysokým měrným odporem; používají se ve formě drátů, pásek nebo tyčí k výrobě topných odporů pro elektrické pece, odporů regulačních a měřících. Mají vysoký bod tání, malý teplotní součinitel odporu, jsou stále a pevné v žáru, dobře zpracovatelné na dráty. Odporové materiály pro nižší teploty se zpravidla vyrábějí ze slitiny mědi, niklu a manganu (konstantan, manganin, nikelin). Pro vyšší teploty se zpravidla odporové materiály vyrábějí ze slitiny niklu, chromu, železa a hliníku (nichrom, antoxyd, megapyr, kanthal), dále z platinové folie a drátu. Pro nejvyšší teploty se užívá čistý wolfram, molybden a jejich slitiny v ochranné atmosféře.

Permalloy¹⁾ je magneticky měkká slitina železa s 30 až 80% niklu, často s přidávkou dalších prvků, jako např. molybdenu, mědi, chromu a manganu. Tyto slitiny vynikají vysokou počáteční permeabilitou a malou koerzitivní silou. Používají se pro sdělovací a měřicí transformátory, magnetické stínění a speciální součásti.

Supermalloy je slitina 76% niklu s 16% železa a 5% molybdenu. Při určité úpravě jejího velmi složitého a náročného tepelného zpracování a přidáním 0,5% manganu dosahuje maximálních hodnot permeability.

Mumetal je magneticky měkká slitina železa. Ponejvíce je rozšířena ve složení 76% niklu, 2% chromu, 5% mědi a zbytek je železo.

V tab. 4 jsou uvedeny vlastnosti magnetických materiálů; Permeabilita je veličina, udávající kolikrát je magnetická indukce (magnetický tok, připadající na jednotkovou plochu průřezu) látky větší, než intenzita magnetického pole této látky; permeabilita je bezrozměrné číslo; pro vakuum má hodnotu 1.

¹⁾ Z latinského "permeabilitas" a anglického "alloy".

Slitina	Složení v procentech			Permeabilita	
	Ni	Fe	přísady	počáteční	největší
Permalloy	78,5	21,5	-	6.000 - 10.000	50.000 - 120.000
Permalloy C	78,5	18,0	3 Mo - 0,5 Mn	10.000 - 20.000	asi 100.000
Mumetal	76,0	17,0	5 Cu - 2 Cr	10 - 20.000	80 - 120.000
Supermalloy	79,0	15,0	5 Mo - 0,5 Mn	50.000	600.000 - 1.200.000

Tab. 4.

3.2.4. Kovy lehké a jejich slitiny

HLINÍK (aluminium), prvek, chem. zn. Al; atomové číslo 13, atomová hmotnost 26,98, bod tání 658 °C. Hliník je lehký kov, stříbrobílý, lze jej tahnout v dráty a válcovat na tenké plechy a folie. Za ohledu je stálý na vzduchu i ve vodě. Při vyšších teplotách klesá jeho pevnost i odolnost vůči korozi. Rozpouští se v kyselinách a ve slabých loužích.

Čistý hliník se zpracovává lisováním, tažením a řezáním. Foliový hliník nahrazujeme staniol. V elektrotechnice se ho používá jako vodiče. Používá se k povrchové ochraně železa - alitování, kalorisování. Nejčistší hliník vyniká stálostí proti korozi. Eloxováním, tj. elektrolytickou oxidací, se dosahuje stálosti povrchu proti atmosférickým a zvyšuje se povrchová tvrdost.

Čistý hliník se používá v přesné mechanice, např. ve stavbě leteckých měřicích přístrojů, na desky otočných kondenzátorů, na kotouče pro Ferrarisovy motorky a pro tlumení elektroměrů. Zrcadla, která mají dobře odrážet krátkovlnné ultrafialové paprsky (např. hvězdářské reflektory, určené dnes skoro výhradně k fotografování oblohy), se místo stříbrnění opatřují vrstvičkou hliníku, vzniklou ve vysokém vakuu kondenzací hliníkových par (fyzikální metoda); hliník se odpaří pomocí wolframových spirál nebo na foliích zahřátých elektrickým proudem. Hliník dává dobře zpracovatelné lehké slitiny (viz dále).

V chemických sloučeninách je hliník trojmocný. Kyslíčník hliníkový, Al_2O_3 , se vyskytuje v přírodě krystalicky jako korund, rubín, safír; v čistém stavu je to bílý prášek. Umělý korund, vyráběný v elektrických pecích, slouží k broušení.

HOŘČÍK (magnesium), prvek, chem. zn. Mg; atomové číslo 12, atomová hmotnost 24,32. Hořčík je stříbrobílý, lehký kov, tažný a stálý na vzduchu. Vůči vodě je méně stálý než hliník; reaguje s kyselinami, nerozpouští se však v loužích. Je lehce vznětlivý, hoří oslňujícím světlem. V technice se používá v podobě slitin.

V chemických sloučeninách je hořčík dvojmocný. Chlorid hořečnatý, $MgCl_2$, tuhne ve směsi s kysličníkem hořečnatým, MgO , na hmotu, používanou k lepení a tmelení¹⁾.

BERYLIUM (beryllium), prvek, chem. zn. Be; atomové číslo 4, atomová hmotnost 9,013. Beryllium je šedý, lehký, tvrdý a křehký kov, technicky důležitý; je příbuzný hořčíku. Slitinám dodává pružnosti a tvrdosti (slitina mědi s beryliem - beryliový bronz - je vytvrditelná a dosahuje pevnosti oceli). V chemických sloučeninách je dvojmocné. Kovového berylia a jeho kyslíčníků se používá jako moderátorů v jaderných reaktorech.

TITAN (titan), prvek, chem. zn. Ti; atomové číslo 22, atomová hmotnost 47,9, bod tání 1670 °C, hustota 4,49. Titan je lehký, stříbrobílý kov, dobře odolný

¹⁾ Tzv. Sorelův cement; pojivo, směs $MgCl_2$, MgO a vody; v podstatě oxychlorid: $5Mg \cdot MgCl_2 \cdot 7H_2O$.

proti korozi. Dá se tvářet za studena válcováním a tažením. Mechanickými vlastnostmi je rovnocenný dobré oceli. V chemických sloučeninách je titan trojmocný, nejčastěji čtyřmocný.

Pro svoji odolnost vůči korozi se stále více používá v chemickém průmyslu ke konstrukci výrobních zařízení. Pro svoji nízkou měrnou hmotnost a vysoký bod tání je využíván ke konstrukci nadzvukových letadel a raket. Významné jsou jeho slitiny: Ferro titan, který se připravuje aluminotermicky; legují se jím nerezavějící oceli. Karbid titanu, TiC, který se vyrábí z kyslíčníku titaničitého při 2.200 °C, se používá na slinované plátky řezných nástrojů.

Lehké slitiny, hlavně hliníkové slitiny, užíváme v přesné mechanice pro jejich dobré mechanické vlastnosti: jsou dobře opracovatelné, dají se odlévat, některé i tvářet a tepelně zpracovat. Proto se užívají hlavně na odlitky, u nichž se žádá malá hmotnost; je to u přístrojů optických, které se drží v ruce, u vahadel vah aj. Méně se užívá plechů a trubek. V tab. 5. jsou uvedeny v přehledu lehké slitiny; hodí se zejména pro letecký, automobilový a lodní průmysl.

Druhy	Název	Přísadové prvky	Použití
s mědí	duraluminium	3,5 až 5 % mědi, 0,5 až 1,5 % hořčíku	konstrukční slitina
	dural	několik desetin procenta manganu, křemíku a železa	
	superdural	zvýšený obsah křemíku a hořčíku	
	slitina Y slitina RR hiduminium	do 4,5% mědi, 1,5% hořčíku 2% niklu, 0,5% křemíku	válec, písty, hlavy ojnice motorů
s křemíkem	anticorodal ¹⁾	2% křemíku, 1% manganu, 1% hořčíku	pevné, svařitelné korozivzdorné odlitky
	silumin ¹⁾	10 až 13 % křemíku	písty motorů
	Lo-Ex Alusil	14% křemíku, 1% mědi 20% křemíku, 1% mědi	
s hořčíkem	zetel-dekor hydronalium magnalium	2,5% hořčíku 3 až 12% hořčíku 10% hořčíku	součásti letadel, lodí, vozidel, na nádobí, pračky
se zinkem	cetal	10% zinku, 3% mědi, 6% křemíku	levnější odlitky
ložiskový kov		6% železa nebo niklu, nebo 7% cínu, 14 až 22% křemíku	ložiska
slitiny pro tlakové lití		3% mědi, 5% křemíku nebo 8% hořčíku	drobnější i složitější odlitky

¹⁾ Má vlastnosti slitin pro tlakové lití

Tab. 5.

H o ř í k o v é s l i t i n y se nehodí pro přesné součásti pro nedostatečnou rozměrovou stálost; stejně je nevhodný d u r a l. Odolnost proti korozi nebývá nejlepší, součásti nutno chránit lakem nebo elektrolytickou oxidací. Potíž bývá s malými šroubky, neboť zavrtaný závit mnoho nevydrží.

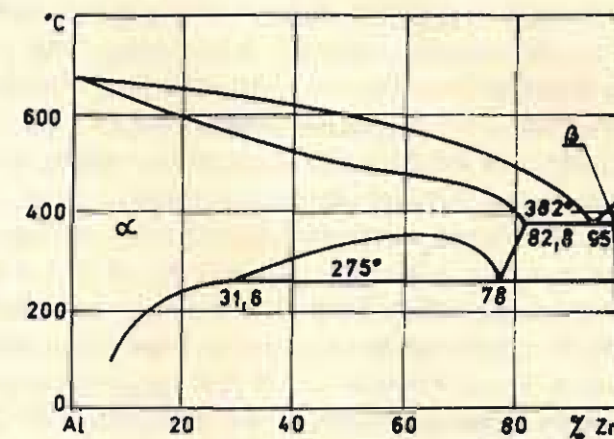
S p e c i á l n í s l i t i n y hliníku s velkou elektrickou vodivostí a zvýšenou mechanickou pevností se používají místo elektrovedné mědi.

V s t ř í k o v é s l i t i n y jsou různé slitiny typu hliník - měď - křemík (např. silumin). Soustava zinek-hliník je základem většiny běžných z i n k o v ý c h s l i t i n, využívaných k lití pod tlakem; na obr. 3.13 je uveden jejich rovnovážný diagram [6]. Oba kovy jsou v tuhém stavu navzájem částečně rozpustné s eutektickou krystalizací (eutektikála leží na teplotě 382 °C, eutektický bod při obsahu 5% hliníku. Křivka omezující nasycené krystaly α má maximum při obsahu 60% zinku. Při teplotě 275 °C se α - fáze eutektoidně rozkládá na krystaly α + β; krystaly β obsahují 0,7% hliníku.

P e v n o s t vstříkových slitin je dostatečná, t v r d o s t někdy poměrně značná. Výhodou je výborná o b r o b i t e l n o s t. Je to materiál celkem vyhovující pro méně náročné součásti, jako jsou rámy polárních planimetrů, drobné součásti leteckých měřicích přístrojů, automobilových tachometrů apod. Výroba součástí se podstatně zjednoduší, poněvadž odpadne téměř všechno obrábění; lze dosáhnout poměrně přesných rozměrů a povrchu, ihned schopného lakování. Vstříkové lití se však vyplácí jen pro velké série (asi od 1000 kusů), poněvadž potřebné přesné ocelové formy (kokily) jsou velmi pracné. Do odlitků lze zalít vložky z jiného materiálu.

V poslední době se užívá vstříkových odlitků z hliníkových slitin i na součásti geodetických přístrojů. Stálost těchto odlitků, stabilizovaných tepelným pochodem, zde zcela dostačuje. Součásti jsou třikrát lehčí než z mosazi; je to vítané odlehčení přístrojů, které stále musíme přenášet v terénu (často neschůdném). Namáhání součástí je zde nepatrné; tuhost dostatečná (i když tloušťku stěn zmenšíme na mez danou slévací technikou).

B e r y l i o v é s l i t i n y. Berylium spojuje malou měrnou hmotnost (1,7 g.cm⁻³) s vysokou pevností a vysokým modulem pružnosti (asi 3.10⁵ MPa). Je velmi drahé (dražší než stříbro), ale i v malých přísadách dává jiným kovům výborné vlastnosti. B e r y l i o v ý n i k l, b e r y l i o v ý b r o n z a již zmíněný n i v a r o x jsou znamenité materiály, vyznačující se malým crespem a malým dopružováním. Měď s přísadou 2,5% berylia, tepelně zpracovaná, má mez trvalé deformace v tahu $\sigma_{Kt} = 1,12 \cdot 10^3$ MPa, pevnost $\sigma_{Pt} = 1,26 \cdot 10^3$ MPa a modul pružnosti $E = 1,35 \cdot 10^5$ MPa; používá se na kontaktní pružiny ve slaboproudé elektrotechnice, neboť má elastické vlastnosti mnohem lepší, než fosforový bronz. Různé beryliové slitiny se používají na hnací hodinová péra, která pracují nepoměrně méně než ocelová a časem méně ochabují. Pro hodinové stroje jsou doporučeny čípky z beryliového niklu a ložiska z beryliové mědi; ukázalo se, že olej dlouho vydrží (patrně proto, že oba materiály málo oxydují).



Obr. 3.13.



3.2.5. Kovy vzácné a jejich slitiny

ZLATO (aurum), prvek, chem. zn. Au; atomové číslo 79, atomová hmotnost je 196,967, bod tání 1063 °C, hustota 19,3. Měkký, žlutý kov; rozpouští se v lučavce královské¹⁾, v roztocích kyanidů a snadno ve rtuti (amalgam). Oxydaci vzdoruje za všech teplot. V chemických sloučeninách je zlato jednomocné a trojmocné.

Pro slitiny zlata jsou stanoveny tyto ryzosti: 98,6% pro zlato dukátové, 90% pro zlato mincovní, 75% (18 karátů) pro zlato klenotnické a zubolékařské, 58,5% pro nejběžnější zlato 14ti karátové²⁾. Jako doplňku do 100% (24 karátů) se používá mědi, stříbra, někdy i niklu. Tzv. bílé zlato obsahuje nad 15% paladia.

V přesné mechanice upotřebíme zlato tam, kde je potřeba chemická odolnost a velká hmotnost: Kompenzační šroubky na setrvačkách přesných hodin a jiné drobné hodinářské součástky. Stroje lepších hodin i velkých hodin jsou galvanicky pozlacené. Nevýhodou je malá odolnost proti otěru; proto např. závaží raději niklujeme. Zlato je dobrým materiálem pro jemné kontakty; čtrnáctikarátové zlato (58% zlata) je dobrým materiálem pro závěsné pásky galvanometrů a pro jemné pružinky. Tepáním lze získat folie pozlátko i jen 0,1 μm tlusté (lístky elektrometrů, přívody proudu u nejjemnějších zrcátkových galvanometrů).

STŘÍBRO (argentum), prvek, chem. zn. Ag; atomové číslo 47, atomová hmotnost 107,870, bod tání 960,5 °C, hustota 10,5. Bílý, lesklý kov, velmi tvárný a těžký, takže je možné z něho zhotovit tenké stříbrné folie; nejlepší vodič tepla a elektřiny. Na vzduchu je stříbro stálé i za vyšších teplot; slučuje se však snadno se sírou, takže účinkem sirovodíku, obsaženého ve vzduchu, povrch stříbra černá. V chemických sloučeninách je stříbro nejčastěji jednomocné: chlorid stříbrný (AgCl), bílý a bromid stříbrný (AgBr), žlutý, oba ve vodě nerozpustné, se používají k výrobě fotografických desek, filmů a papírů; dusičnan stříbrný (AgNO₃), nejznámější stříbrná sůl, bezbarvá krystalická látka, dobře ve vodě rozpustná, používá se k výrobě zrcadel.

Stříbro je výborný materiál na nejjemnější kontakty, pro speciální slitiny stříbra na kontakty a pájky, jako vložka, na kterou se ryje dělení, ke galvanickému stříbření obecných kovů. V optice se postříbřují zrcadla a některé skleněné hranoly (chemickými nebo fyzikálními postupy); stříbro odráží nejdokonaleji ze všech kovů viditelné paprsky – součinitel světelné odrazivosti ρ až 0,99; pro účely optické lze dosáhnout i postříbřených ploch polopropustných.

Na tvrdé pájení, zejména mosazi, jsou výborné pájky, obsahující různé množství stříbra (tzv. stříbrné pájky); jsou pevné a dobře zatékají. Obsah stříbra kolísá ve velmi širokých mezích od 4 až do 80%, podle potřebné tavicí teploty a požadované houževnatosti. Druhy pájek s obsahem 5 až 10% stříbra, 50 až 55% mědi mají podle složení bod tavení 850 až 870 °C. Jsou žluté barvy. Užívají se k podobným účelům jako pájky mosazné, tam kde se žádá větší houževnatost a nižší tavicí teplota. Nejvíce přicházejí v úvahu pájky s 40 až 50% stříbra. Jsou téměř

1) Sestává ze 3 částí kyseliny chlorovodíkové (HCl) a 1 části kyseliny dusičné (HNO₃).

2) Mezinárodní konference pro míry a váhy v Paříži v r. 1907 zavedla metrický karát (mk) o hmotnosti 200 miligramů. U zlata značí 1 karát 1/24 celkové hmotnosti.

bílé barvy. Užívají se na měď a její slitiny, zejména na pakfong, na oceli (např. na pásové pily). Tají asi při 700 až 720 °C, dávají spoje výborných mechanických vlastností i dobré chemické odolnosti. Charakteristické jejich složení je: 45% stříbra, 30% mědi a 25% zinku. Z ternárních soustav mají nízkou tavicí teplotu kolem 675 °C slitiny o složení 60% stříbra, 15% mědi a 25% zinku. Požadujeme-li slitinu obzvláště nízkou tající, pak se užívají pájky s výhodnějším poměrem: 65% stříbra, 20% mědi a 15% zinku. Je-li pro nebespečí koroze přítomnost zinku nežádoucí, užívá se k pájení binární eutektická slitina mědi a stříbra, obsahující 72% stříbra. Je-li podmínkou obzvláště velká houževnatost a tvárliвість, pak vyhovuje slitina s 80% stříbra, 16% mědi a 4% zinku, která taje při 800 °C.

PLATINA (platinum), prvek, chem. zn. Pt; atomové číslo 78, atomová hmotnost 195,09, bod tání 1773 °C, hustota 21,4. Platina je chemicky i v žáru značně stálý kov. Tvoří snadno slitiny s některými prvky (kovy), jako jsou antimon, cín, fosfor, železo, olovo. V chemických sloučeninách je platina dvojmocná a čtyřmocná.

Z platiny se vyrábí chemické laboratorní náčiní, používá se na součásti chemických aparatur, na elektrody, kontaktní síťoviny, elektrické topné odpory, kontakty. Na bázi platiny je zhotovena celá řada termočlánků, hlavně pro měření vysokých teplot: termočlánek platinarhodium/platina; dále platinarhenium/platina; platinarhenium-rhodium/platina; platina + 5% molybdenu/platina + 0,1% molybdenu; platinarhodium/rhodium; rhodium-rhenium/platina aj. [8]. Slitina platiny s rhodiem dává s čistou platinou termočlánek, hojně užívaný v laboratoři i v průmyslu (článek Le Chatelierův – zvaný normální). Platina – přes svou vysokou cenu – se hojně používá v malých množstvích na kontakty, malá závaží analytických vah, na různé elektrody v elektrolýze apod. Má součinitel teplotní roztažnosti α jako běžná skla; před rozšířením feroniklů to byl jediný materiál pro přívody proudu zatavené do skla. Z platiny se vyrábějí velmi tenké drátky (Wollastonovy), o průměru 0,5 až 2 μm: z tlustostěnné stříbrné trubičky, obsahující platinové jádro (poměry asi jako u tužky), se vytahuje tenký drátek, načež se stříbro rozpustí kyselinou dusičnou. Wollastonovy drátky jsou vhodné pro nejjemnější torzní závěsy; dnes je často nahrazujeme vláknem křemenným. Rozvácováním Wollastonových drátků na plochu získáme tenké pásky, které mají ještě mnohem menší direkční moment. Tvrdé slitiny platiny s iridiem se užívají na délkové a hmotové prototypy (etalony). K jemnému měření teplot se užívá platinových odporových teploměrů, pro malé laboratorní práce platinových vinutí.

Platinové kovy – souborné označení pro šest kovových prvků, které se řadí do VIII. skupiny Mendělejevovy periodické soustavy prvků. Dělí se na lehké platinové kovy, kam patří ruthenium (Ru), rhodium (Rh) a paládium (Pd); hustota těchto prvků je kolem 12. Dále na těžké platinové kovy, kam patří osmium (Os), iridium (Ir) a platina (Pt); jejich hustota je zhruba 21. V přírodě se vyskytují většinou volné, málokdy však čisté, spíše ve slitinách mezi sebou, nebo s jinými kovy; příprava čistých platinových kovů je obtížná. Ve volném stavu jsou stříbrolesklé, těžko tavitelné (zejména těžké platinové kovy). Platina a paládium jsou tvárné, ostatní platinové kovy jsou tvrdé a poměrně křehké.

Použití platinových kovů je rozmanité: kelímky, misky apod. se vyrábějí s platiny nebo ze slitin platiny a iridia, platiny a rhodia, iridia a rhodia. Termočlánky s platiny a rhodia, nebo ze slitin platiny, rhodia, iridia a rhenia: PtRh/Pt; PtRe/Pt; PtReRh/Pt; PtIr/Pt; PtIr/Pd; PtRh/AuPdPt; PtRh/AuPd – pro měření teplot až do 1300 °C [8]. Ze slitiny platiny s 10% iridia je zhotoven prototyp metru a kilogramu.

3.2.6. Ostatní kovy

WOLFRAM (wolframium), prvek, chem. zn. W. Atomové číslo 74, atomová hmotnost 183,85, bod tání 3390 °C (ze všech kovů nejvyšší), hustota 19,1. Bílý, těžký kov, tažný, ze všech kovů nejpevnější (mez pevnosti v tahu $\sigma_{pt} = 4 \cdot 10^5$ MPa). Používá se na žhavicí drátky žárovek, kontakty spínačů a přerušovačů elektrického proudu, na elektrody apod. Je nepostradatelný pro výrobu vláken do žárovek a elektronek, Roentgenovy lampy a pro vakuovou techniku vůbec. Je to výborný materiál na měřicí pružiny (modul pružnosti v tahu asi $E = 4 \cdot 10^5$ MPa), s velmi malým dopružováním. Jde-li o přívody proudu, lze wolfram zatavit ve tvaru folie do některých druhů skel.

Slitiny wolframu se železem - **f e r o w o l f r a m u** (75% W) - vyráběné aluminotermicky nebo elektrotermicky se používá jako přísady do rychlořezných ocelí. Slitiny wolframu, v níž je rozpuštěn malý díl kyslíčnicku thorcia a uhlíku (thoriovaný wolfram) se používá k výrobě přímo žhavených katod elektronek s větší anodovou ztrátou.

Karbid wolframu, slinutý (sintrovaný) s přísadou nějakého kovu, tvoří tzv. tvrdé kovy (Widia, Diadur), důležité pro obrábění, ale též používané na dotykové plochy kvalitních měřidel.

MOLYBDEN (molybden), prvek, chem. zn. Mo; atomové číslo 42, atomová hmotnost 95,94, bod tání 2622 °C. Bílý, kujný a tažný kov, o vysokém bodu tání, chemicky značně stálý. V chemických sloučeninách je dvojmocný až šestimocný. Používá se ve tvaru drátů, plechů a mřížek v elektrotechnice (elektrické pape, elektronky, Roentgenovy trubice). Dále ve vakuové technice na elektrody v různých elektronkách. Je vhodný pro topné odpory v elektrických pecích. Užívá se též ve formě ternární slitiny nikl - železo - molybden, nebo jako přísada do konstrukčních ocelí (např. chrommolybdenová ocel).

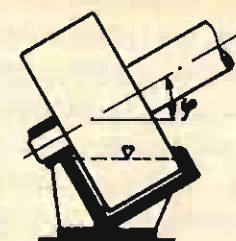
VIZMUT (bismuthum), prvek, chem. zn. Bi; atomové číslo 83, atomová hmotnost 208,98, bod tání 271 °C, hustota 9,8. Bílý, načervenalý kov, křehký, tající při poměrně nízké teplotě; není kujný. Má ze všech kovů nejmenší tepelnou a elektrickou vodivost. Elektrický odpor vizmutu se mění v magnetickém poli. V chemických sloučeninách je trojmocný, jen vzácně pětímocný. Používá se jako přísada do nízkotajících slitin (Woodův kov), do ložiskových kovů, k výrobě některých odlitek. Vizmutová spirála slouží k určování intenzity magnetického pole; měření je založeno na změně elektrického odporu vizmutu v magnetickém poli.

ANTIMON (stibium), prvek, chem. zn. Sb; atomové číslo 51, atomová hmotnost 121,76, bod tání 630,5 °C. Bílý, lesklý kov, velmi křehký. V chemických sloučeninách je trojmocný a pětímocný. Pro svou křehkost se používá jen ve slitinách, hlavně s olovem, kterému dodává tvrdost (tvrdé olovo, liteřina, ložiskové kovy).

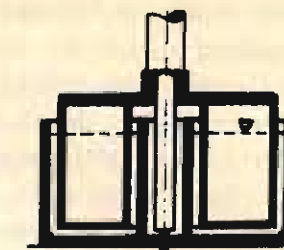
VANAD (vanad), prvek, chem. zn. V; atomové číslo 23, atomová hmotnost 50,942, bod tání 1715 °C, hustota 5,86. Ocelově šedý, velmi tvrdý, ale křehký kov; za vyšší teploty oxidyduje. V chemických sloučeninách je pětímocný. Z vanadu se vyrábí slitina se železem - **f e r o v a n a d** - používaná k výrobě speciálních ocelí.

RTUŤ (hydrargyrum), prvek, chem. zn. Hg; atomové číslo 80, atomová hmotnost 200,59, hustota 13,55. Rtuť je jediný kov, kapalný za obyčejné teploty: taje při -39 °C, vře při 357 °C; vypařuje se již za obyčejné teploty. Rtuť je na vzduchu stálá, oxidyduje až za vyšší teploty; zato ale rozpouští řadu jiných kovů (nabývá tím řady nežádoucích vlastností: lepí se na sklo, nemá svou normální specifickou hmotnost). Kovů snadno oxidyjících ji snadno zbavíme oxidační; buď tím, že ji necháme padat jako jemný déšť vysokou vrstvou zředěné kyseliny dusičné,

nebo delším probáněním vzduchu. Vzácné kovy je však nutno odstranit destilací ve vakuu. Mechanické nečistoty odstraníme průtokem dírkami, napíchanými v papírovém kornoutu, nebo filtrační čistou jelenicovou kůží pod tlakem. Vody a vzduchu se rtuť zbaví ohřátím na 120 až 150 °C. Rtuť je nebezpečný jed¹⁾. V chemických sloučeninách je rtuť jednomocná a dvojmocná.



Obr. 3.14.



Obr. 3.15.

Rtuť se používá v přístrojové a měřicí technice a elektrotechnice k nesčetným účelům, neboť soudobá technika je bez rtuti nemyslitelná: Využívá se k přípravě jejích slitin, čili amalgamů; používá se k plnění fyzikálních přístrojů, jako kapalina pro teploměry skleněné i kovové, dálkové, pro barometry a různé tlakoměry; pro vzduchotěsné závěry, do termostatových regulátorů, voluminometrů, pro kompenzování kyvadel, k tlumení synchronních motorků, k nadlehčování otočných částí (na obr. 3.14 je buben plovoucí ve rtuť, odlehčující polární osu velkého hvězdářského dalekohledu; na obr. 3.15 je plovákem nesen otáčivý systém těžkého zařízení); ve vakuové technice se rtuť využívá jako výplň vývěv, v elektrotechnice do rtuťových usměrňovačů a pro rtuťové kontakty (skleněné spínače), do nejrůznějších výbojek, pro elektrody Heyrovského polarografu, do křemenných lamp ("horské slunce"), apod.

3.3. MATERIÁLY NEKOVOVÉ

3.3.1. Polovodiče

Polovodiče jsou takové látky, které při pokojové teplotě mají měrný odpor v rozmezí od 10^{-2} do 10^9 $\Omega \cdot \text{cm}$, tedy v řadě mezi vodiči a izolanty: vodiče (kovy) mají měrný odpor okolo 10^{-5} $\Omega \cdot \text{cm}$; izolanty mají měrný odpor 10^{14} až 10^{22} $\Omega \cdot \text{cm}$. Mezi polovodiči a izolanty tedy neexistuje ostrá hranice. Polovodiče s vlastní vodivostí jsou velmi čisté krystalické látky. Polovodiče s příměsovou vodivostí obsahují vhodné příměsi, tzv. aktivní nečistoty.

U polovodičů se výrazně projevují:

- a) **magnetorezistence**, tj. změna (zpravidla zvýšení) elektrického odporu v magnetickém poli;
- b) **termoelektrické vlastnosti** (termoemise), tj. emise částic (elektronů a iontů) uvolňovaných z látek působením tepelné energie;
- c) **fotovodivost**, tj. excitace elektronů dopadajícími fotony;
- d) **fotovoltaický jev**, tj. vznik elektrického napětí v osvětleném nehomogenním polovodiči;
- e) **luminescence**, tj. emise světla tělesem (luminescenční látkou) v míře větší, než odpovídá záření absolutně černého tělesa o stejné teplotě.

Mezi polovodiče patří nerosty, jako např. galenit (leštěnec olovnatý, chemicky siřník olovnatý; tvrdost 2,5, hustota 7,4). Z prvků selen, křemík, germanium. Z chemických sloučenin kyslíčnick měďný, siřník zinečnatý, siřník olovnatý, karbid křemíku, antimonid india a další; též organické sloučeniny, jako antracen.

¹⁾ Nejen sloučeniny rtuti, ale i její páry, vyvinující se již za normální teploty, působí vleklou otravu.



Dále ferity - feromagnetické keramické látky, připravené slinutím kysličníku železitého s jedním nebo více kysličníky dvojmocných kovů (manganu, zinku, niklu aj.), nebo polovodiče, vyrobené spékáním ze směsi různých kysličníků, např. manganu, kobaltu, mědi, železa, niklu, titanu, uranu aj. (termistory), zatavené do skleněných baněk, aby byly uchráněny před účinky atmosféry.

Polovodiče mají široké, stále rostoucí uplatnění, zvláště v elektrotechnice, ve sdělovací technice, v samočinných počítačích, při elektronickém vybavení družic a raket, v měřicích přístrojích a v mikroelektronice. Všechny uvedené vlastnosti se využívá v polovodičových konstrukcích pro účely: polovodičové usměrňovače (termistor, magnetorezistor), zesilovače a fotočlánky. Polovodičové prvky mají proti elektronkám řadu významných předností: odolnost vůči otřesům, malé rozměry, malá spotřeba elektrické energie, odpadá žhavení, mají téměř neomezenou životnost. Nevýhodou bývá značná citlivost na změny teploty, existence tzv. mezního kmítočtu apod.

Pro usměrňovací účely se používá usměrňovačů jednak polokrytalických selenových nebo kupřoxových (kysličník měďnatý), jednak monokrytalických usměrňovačů germaniových, křemíkových, nebo z polovodičových slitin. Zesilovací a oscilační prvky zahrnují velký počet různých konstrukčních uspořádání polovodičových triod - tranzistorů. Homogenní elektrické pole v oblasti báze mají tranzistory hrotové, plošné slitinové tranzistory, tažené tranzistory, tranzistory s povrchovou vrstvou, tranzistory připravované tepelnou metodou. Nehomogenní elektrické pole v oblasti báze mají tranzistory difúzní, s posuvným polem, vysokofrekvenční, slitinové, fieldistory, unipolární tranzistory, tecnetrony, spacitrony a jiné prvky, připravované většinou difúzí. Mezi další polovodičové konstrukční prvky se zahrnují prvky citlivé na změnu intenzity magnetického pole, tzv. Hallovy generátory a magnetorezistory (polovodičový prvek, jehož elektrický odpor závisí na intenzitě magnetického pole). Magnetorezistory se používají k měření intenzity magnetického pole, v regulačních zapojeních, v násobičích kmítočtu, v měničích stejnosměrného proudu na proud střídavý, v zesilovačích, v oscilátorech a v měřicí technice. Všechny polovodičové prvky mají elektrické parametry závislé na teplotě; této vlastnosti (jindy nevýhodné) se využívá u termistorů, nebo pozitronů, u prvků s kladným teplotním součinitelem ohmického odporu, nebo u senzistorů. Fotoelektrických je v úsehu se využívá ke konstrukci fotoodporů, fotočlánků: např. selenové fotoelektrické články pro měření intenzity světla, germaniové fotočlánky, fotoodpory pro regulační účely a jako převaděče zvukových záznamů na elektrické signály, křemíkové fotočlánky jako sluneční baterie. Termoelektrických je v úsehu se využívá ke konstrukci termoelektrických článků chladičích, pro chladičky a jiná laboratorní zařízení. V miniaturních konstrukcích různých typů se používá polovodičových integrálních konstrukčních prvků, obsahujících více diod, tranzistorů, kondenzátorů a indukčností.

SELEN (selenium), prvek, chem. zn. Se; atomové číslo 34, atomová hmotnost 78,96. V chemických sloučeninách je dvojmocný, čtyřmocný i šestimocný. Tvoří několik nestálých modifikací, vlastnostmi podobných síře (tzv. červený selen). Stálou modifikací je tzv. kovový selen; je to šedá, krystalická látka; ve tmě vykazuje nepatrnou elektrickou vodivost, která osvětlením výrazně stoupá. Selen se uplatňuje jako polovodičový materiál, vhodný pro konstrukci selenových usměrňovačů, selenových buňek, selenových hradlových fotoelektrických článků, nebo selenových fotoelektrických expozimetrů.

KŘEMÍK (silicium), prvek, chem. zn. Si; atomové číslo 14, atomová hmotnost 28,09, bod tání 1413 °C, hustota 2,33. Čistý křemík krystaluje v krychlové soustavě. Jako polovodiče se ho používá ke konstrukci diod, tranzistorů a fotoelektrických článků. Slitina křemíku a železa (ferosilicium) se používá pro její odolnost proti kyselinám. Slitina hliníku s křemíkem (silumin) má význam ve slévárenství.

V chemických sloučeninách je křemík čtyřmocný. Kyslík křemíkový (SiO₂) je krystalická látka, tající při 1705 °C. Užívá se ho k výrobě křemenného skla, jež se vyznačuje velkou tepelnou odolností a propustností pro ultrafialové paprsky. Tavením kysličníku křemičitého s kysličníkem vápenatým a sodou nebo potaší se připravuje sklo sodno-vápenaté nebo draselno-vápenaté. Karbid křemíku (SiC) - karborundum - vyráběný z kysličníku křemičitého a uhlíku v elektrických pecích se používá jako brusný prostředek. Silikony, které se připravují v rozličných obměnách se používají jako mazací oleje, izolační materiály apod.

GERMANIUM (germanium), prvek, chem. zn. Ge; atomové číslo 32, atomová hmotnost 72,60. Je to prvek, příbuzný křemíku. Svým polokovovým charakterem stojí mezi křemíkem a cínem. V chemických sloučeninách je germanium dvojmocný a čtyřmocný. Má význačné vlastnosti polovodiče. Používá se ho ve sdělovací technice, při výrobě detektorů a tranzistorů.

Ferity náleží většinou také mezi polovodiče. Jsou to feromagnetické keramické látky, připravené slinutím kysličníku železitého s jedním nebo více kysličníky dvojmocných kovů - manganu, zinku, niklu aj. Většina z nich má význačné magnetické vlastnosti. Pro svůj značně vysoký elektrický odpor se jich používá především ve vysokofrekvenční a mikrovlnné technice.

3.3.2. Izolanty

Izolanty jsou elektrické nevodivé, tj. látky o velmi malé elektrické vodivosti, tedy o velmi vysokém odporu. Dobrymi izolanty jsou látky, jejichž měrný elektrický odpor je řádu 10¹⁸ Ω.cm; nejlepším izolantem je vakuum. Kromě toho, látek vázaných bakelitem a taveného křemene, je výborný jantara síra, výborně izoluje i parafin a ceresin. Dobře izoluje sklo a porcelán; k improvizaci často vyhoví i dřevěná, napuštěná za horka parafinem.

V elektrotechnice jsou používány:

1. Izolanty tuhé anorganické, které se používají za vyšších teplot a při mechanickém namáhání:
 - a) přírodní: břidlice, azbest, slída;
 - b) umělé: sklo, porcelán, steatit, metalit, různé keramické látky porcelán s vysokou dielektrickou konstantou.
2. Izolanty tuhé organické:
 - a) přírodní: dřevo, papír, vlákniny, vosky, kaučuk, bitumeny, laky, kompondy a pryskyřice;
 - b) umělé: syntetické pryskyřice, umělá vlákna, umělý kaučuk, silikonový kaučuk, plastické hmoty tvárné teplem i tvrditelné.
3. Izolanty kapalné:
 - a) přírodní: pryskyřičný olej, dřevný olej, lněný olej, minerální oleje; používají se v transformátorech, v olejových vypínačích apod.;
 - b) umělé: chlorované deriváty fenolu jako je sovol, sovthol, slophen, pyralan apod.; používají se jako elektricky izolační, zhašecí a chladičí prostředky, nebo k ochraně izolantů pevných.

3.3.3. Umělé látky

Umělé látky jsou dvojího druhu:

1. hmoty termoplastické (termoplasty), které ohřátím měknou a ochlazením opět tvrdnou (jev je vratný);

2. hmoty polymerizující (tvrditelné, čili termosety), u nichž se vlivem zvýšené teploty tvoří velké molekuly, ale chemické složení se přitom nemění; látky nabývají trvale nových vlastností (jev je tedy nevratný).

Chemické složení umělých látek je velmi různé a jejich počet jde dnes do set. Jsou předmětem rozsáhlého a specializovaného oboru chemie a jejich výroba představuje značně vyvinutý průmysl. Význam umělých látek je jednak v tom, že nahrazují látky přírodní, ale hlavně i v tom, že mají namnoze vlastností nové a odlišné od přírodních látek. Rozšiřují tedy naše technické možnosti.

Celuloid je jednou z prvních plastických hmot (dnes byla již nahrazena výhodnějšími syntetickými látkami). Vyrábí se z nitrocelulózy a kafru rozpouštěním, vysoušením a dále pak válcováním. Je to látka za normální teploty dosti měkká a nedokonale pružná. Teplem měkne, za horka při 70 °C je tvárná. Při vyšších teplotách se rozkládá. Je hořlavá a nebezpečná svou snadnou zápalností (při hoření vydává nebezpečné plyny; ve větším množství a v omezeném prostoru je dokonce výbušná).

Celuloid je výborně opracovatelný, avšak tvarově málo stálý. Po výrobě se smršťuje a deformuje v důsledku odpařování zbytků rozpustidel, později pak pomalým vypařováním kafru, při čemž křehne. Dříve se používal jako podklad fotografických filmů; bíle zbarvený je pěkným materiálem na méně přesné stupnice (např. bubínky planimetrů; nalepený na dřevo pro logaritmická pravítka, různá měřítka apod.). Z celuloиду jsou tzv. nerozbitná skla na hodinkách a dílenských měřicích přístrojích.

Galalit je materiál silně hygroskopický a tedy rozměrově málo stálý. Při obrábění značně otupuje řezné nástroje. Bíle zbarveného galalitu lze někdy použít jako náhražky celuloidu na stupnice; jinak je vhodný na různé ručičky apod., pokud ovšem nedáme přednost raději novým umělým látkám.

Přírodní kaučuk (guma) se získává z latexu¹⁾, vytékajícího z naříznutých kmenů kaučukovníku. Latex se sráží v surový kaučuk působením kyselin. Dodatečným čištěním se zbaví mechanických nečistot. Sloučením se sírou (vulkanizací) dává pryž, elastickou při vyšších i nižších teplotách. Podle obsahu síry dostáváme buď měkkou pryž (1 až 10% síry), nebo tvrdou pryž, čili ebolit (až 45% síry). Kaučuk je užitečný jako materiál na trubky a hadice, na různá těsnění, na pružné uložení přístrojů, na výrobu klínových řemínků. Je velmi pružný, snese až šestinásobné protažení, ale má velkou elastickou hysterizi. Pro vakuovou techniku nebývá dostatečně těsný.

Ebolit je tvrdý kaučuk, vulkanizovaný s velkým přídavkem síry (až 45%). Je to černá rohovitá látka, křehká, hořlavá, která vzdoruje účinkům kyselin, alkalií a různých jiných chemikálií. Má velmi dobré elektroizolační schopnosti. Dobře se leští, ale rychle otupuje řezné nástroje. Tvarově je málo stálý; účinkem světla se mění, vylučuje se síra a kyselina sírová a povrch se pomalu stává vodivý. Za tepla je tvárný, dá se dobře ohýbat; jeví značný creep. Dnes je nahražován stálejšími umělými pryskyřicemi.

¹⁾ Latex se používá též k výrobě umělé kůže (imitace), jako lepidlo a k impregnaci.

Umělý kaučuk je rovnocenný přírodnímu kaučuku, některými vlastnostmi jej dokonce předčí: je odolnější proti řadě chemických činidel, oleji, benzínu a zvýšené teplotě. Vychází látkou k jeho výrobě je buď lín, acetylen, nebo krakové plyny. Jiné umělé kaučuky se získávají polymerací chloroprenu (např. sovren, dupren, neopren).

Silikonový kaučuk patří mezi umělé kaučuky. Snáší teploty 250 °C, krátkodobě až 350 °C, zachovává si pružnost i při velmi nízkých teplotách -70 °C. Má výborné elektroizolační vlastnosti; je odolný vůči chemikáliím. Používá se ho v elektrotechnickém, automobilovém a leteckém průmyslu.

Bakelit je základním typem fenoplastů, plastických hmot, vyrobených kondenzací fenolů s formaldehydem (fenolformaldehydové pryskyřice). Polymerizuje při teplotách nad 150 °C a stává se nerozpustným a netavitelným; je to tedy termoset. Nehoří, pouze při teplotách nad 250 °C uhelnatí. Je netečný k mnohým chemikáliím a je dobrým elektrickým izolátorem. Rozměrová stálost bakelitu a hmot z něho odvozených je poměrně dobrá (jsou jen málo hygroskopické). Materiál se dobře obrábí, ale rychle otupuje břity řezných nástrojů. V poslední době se začíná používat také fenolformaldehydových pryskyřic litých, s kterými lze dosáhnout výborných výsledků.

Bakelitu samotného se používá jako lepidla nebo laku (na impregnování vinutí elektrických strojů a přístrojů), většinou však jako pojídkla: práškový bakelit se smísí s dřevěnou nebo minerální moučkou, popř. s nějakým pigmentem. Z této směsi se ve vytápěných kovových formách (kokilách) lisují nejrozličnější součástky pro různé potřeby průmyslu i denního života. Výlisky jsou přesné, lze lisovat i útlé tenkostěnné součásti, závitky a drobné nápisy. Jakost povrchu výlisků je tak dobrá, jako je jakost povrchu lisovací formy (kokily jsou dokonale vyleštěny). Výhodou je, že lze zaformovat (zalísovat) též různé vložky z kovu, obyčejně z mosazi. Takto lze zhotovit i celé složité části různých aparatur (např. celý galvanometr pro regulátor elektrických pecí). Podobně se lisují pouzdra a kryty pro měřicí přístroje, zvláště elektrické, které byly dříve odlévány vstřikováním, nebo lisovány z plechu.

Bakelitu se užívá i jako pojídkla jiných hmot: vrstvený papír, impregnovaný bakelitem (tvrzený papír, pertinax); bakelitem impregnované a vázané vrstvy plátna (mikarta, texgumoid). Tyto desky se osvědčují jako izolační materiál a na ozubená kola (nehluchá ozubená soukolí). Pertinaxu nebo texgumoidu lze leckdy užít jako základních desek pro drobnější aparatury a pro různé laboratorní improvizace.

Plexisklo (plexiglas, umaplex) je polymer methylmethakrylátu, látka dokonale průhledná, bezbarvá, termoplastická (pod názvem umaplex jde o organické sklo československé výroby). Látka je tvrdší než celuloid, dobře se opracovává a leští; za tepla je zpracovatelná jako termoplast (měkne při 90 až 125 °C). Je dobře odolná vůči anorganickým i organickým kyselinám, koncentrovaným roztokům lehu, popř. různých solí; v organických rozpouštědlech se však rozpouští. Dá se snadno lepit chloroformem, speciálním lepidlem a kanadským balzámem, opticky brousit a leštit. Dodává se v tabulích tloušťky 0,5 až 20 mm.

Plexisklo má měrnou hmotnost $\rho = 1,18 \text{ g.cm}^{-3}$, index lomu $n = 1,49$, pevnost v tahu (při 20 °C) $\sigma_{pt} = 75 \text{ MPa}$, v ohybu $\sigma_{po} = 100 \text{ MPa}$, malý modul pružnosti v tahu $E = 2,8 \cdot 10^3 \text{ MPa}$, a velký součinitel teplotní roztažnosti $\alpha = 130 \cdot 10^{-6} \text{ deg}^{-1}$; světelná propustnost je $D = 0,9 \div 0,99$. Jako všechny umělé látky je málo hygroskopické: za 24 hodin přijme pouze 0,17% vody [5].

Plexiskla se používá v mnoha oborech, např. v optickém průmyslu, často místo skla (je lehčí a netříští se); na čočky, osvětlovací tělesa; ohřáté v horkém

vzduchu na 90 až 125 °C se dá tvářet lisováním ve formách, foukáním jako sklo, nebo při rotaci odstředivou silou. Lze z něho vylisovat a vybrousit čočky, které jsou ovšem méně odolné proti poškrábání, než skleněné. Plexisklo je mnohem průhlednější než sklo; ohnutou tyčkou lze vést světlo jako potrubím a osvětlit těžko přístupná místa (využívá se v lékařství).

T e f l o n je termoplastická látka, připravená polymerací tetrafluorethylenu. Patří do skupiny polyfluorethylenů, což jsou plastické látky, získané polymerací fluorových derivátů ethylenu za přítomnosti katalyzátorů. Nejdůležitější z této skupiny je polytetrafluorethylen $[(CF_2.CF_2)_n]$ a polytrifluoromonochlor-ethylen. Jsou známy též pod názvem fluon.

Polytetrafluorethylen má výborné vlastnosti mechanické, tepelné, elektrické i chemické: je pevný, netavitelný, nehořlavý, odolný vůči vodě a chemicky netečný. Snese ohřev na 250 až 300 °C. Nerozpouští se, ani neobtná v žádných organických rozpouštědlech, v minerálních kyselinách nebo zásadách; je napadán pouze alkalickými kovy. Nesnáší se dobře s ostatními plastickými látkami a pryskyřicemi. Zhotovují se z něho bloky, fólie, desky, trubky a tyče¹⁾.

P o l y s t y r e n je polymer aromatického uhlovodíku styrenu ($C_6H_5CH=CH_2$); je to tvrdá, bezbarvá, průhledná, termoplastická látka, poměrně křehká. Je výborným elektrickým izolátorem. Dobře odolává vodě, silným kyselinám i zásadám. Má velkou světelnou propustnost. Při teplotách 80 až 100 °C ztrácí pevnost.

S i l i k o n y jsou látky, tvořící plynulý přechod mezi sloučeninami anorganickými a organickými. Společnou jejich vlastností je odolnost proti vodě, odolnost vůči mnohým chemikáliím i jiným vlivům. Jsou dobrými elektrickými izolátory a v širokém teplotním rozmezí nemění své vlastnosti. Silikony jsou buď tekuté (olejovité), nebo pevné (pryskyřičné), popř. pružné (silikonový kaučuk) a mají charakter plastických látek.

3.3.4. N e r o s t y

N e r o s t y používáme v přesné mechanice hojně; důvodem je jejich **t v a r o v á s t á l o s t**, velká **t v r d o s t**, často též specifické **o p t i c k é** nebo **e l e k t r i c k é** vlastnosti. Všechny nerosty, i ty nejtvrďší, lze obrábět broušením s nejvyšší přesností.

MĚKKÉ KAMENY (vápenec, mramor, břidlice) používáme podle potřeby pro jejich **s t á l o s t** na základní desky, nebo cívky etalonů indukce. Dvojlomný **i s - l a n d s k ý v á p e n e c** se používá na polarimetry. V optice se používá též **k a z i v e c** (fluorit) na čočky silných mikroskopických objektivů, **t u r m a l i n** pro polarizaci (jeví také silně piezoelektrický zjev), někdy též čisté krystaly kuchyňské soli. **M a s t e k**, zejména vyžíhaný (steatit) je vysoce ohnivzdorný materiál, používaný v technice a v laboratoři.

TVRDÉ HORNINY (např. žula) se užívají na přesné rovinné příměrné a rýsovací desky a to až do několikametrových rozměrů. Jsou tvarově stálější, odolnější proti otěru a levnější, než desky litinové. Důležité je, že malé poškození úderem nebo škrábnutím desku nezneškodní, neboť křehký materiál se jen vydrtí, ale okraje nevystanou jako u litiny. Pro desky malých rozměrů je vhodný též **t a v e n ý č e d i š**, dokonce i k výrobě koncových měrek a kalibrů. Křehkost je zde dokonce výhodou: kalibr se úderem může přerazit, ale nemůže se zdeformovat jako ocelový. Nevýhodou čediče je poloviční hodnota součinitele teplotní roztažnosti oproti oceli.

¹⁾ Ve vodní disperzi se zpracovává jako latex, např. k impregnaci.

KŘEMENY, křemenité nerosty, jako **a c h á t**, **c h a l c e d o n**, červený **k a r n e o l**, jsou materiálem na pánve lepších vah, u vah analytických obyčejně i na břity; dále pak na ložiska kompasů a buzol, na kotvové zuby přesných kyvadlových hodin. **G r a n á t** se používá někdy na levnější ložiska hodin a běžně na ložiska elektroměrů. Zajímavý je čistý krystalický křemen, **k ř i š ť á l**, tvořící velké, dobře vyvinuté krystaly. Kusy určitým způsobem z krystalu vyříznuté vykazují piezoelektrický zjev, kterého se využívá k různým účelům: na vysokofrekvenční rezonátory, k přesné regulaci frekvence vysílacích stanic, k nejpřesnějšímu měření času, k buzení ultrazvuku, k měření rychle se měnících sil, k měření otřesů, na piezoelektrické mikrofony. Křišťálu se užívá též v optice, zejména na čočky pro fotografování ultrafialovými paprsky, které optická skla téměř nepropouštějí. Jiným piezoelektrickým materiálem je **t u r m a l i n** (též některé vínany, fosforečnany, titaničitany aj.).

KORUNDY, jako čistý korund, červený **r u b í n** a modrý až bezbarvý **s a f í r**, jsou nejlepším materiálem na ložiska a kroky hodin, na ložiska různých měřicích přístrojů (zejména elektrických), na dotykové plošky jemných délkových měřidel. Vrtání, soustružení, broušení a leštění se děje diamantem. Dnes se užívá nejvíce kamenů uměle vyrobených ve Verneuillově miniaturní kyslíko-vodíkové peci: na tyčku se postupně natavuje pomalu padající čistý, jemný práškový kyslíčnick hlinitý. Vznikne hruška asi 40 g těžká, z níž se řezáním, broušením a leštěním vyrobí asi 1 g ložiskových kamenů. Nepatrnou přísadou kyslíčnicků některých kovů lze kameny libovolně obarvit. Tyto umělé kameny jsou považovány za lepší, neboť jsou rovnoměrnější než přirozené. Umělé korundy obsahují často spoustu nepatrných bublinek, které však nevadí, neboť se při leštění "zatáhnou". V technice a optice je korund důležitým **b r u s n ý m m a t e r i á l e m**, dnes ovšem uměle připraveným v elektrických pecích (elektrokorund).

DIAMANT¹⁾ je čistý krystalický uhlík (krychlová modifikace uhlíku). Má ze všech látek nejvyšší tvrdost a nejvyšší index lomu. Vysoká tvrdost činí z diamantu materiál v technice nepostradatelný; předně jako nástroj pro mnohé účely, od velkých černých diamantů k vrtání hornin, přes diamantové nože na nejpřesnější soustružení, až k diamantovému prášku na lapování nástrojů a na broušení a leštění jiných kamenů. Sám se dá brousit jen svým vlastním práškem velmi pomalu a přitom se zároveň dosahuje i lesku.

Z diamantu se zhotovují průvlaky k tažení jemných drátů (např. wolframových drátků do žárovek); vrtá se pomalým vybrušováním ocelovou jehlou, na níž se nanáší diamantový prášek s olejem; podobně provlečeným drátkem se vývrt vyhladí a "olivuje". Z diamantu jsou vyrobeny hroty vlnacích těles tvrdoměrů: kužel (Rockwell), nebo jehlan (Vickers). Setrvačka námořních chronometrů spočívá na diamantu. Nejjemnější dělení a difrakční mřížky se ryjí diamantovým rydlem. Tabulové sklo se řeže diamantem tak, že se poruší povrchová vrstva skla. V optické výrobě se desky (bloky) optického skla poměrně rychle přeřezávají tenkým ocelovým nebo nádobným kotoučem, na jehož obvodě je do zářezů nebo záseků zatěmována diamantová drť; zde se uplatňuje - podobně jako u soustružení - trvanlivost řezných hran diamantových úlomků, která je 2000 krát větší, než u břitů ocelových a nejméně 50 krát větší, oproti břitům karbidovým. K broušení se užívá nejčastěji diamantu volného, ale také vázaného kovem (např. mědí), nebo bakelitem. Diamant je nepřekonatelným nástrojem k orovňování brusných kotoučů (např. při broušení přesných závitů). Široké uplatnění diamantu v technice je zřídko jeho vzácností. Žádná z doposud užívaných náhražek jej nemůže plně nahradit.

¹⁾ Pro stanovení hmotnosti diamantu se používá jednotky karát, což je 200 mg.

3.3.5. Látky keramické

TECHNICKÁ KERAMIKA se uplatňuje v různých oborech techniky jako materiál konstrukční i funkční. V technice a laboratorní praxi se používají různé ohnivzdorné látky, např. šamot, steatit, karbوند, tavený křemen, porcelán apod. Nejširší upotřebení má technický porcelán a kamenina, jak v elektrotechnickém průmyslu (např. izolátory nízkého i vysokého napětí, pouzdra termočlánků), tak i v chemickém průmyslu. Ve strojírenství se používá keramických pojiv k výrobě brusných nástrojů. Pro vysokofrekvenční techniku byly vytvořeny speciální keramické izolační látky s příznivými vlastnostmi dielektrickými (např. steatit, kalit, condenza); kalit je materiál, který má pevnost v ohybu kolem 150 MPa, lze ho dobře obrábět broušením a můžeme z něho vyrábět součásti rozměrově přesné na 2%.

KERAMICKÁ METALURGIE, tj. výroba součástí z kovového prášku, který se velkým tlakem slisuje a v ochranné atmosféře nechá slinout, rovněž nabývá na důležitosti. Slinuté karbidy, cermety, vyráběné ze směsi kovových prášků (železo, nikl, chrom, wolfram, molybden) a nekovových materiálů, zvláště kyslíčků (kyslíčnick hlinitý), se vyznačují vysokou tvrdostí a pevností i při vysokých teplotách. Používají se proto jako řezné obráběcí nástroje.

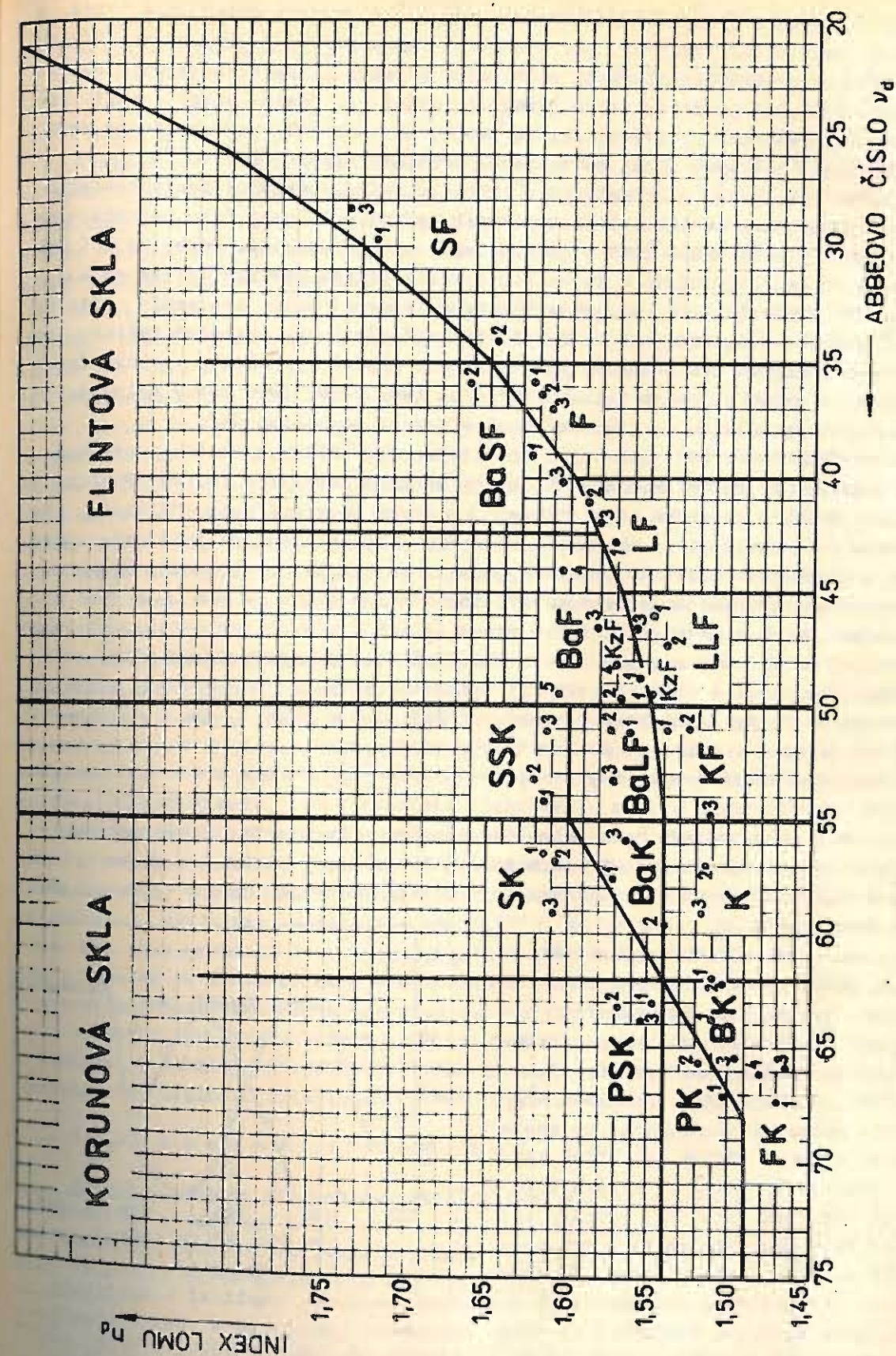
FEROMAGNETICKÁ KERAMIKA jsou látky připravené slinutím kyslíčnicku železitého s jedním nebo více kyslíčnicku dvojmocných kovů (manganu, niklu, zinku apod.). Ferity jsou polovodiče, z nichž většina má význačné magnetické vlastnosti. Pro svůj značně vysoký elektrický odpor se jich používá především ve vysokofrekvenční a mikrovlánné technice. Ferity magnetické měkké (krychlová struktura) obsahují kromě kyslíčnicku železitého ještě kyslíčnick železnatý, nikelnatý, hořečnatý, kobaltnatý, zinečnatý a kademnatý. Ferity magnetické tvrdé (šesterečná struktura) obsahují pak kyslíčnick barnatý, strontnatý a olovnatý. Urdiox (urandioxyd), používaný na elektrické odpory závislé na teplotě, je z kyslíčnicku uranitického, jehož odpor zahříváním značně klesá; používá se v elektrických okruzích ke snížení nárazu proudu při spínání.

Ještě důležitější v přesné mechanice a optice jsou látky sklovité: různé druhy skla, křemenina, tavený čedič a různé druhy emailů.

TECHNICKÁ SKLA měkká i tvrdá (tj. měknoucí při nízké i vyšší teplotě) se dají zpracovat na sklářském kahanu (plyn a vzduch, popř. kyslík), foukáním, ohýbáním, vytahováním, sváření; takto lze vyrobit skleněné součásti fyzikálních a měřicích přístrojů, např. barometrů, tlakoměrů, přístroje a nářadí pro chemické laboratoře. Ve velkovýrobě se vyfukují strojně baňky pro žárovky, elektronky a rožmanité výbojky. Výchozím polotovarem jsou většinou trubky různých průměrů; ze silnostěnných trubek, které mají malou světlost (kapilár) se zhotovují teploměry.

Sklo se připravuje tavením kyslíčnicku křemičitého s kyslíčnickem vápenatým a sodou nebo potaší; tak dostáváme buď sklo sodno-vápenaté nebo draselno-vápenaté [5]. Sklo je chemicky značně odolné, dá se však snadno leptat kyselinou fluorovodíkovou. Fluorid křemičitý (SiF_4) tvoří s fluorovodíkem (HF) kyselinu fluorokřemičitou (H_2SiF_6); její soli jsou fluorokřemičitany; tyto chemické pochody mají význam při leptání stupnic a mřížek do skla a při vytváření matnic (matné sklo).

SPECIÁLNÍ SKLA jsou skla zvláštních vlastností, např. se speciální odolností chemickou, skla na teploměry, nebo skla s určitou hodnotou součinitele teplotní roztažnosti: borosilikátové sklo (pyrex) má roztažnost pouze $\alpha = 3 \cdot 10^{-6}$ a užívá se ho ve vakuové technice a pro zatavené příklady proudu; též pro odlévání velkých



Obr. 3.16.

zrcadel pro hvězdářské dalekohledy. Ve vakuové technice jsou běžná skla tvrdá, u nichž bývá součinitel teplotní roztažnosti $\alpha = (4 \div 5)10^{-6}$. Zde se na příklady proudů berou materiály typu Fe - Ni - Co, nebo slitiny ještě složitější, jejichž roztažnost odpovídá použitým sklům. Jinak je možné - a často nutné - např. pro křemeninu užít skel přechodových: přívod proudů se obalí několika vrstvami skla, jehož roztažnost postupně klesá ve stupních o hodnotě $(0,5 \div 1,0)10^{-6}$.

Někdy se skla užijí jako materiálu konstrukčního (základní desky analytických vah), někdy jako izolantu u elektrických přístrojů, nebo jako materiálu na dělené kruhy. Byla vyvinuta skla s velkou teplotní roztažností, odpovídající průměrné oceli; možno tedy místo z feroniklu vyrábět přesná měřítka též ze skla.

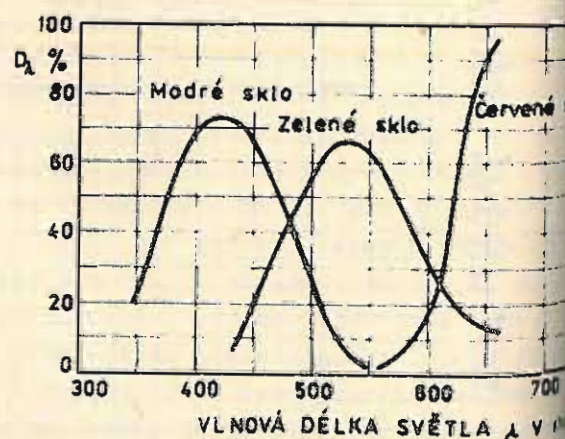
Tvarová stálost skla není vždy vyhovující, neboť sklo projevuje citelný creep; chová se v podstatě jako nesmírně viskozní kapalina: skleněná tyčinka, položená svými konci na dvě podpory, se za několik měsíců plasticky prohne. Známý jsou samovolné změny nulového bodu u rtuťových teploměrů; tyto změny nelze dokonale odstranit ani užitím speciálních skel a jejich stabilizováním.

OPTICKÁ SKLA [5], [9] jsou velmi důležitým materiálem na součásti optické (čochy, hranoly, klíny, planoparalelní desky, zrcadla, světelné filtry). Původně se používala jen tvrdá korunná skla ("crown") a měkká olovnatá skla ("flint"), která umožnila realizovat první achromatické čočky. Dnes se používá celá řada optických skel, která jsou charakterizována jednak svým chemickým složením, ale hlavně hodnotami rozhodujících optických veličin: n a d e x e m l o m u n (pro určitou vlnovou délku světla), A b b é o v ý m č í s l e m ν (pro určitou vlnovou délku světla) a d i s p e r z í (rozdíl indexů lomu pro dvě vlnové délky světla); v úvahu se berou i další vlastnosti optické (světelná odrazivost, světelná propustnost, světelná pohltivost paprsků určité vlnové délky), ale i vlastnosti m e c h a n i c k é (tvrdost, hmotnost, obrusnost apod.), t e p e l n é (součinitel teplotní roztažnosti, teplota transformace [5]), c h e m i c k é (odolnost proti atmosférickým vlivům - zvětrání, odolnost proti kyselinám) [4], [5], [9]. Tato skla dala optikům nové možnosti a umožnila konstrukci dnešních dokonalých objektivů fotografických i mikroskopových. Optické prvky se zhotovují ze skla broušením a leštěním (ve velkovýrobě - u méně náročných prvků - třeba z kusů předlisovaných).

Diagram rozdělení a označení optických skel čirých je uveden na obr. 3.16. Spektrální propustnost D_λ některých barevných optických skel (světelných filtrů) je uvedena v diagramu na obr. 3.17.

TAVENÝ KŘEMEN (křemenné sklo, křemenina) je materiál pozoruhodný po mnoha stránkách. K jeho výrobě se užívá kysličník křemičitý (SiO_2), krystalická látka, tající při $1705^\circ C$, vyznačující se velkou tepelnou odolností a propustností pro ultrafialové paprsky. Tavením kysličníku křemičitého s alkalickými hydroxydy vznikají alkalické křemičitaný (Na_2SiO_3 nebo K_2SiO_3), rozpustné ve vodě. Působením kyselin se z těchto křemičitanů uvolňuje kyselina křemičitá; jejím částečným vysušením získáme silikagel¹⁾.

¹⁾ Gel kyseliny křemičité, velmi jemně pórovitá látka o velké adsorpční schopnosti; koloidní látka.



Obr. 3.17.

Z taveného křemene lze táhnout tenounká vlákna (o průměru řádu $1 \mu m$), která se vyznačují překvapující pevností:

$\varnothing 100 \mu m$ dává pevnost	$2,5 \cdot 10^2$ MPa,	absolutní pevnost	2 N;
$\varnothing 10 \mu m$	$1,3 \cdot 10^3$ MPa,		10^{-1} N;
avšak $\varnothing 1 \mu m$	$8 \cdot 10^3$ MPa,		$6 \cdot 10^{-3}$ N.

Zcela čistá vlákna, vyžíhaná ve vakuu, mohou mít pevnost až dvojnásobnou; nejvyšší zjištěná pevnost byla řádu $1,8 \cdot 10^4$ MPa. Naproti tomu každé znečištění a každý dotyk, i jen pouhé zaprášení pevnost značně snižují; pevnost klesá též stářím vláken. Při trvalém zatížení je pevnost vláken z taveného křemene mnohem menší (řádově asi tak poloviční).

Modul pružnosti závisí rovněž na tloušťce vlákna: tak při tloušťce $2 \mu m$ byl zjištěn modul pružnosti v tahu $E = 1,1 \cdot 10^5$ MPa, v kroucení $G = 6,75 \cdot 10^4$ MPa, kdežto u vláken $60 \mu m$ byly moduly $E = 5 \cdot 10^4$ a $G = 3 \cdot 10^4$ MPa. Zajímavé je, že modul pružnosti s teplotou (na rozdíl od kovů) trochu stoupá. Vlákna lze silně namáhat, neboť mez pružnosti je totožná s mezí pevnosti: vlákno o průměru $5 \mu m$ lze zkroutit o úhel $\varphi = 20 \cdot 360^\circ$ na každý centimetr délky. Dopružování je nepatrné, mnohem menší, než u kovů. Molekulární tření (útlum) je řádově tisíckrát menší, než u kovů: setrvačnick o době kyvu 2 s, zavěšený na křemenném vlákně ve vakuu, ztrácí za 24 hod. jen 20% energie. Křemenné vlákno je proto ideálním materiálem pro torzní závěsy nejjemnějších měřicích přístrojů, jemných galvanometrů, gravimetrů a torzních válek. Také místo břitů lze užít křemenných vláken u nejjemnějších mikrováh, jejichž vahadlo lze zhotovit ze silnějších (asi 3 mm) vláken.

Ve fyzikální laboratoři má tavený křemen dále význam tím, že dobře propouští ultrafialové paprsky a že je znamenitý (ne-li nejlepší) izolant. Dá se opticky brousit a leštit; proto se využívá k výrobě některých optických prvků (čochek). Zpracovatelnost v plameni třaskavého plynu je ovšem horší než u skla, neboť výrobky nejsou tak hladké a pěkné; přesto vyrábíme takto i rtuťové teploměry pro teploty až $600^\circ C$.

PYROCERAM, KRYSTON, SITAL je jemně rekrytalované fotokeramické sklo, velmi pevné a tepelně odolné, průsvitné až průhledné. Při jeho výrobě se vychází z lithného skla, v němž je fotosenzitivním kovem zlato, stříbro nebo měď a senzibilizátorem kysličník ceričitý a ciničitý¹⁾. Má pevnost čtyřikrát až šestkrát větší než sklo; některé druhy jsou pevnější než bronz a lehčí než hliník; jiné druhy jsou až 27 krát tvrdší, než tabulové sklo. Uplatňuje se v technice, mj. v mikrovlnné radiotechnice a pro zrcadla velkých teleskopů.

SKLENĚNÁ KERAMIKA - Schott-Zerodur - má mimořádně nízký součinitel teplotní roztažnosti, umožňující výrobu velkých zrcadel, jejichž optické vlastnosti jsou nezávislé na teplotě; zrcadla se vlivem teplotních změn nedeformují²⁾.

3.3.6. Brusné a leštící prostředky

Brusný proces je založen na rozdílné tvrdosti dvou materiálů, z nichž jeden je předmětem zpracování a musí být méně tvrdý než druhý, aktivně provádějící proces broušení. Brusivo používané v přesné mechanice a optické výrobě k broušení, musí vyhovovat těmto požadavkům [4], [5], [10]:

- 1) Po tavení a tvarování se výrobek ozáří obloukovou lampou a zahřívá se, přičemž vzniknou zplstěné mikrokrystaly dvojkřemičitanu lithného (tzv. nukleace).
- 2) Uvedená vlastnost se získává tepelným zpracováním speciálních skel při jejich výrobě, což vede k vylučování mikrokryсталů ve sklovině.

1. musí být velmi tvrdé, ale přitom nesmí být křehké;
2. musí být dostatečně ostré, aby řezné podmínky byly co nejpríznivější;
3. tvar zrna musí být kompaktní, zhruba kulový; zrna protáhlého tvaru zhoršují jakost brusiva.

Použití určitého druhu brusiva při pracovním postupu závisí ještě na jiných jeho vlastnostech: soudržnost (pevnost) zrn, granulometrické složení brusiva, schopnost vytvářet při drcení zrnka s ostrými hranami, brusná schopnost aj.

Brusiva používaná v průmyslu přesné mechaniky a optiky jsou buď přírodní nebo umělá. K přírodním patří minerály a horniny vysoké tvrdosti, jako je diamant, korund, smírek a křemenný písek. Pro dnešní výrobu mají však největší význam brusiva umělá, ke kterým patří elektrokorund (umělý korund), karbid křemíku (karborundum) a karbid boru.

PŘÍRODNÍ BRUSIVA. Diamant se vyskytuje v přírodě ve formě malých krystalů a z chemického hlediska je to čistý uhlík. Specifická hmotnost se pohybuje mezi 3,4 až 3,6 g.cm⁻³, jeho tvrdost ve stupnici Mohsové je 10. Při své tvrdosti je neobyčejně pevný. Používá se při broušení a leštění diamantů, rubínů a jiných tvrdých materiálů. Ve sklářském a optickém průmyslu se používá též k řezání skla.

Korund pozůstává z krystalického kyslíčnicku hlinitého (Al₂O₃). Tvrdost podle mineralogické stupnice je 9, specifická hmotnost 3,9 až 4,0 g.cm⁻³. Jemné korundové prášky se používají k broušení skla.

Smírek je hornina, obsahující korund s příměsí železitých minerálů. Ve formě prášků se smírek používá i na broušení skla, ale jeho účinek je menší, než u korundu.

Granát. Sem patří skupina minerálů, které jsou v podstatě izomorfními směsami hlinito-, železito- a chromito-křemičitanů vápenatých, manganatých a železnatých. Specifická hmotnost granátů se pohybuje od 3,4 do 4,5 g.cm⁻³, tvrdost od 6,5 do 8. Při opracování skla se používají málo.

Křemičitý písek. Křemen je jedním z nejrozšířenějších minerálů v přírodě. Chemické složení SiO₂ - kyslíčnick křemičitý. Specifická hmotnost 2,6 g.cm⁻³, tvrdost 7. Křemičité písky vznikají větřáním hornin s obsahem křemene, žuly, ruly a porfyru. Používají se k broušení skla hlavně v SSSR, kde je mnoho nalezišť křemenného písku, vhodného pro své vlastnosti k broušení skla.

UMĚLÁ BRUSIVA. Umělý korund (elektrokorund) je krystalický kyslíčnick hlinitý (Al₂O₃) a získává se v elektrické peci tavením bauxitu s uhlím při teplotě asi 2000 °C. Různé druhy elektrokorundu se liší barvou. Bílý elektrokorund je nejlepší a obsahuje 98,5% kyslíčnicku hlinitého; tímto jeho vysokým obsahem se dosáhne velké tvrdosti, která se rovná 9 dle mineralogické stupnice. Dále pak je elektrokorund růžový, hnědý a černý. Černý obsahuje 65 až 75% kyslíčnicku hlinitého. Specifická hmotnost elektrokorundu je 3,2 až 4,0 g.cm⁻³ (vždy podle obsahu Al₂O₃ a příměsí).

Karbid křemíku (karborundum) je chemickou sloučeninou uhlíku a křemíku (SiC). Získává se zahříváním křemenného písku s uhlím nebo koksem v elektrických pecích při teplotě přes 2000 °C. Je velmi tvrdý, dle mineralogické stupnice 9,5. Jeho zrnka se však snadno drtí, neboť má malou soudržnost a nehodí se proto k opracování materiálů houževnatých, jako je např. ocel, která tvoří

¹⁾ Izomorfie je schopnost některých sloučenin příbuzných prvků krystalizovat ve stejných krystalických tvarech. Jednotlivé prvky nebo radikály izomorfních látek se mohou v krystalické mřížce zastupovat, aniž se změní tvar krystalu (tzv. směsné krystaly).

listvou třísku. Technický karbid křemíku s obsahem 95% SiC je světlezelený až černý. Zelený karbid křemíku má obsah 97% SiC, je tvrdší, ale méně houževnatý. Měrná hmotnost 3,0 až 3,4 g.cm⁻³ (podle obsahu příměsí).

Karbid boru je chemická sloučenina uhlíku a boru (B₄C). Vyrábí se v elektrické peci při teplotě až 2500 °C ze směsi kyslíčnicku boritého a koksu. Je tvrdší než karbid křemíku a jeho tvrdost se blíží tvrdosti diamantu. Používá se proto tam, kde tvrdost karbidu křemíku je nedostatečná, např. při opracování rubínu. Jeho specifická hmotnost je 2,5 g.cm⁻³.

LEŠTICÍ PROSTŘEDKY. K leštění skla v optické výrobě se používá leštící červeně, která je z chemického hlediska kyslíčnick železitý v krystalické formě α modifikace (hematit - Fe₂O₃). Zrnka leštící červeně jsou velikosti 0,1 až 1,5 μm. Leštící červeně musí vyhovovat těmto požadavkům:

- musí mít dobré leštící vlastnosti, což závisí na chemické čistotě a stejnoměrném vypálení při určité teplotě;
- nesmí poškozovat povrch leštěného skla rýhami, čehož se dosáhne pečlivým plavením, při němž se odstraňují také tvrdé částice.

Leštící červeně se připravuje žíháním železnatých sulfátů a dobrá červeně má mít sytou červenou barvu. Nemá obsahovat žádné, nebo jen velmi málo sulfátů, neboť přílišné jejich množství způsobuje srážení do kuliček a škrábání leštěného povrchu. Světlá červeně obsahuje zpravidla mnoho sulfátů a ukazuje, že žíhání bylo provedeno při nízkém žáru. Je-li však červeně příliš sytá (tmavá), svědčí o tom, že byla žíhána při příliš vysoké teplotě a není pak dostatečně způsobila k leštění.

Kromě leštící červeně se k hrubšímu leštění používá i jiných látek, např. kyslíčnicku hlinitého, kyslíčnicku chromu apod. Pro obzvláště jemné leštění se používá prášku z cínové hořčice. Všechny leštící látky se používají ve stavu vlhkém, smíšený s vodou (při leštění skla), nebo s olejem (při leštění kovů).

3.4. OSTATNÍ LÁTKY A MATERIÁLY

3.4.1. Tmely a lepidla

Šelak je přírodní pryskyřice, látka termoplastická, ale při vyšší teplotě částečně polymerizující. Je rozpustný v lihu, používá se ho např. k výrobě lakových (politura) a izolačních laků; hustým roztokem se ucpávají netěsnosti ve vakuové technice. Pevnost v tahu a smyku je řádu 25 MPa; přísada kalafuny pevnost snižuje. Šelak dobře lpí na kovu i na kameni, proto je vhodný k zalepování drobných skleněných a kamenných součástí do kovů; např. v hodinkách jsou rubínové šuby kotvy vždy zašelakovány. Šelak se používá též při soustružení k nalepení předmětů tak útlých, že žádné jiné upnutí nesnesou; po obrobení se šelak odstraní vyvařením v horkém lihu.

Kromě šelaku je velké množství tmelů různého složení. Tmely jsou buď termoplastické (šelak, pečetní vosk, speciální tmely pro vakuum), nebo tuhnou chemickými procesy či polymerizací, jsou tedy nevratné, ireverzibilní: tmel glycerinový (glycerin + klejt), Sorelův cement, sádra, cement, tmel zinkový (ZnO + ZnCl₂), různé tmely fermežové, tmely s vodním sklem a mnohé jiné.

Pro tmelení optických skleněných součástí [4], [5] se používá známý přírodní kanadský balzá (index lomu n_d = 1,52 až 1,54), nebo umělá

¹⁾ Kanadský balzám, užívaný v optice a mikroskopii, pochází ze severoamerických jehličnatých stromů (Tsuga canadensis, Abies balsamea aj.).



látky, tzv. b a l z a m i n (index lomu $n_d = 1,475$ až $1,519$). Krystaly, např. polarizační hranoly, se tmelí l n ě n ý m o l e j e m ($n_d = 1,48$), m a k o - v ý m o l e j e m ($n_d = 1,47$) a jinými podobnými látkami. Kromě kanadského balzámu se používá k tmelení optických prvků i jiných tmelů na bázi e p o x y d o - v ý c h p r y s k y ř i c¹⁾, např. polylyta (hlavně pro velké teplotní rozme- zí). Dále se u nás používá také Zeissův optický tmel T ve čtyřech tvrdostech (in- dex lomu $n_d = 1,53$), nebo Kollolith ($n_d = 1,532$). Oba tmely se rozpouštějí a ře- dí stejně, jako kanadský balzám (převážně xylolem).

Od tmelu se zásadně neliší l e p i d l o. Užíváme opět mnoho druhů lepi- del: kliš, kasein, roztoky kaučuku a různé lepicí laky. Syntetická chemie vytvo- řila lepidla polymerizující při vyšší teplotě, jimiž lze slepit i látky tak ne- sourodé, jako je kov a sklo. (Důkazem pevnosti a spolehlivosti je, že těmito le- pidly dnes bez obav lepíme kovová letadla místo nýtování.) Příprava ploch před lepením ovšem vyžaduje opatrnosti; nestejná teplotní roztažnost může spolehli- vost lepení ohrozit.

Pro laboratorní potřebu je vhodný truhlářský kliš v prášku, z něhož lze rychle připravit hotový roztok. Kliš lze udržet tekutý po dobu i několika měsíců přísadou chloridu vápenatého nebo kyseliny octové. Výborná jsou lepidla na bázi kaučuku, lepicí sklo, kůži a dřevo na kov.

3.4.2. N á t ě r y a l a k y

N á t ě r y jsou směsi pigmentů s pojiv; podle druhu pojiv se nátěrové hmoty dělí na vodové, fermežové (olejové), klišové, kaseinové, dehtové, lakové, z vodního skla apod. L a k y jsou roztoky filmotvorných látek (např. vysycha- jící oleje, přírodní a umělé pryskyřice, asfalty a smoly, deriváty celulosy, chlorkaučuk, zvláčňovadla aj.) v organických rozpouštědlech, které tvoří po od- paření rozpouštědla (nebo polymerací vzdušným kyslíkem) průhledný film. K získá- ní barevných nátěrů se k lakům přidávají různé pigmenty a plnidla (práškové bar- vy, látky různého chemického složení a barevného odstínu, přírodní nebo umělé, anorganické i organické).

Součásti lité nebo hrubě opracované se lakují stříkáním nebo namáčením. Po- užívají se k tomu laky různého složení a různých barev. Zvláště dobře drží laky sušené (vypalované při teplotě 100 až 160 °C); pro menší přístroje jsou vhodné laky, které se při teplotě $60 - 100$ °C suší a při schnutí k r y s t a l i z u - j í, nebo dostávají zvrásněný povrch. Čistě opracované plochy, po nichž se nepo- hybují jiné součásti, lakujeme b e z b a r v ý m i nebo slabě přibarvenými la- ky. Často užíváme laků s a p o n o v ý c h, méně tvrdých a méně trvanlivých, ale snadněji se natírajících (např. roztok celulozidu ve směsi acetonu a amylace- tátu). Součásti ocelové často nelakujeme vůbec, ale chráníme je naolejováním, popř. zředěným bezvodým lanolinem.

U optických přístrojů černíme vnitřek některých součástí (např. tubusů) čer- nými laky m a t n ý m i. Na číselníky hodin a některých jiných přístrojů použi- váme někdy nátěry s v í t í c í. Pro izolaci drátů se užívá ohebných laků i z t l a č n í c h. Nejodolnější povrch dávají e m a i l y, nízko tající skloviny.

S i l i k o n o v é l a k y se vytvrzují při vyšších teplotách po odpaře- ní rozpouštědla. Používají se zejména jako laky izolační v elektrotechnice

¹⁾ Epoxidy jsou organické sloučeniny s trojčlenným kruhem, utvořeným jedním ato- mem kyslíku a dvěma atomy uhlíku; technicky důležitý epoxid je ethylenoxyd; některé epoxidy slouží k výrobě epoxydových pryskyřic.

průmyslu. Snesou bez poškození trvalé provozní teploty až 200 °C.

3.4.3. M a z i v a a m a z a d l a

M a z i v a jsou látky používané v technice pro snížení tření a opotřebení třecích ploch. Dělí se na maziva k a p a l n á, což jsou minerální a syntetické oleje, a na maziva k o n z i s t e n t n í, tzv. mazací tuky a mazadla. M a - z a c í t u k y jsou minerální, někdy i syntetické zahuštěné oleje. M a z a d - l a jsou látky, obdobné mazacím tukům; slouží k mazání podřadnějších míst, nebo tam, kde kromě mazání jde též o povrchovou ochranu.

Větší stroje mažeme po strojníku a vždy přesně podle předpisu výrobce. Pro jemné přístroje a v hodinářství užíváme o l e j ů ž i v o ě i š n ý c h, čis- tých, nebo s přísadou oleje minerálního; tyto oleje mají výbornou mazavost, ne- jsou však chemicky příliš stálé, ani tehdy, když obsahují přísadu nějakého anti- oxydačního prostředku a dokonce i barvivo na ochranu před účinky světla.

M i n e r á l n í o l e j e, daleko méně mazavé, ale stálé, mají nepříjem- nou vlastnost rozlézat se po okolí až do úplného vysušení mazaného ložiska. Proti rozlézání oleje pomáhá tenká vrstvička stearové kyseliny (1% roztok stearové ky- seliny v toluenu). Pro velké specifické tlaky a pomalý pohyb lze užít mazadel tu- hých, minerálních i živočišných. Celkem lze říci, že otázka mazání není v přesné mechanice dosud uspokojivě rozřešena. Stav mazadla má velký vliv na chod chrono- metru; hodinky je třeba každé tři roky demontovat, čistit a namazat, malé náram- kové každý rok. Pro vakuovou techniku jsou důležitá mazadla, jimiž těsníme zábru- sy a kohouty; od těchto mazadel se žádá malé napětí par (např. vazelína a surový kaučuk).

Lepší mazadla nám poskytuje chemie silikonová. S i l i k o n o v é o l e - j e jsou bezbarvé, čiré kapaliny, chemicky neaktivní, neutrální, nehořlavé, s vodou se nemísí. V teplotním rozmezí -80 až $+80$ °C se jejich fyzikální vlast- nosti (viskozita, izolační schopnost) podstatně nemění. Používají se jako speci- ální mazadla při vysokých i nízkých teplotách, jako hydraulické kapaliny, v transformátorech a přepínačích jako dobrá kapalná dielektrika.

3.4.4. O c h r a n n é p o v l a k y p ř i r y t í a l e p t á n í

Jakost stupnic, mřížek a záměrných značek, leptaných ve skle nebo v kovových vrstvách, nanesených na skle, závisí ve značné míře na jakosti rytí v ochranném povlaku. Ochranný povlak musí proto splňovat řadu požadavků, aby byla zabezpeče- na nejen vysoká jakost rytím nanesených elementů stupnic a značek, ale také pod- mínky průběhu procesu leptání [4], [5].

Jako ochranných povlaků, které odolávají působení kyselin, používáme směsi rozličných materiálů, v nichž hlavní složku tvoří včelí vosk¹⁾. Jako příměsí se používá kalafuny²⁾, ceresinu³⁾, řídčeji parafinu⁴⁾. Je také možno upotřebit zoe- la čistý včelí vosk, zbavený mechanických i chemických nečistot a vody, o tvrdos-

¹⁾ Směs esterů kyseliny cerotové $C_{25}H_{51}COOH$, octylalkoholu aj.

²⁾ Tuhý zbytek po oddestilování terpentýnové silice, obsažené v pryskyřicích jehličnatých stromů.

³⁾ Zemní vosk (ozokerit), rafinovaný zahříváním s kyselinou sírovou, nebo filtra- cí přes bělicí hlinku.

⁴⁾ Krystalická směs vyšších nasycených alifatických uhlovodíků s 22 až 48 uhlí- kovými atomy v molekule (tj. C_{22} až C_{48}).

ti dle penetrometru Richardsonova od 8 do 17 jednotek a o teplotě tavení od 68 do 72 °C. Čistý vosk se používá při leptání kyselinou fluorovodíkovou. Často se používají speciální laky, odolávající kyselinám.

Přidávky látek k vosku mu přidávají na tvrdosti, lepkavosti a vazkosti a též na odolnosti proti kyselinám. Poslední vlastnost je zvláště důležitá při používání leptací lázně s přidavkem kyseliny sírové, neboť čistý vosk se při působení této kyseliny rozrušuje. Přidavek ceresinu a parafinu zmenšuje eventuelní proleptání, neboť i tyto látky odolávají kyselině sírové. Kalafuna přidává vosku tvrdost. Pro zvýšení vazkosti ochranné vrstvy se přidává fermez¹⁾, která se dává do směsi dříve připravené v poměru 10:1.

Před nanášením ochranného povlaku je nutno součást pečlivě očistit a nahřát na 80 až 100 °C. Vosk nejprve roztavíme a pak štětečkem nanášíme na povrch skla; nebo nejprve zhotovíme voskové tyčinky a pak přitisknutím tuhého kousku vosku na ohřáté sklo nanášíme slabou vrstvičku ochranného kyselinovzdorného povlaku.

V ochranném povlaku se mohou po vyrytí jednotlivých elementů objevit různé rysy, tečky a poškození; mohou se objevit rozličné defekty ochranného povlaku: vzduchové bublinky, vlásky ze štětečku, zrnka prachu apod. Takovéto defekty je nutno opravit - retušovat - speciální polotuhou látkou, odolnou proti kyselinám, která je složena v základě z fermeže, kalafuny a vosku.

3.4.5. Materiály tenkých optických vrstev

Jsou uvedeny materiály, které používáme k vytváření tenkých vrstev (zrcadlové, polopropustné a antireflexní vrstvy a neutrální filtry) a materiály, používané k ochrannému pokrytí některých zrcadlových vrstev.

Stříbrné vrstvy mají maximální součinitel odrazu ρ , který dosahuje až 97%; v ultrafialové části spektra však součinitel odrazu prudce klesá. Tyto vrstvy nejsou mechanicky pevné a nejsou ani chemicky stálé (i v normálních atmosférických podmínkách rychle pozbyvají lesku a jejich součinitel odrazu se snižuje). Proto se často nanáší na zadní stranu skla (zrcadla) a vrstva se pokrývá ochrannou vrstvou mědi. Ochrana stříbrné vrstvy, která tvoří přední odraznou plochu, se provádí vrstvičkou bezbarvého laku, nebo přitmelením průhledné skleněné planoparalelní destičky.

Hliníkové zrcadlové vrstvy mají součinitel odrazu ρ poněkud menší, než vrstvy stříbrné, zachovávají však jeho hodnotu nejen pro viditelnou, ale i pro ultrafialovou část spektra. Kromě toho mají tyto vrstvy také lepší vlastnosti v provozu: mají značnou chemickou a tepelnou stálost, když se mechanickou pevností rovnají vrstvám stříbrným.

Chromové a niklové vrstvy velmi dobře ulpívají na povrchu skla a velmi dobře absorbují vrstvy hliníku a stříbra. Používá se jich proto jako podkladových vrstev nebo odrazných vrstev, které mají být velmi pevné při poměrně nevysokém součiniteli odrazu (mají totiž součinitel odrazu dosti malý: $\rho = 50$ až 60%).

Platinové, paladiové a rhodiové vrstvy mají součinitel odrazu ρ 65 až 80%. Vrstvy paladia a rhodia nanášené galvanicky mají dobrou mechanickou pevnost, tepelnou i chemickou stálost. Nanášíme je na přední odraznou plochu skla.

Tenká vrstva kysličníku křemičitého je používána jako vrstva antireflexní buď samostatně, nebo spolu s vrstvami, vytvořenými z jiných

¹⁾ Podle předpisů Zeissových závodů v Jeně, NDR.

materiálů (např. z kysličníku titaničitého). Index lomu vrstvy kysličníku křemičitého $n_D = 1,44$; vrstva má dobrou pevnost, tepelnou i chemickou stálost.

Tenké vrstvy fluoridů lehkých kovů (např. NaF, LiF, CaF, MgF) a kryolitu ($3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$) snižují součinitel odrazu mnohem více, než vrstvy kysličníku křemičitého (např. až na 0,4%), avšak jsou mechanicky méně pevné (proto je možné je používat jen u optických prvků, které jsou umístěny uvnitř optických systémů nebo přístrojů). Kryolit má nedostatečnou odolnost proti vlhkosti a vrstva se při orosení povrchu rozrušuje.

Vrstvy sirníku zinečnatého zvyšují součinitel odrazu maximálně až na 33%. Používáme je též jako vrstvy polopropustné a vrstvy ochranné, chránící zrcadlové vrstvy odrazné před mechanickým poškozením.

Vrstvy sirníku antimonitého používáme jako vrstvy polopropustné, až do hodnoty poměru světla odraženého k procházejícímu 5:4. Podstatný jejich nedostatek je v tom, že zabarvují obraz do žluta.

Změdí vytváříme ochranné vrstvy zrcadlových ploch; protože nechrání zrcadlovou plochu vždy zcela dostatečně, je nutné ještě dodatečné pokrytí bakelitovým lakem. Bakelitový lak a vinilit¹⁾ se používají jako ochranné vrstvy zrcadel se zadním odrazem. Nanáší se štětečkem nebo rozprašováním.

3.4.6. Čisticí a otírací látky a materiály

Čisticí látky (tzv. rozpustidla), používané k promývání - hlavně v optickém průmyslu - nesmějí při použití napadat povrch skleněných optických součástí, pokovených, případně kovových součástí, nesmějí zanechávat skvrny, nesmějí působit škodlivě na zdraví pracovníků; pokud možno mají být spolehlivé i z hlediska požární bezpečnosti. Kapaliny k promývání rozdělujeme na dvě skupiny: vodní roztoky luhů a rozpustidla organická.

Vodní roztoky: Roztok hydroxydu sodného (NaOH), nebo roztok hydroxydu draselného (KOH) v destilované vodě; roztok uličitanu sodného (Na_2CO_3), nebo uhličitanu draselného (K_2CO_3); půlprocentní roztok mýdla; 10% roztoky kyselin, např. kyseliny octové, solné, nebo sírové. (Roztoky kyselin používáme k neutralizaci luhů.)

Organická rozpustidla: Čisticí materiály tohoto druhu dobře odstraňují s povrchu skla organické látky - tuky, laky, zbytky smůly a různé jiné nečistoty. Typické vlastnosti organických rozpustidel jsou: nízký bod varu (35 až 70 °C) a v důsledku toho velká volatilita při teplotě místnosti (rychlé vypařování nesmí být ovšem zase tak velká, aby neznemožňovala práci); malá specifická hmotnost (0,69 až 0,88 g.cm⁻³); nízká teplota tuhnutí (např. u alkoholu -114 °C); značná pohyblivost v důsledku malého povrchového napětí; látky jsou bezbarvé, ostrého charakteristického zápachu. V rozpustidlech se nesmějí nacházet tvrdé částice. Všechna rozpustidla, jakožto materiály poměrně drahé, je nutno používat velmi hospodárně, podle stanovených norem. Protože jsou velmi lehké a vznětlivé (zvláště ether), je nutno je uchovávat v hermeticky uzavřených nádobách, na zvláštních místech k tomu vyhrazených a dbát pravidel požární bezpečnosti. Rozlišujeme tři třídy hořlavin: 1. třída - ether, aceton (vypařují se při 21 °C). 2. třída - lín a petrolej (vypařují se při 21 až 65 °C). 3. třída - olej

¹⁾ Polyvinylchloridová pryskyřice; polyvinylchlorid je plastická hmota - PVC - vznikající polymerizací vinylchloridu; bílý, termoplastický prášek, chemicky inertní.

Materiál	Měrná hmot- nost $g \cdot cm^{-3}$	Modul pružnosti		Pevnost v tahu MPa	Tvrdost podle Brinella	Součinitel teplotní rotačnosti $\alpha \cdot 10^6$	Teplota tavení $^{\circ}C$	Relativní vodivost (měřeno při 1)	
		v tahu E MPa	v krutu G MPa					elektrická	tepelná
Kovy	Měď	$(1,2 \div 1,28) \cdot 10^5$	$(4,2 \div 4,9) \cdot 10^4$	220-240	48 ÷ 52	16,3	1083	1	1
	Nikl	$2,15 \cdot 10^5$	$(7,5 \div 8) \cdot 10^4$	300-450	80 ÷ 125	12,5	1455	0,25	0,24
	Chrom				110 ÷ 130	8,0	1830		0,18
	Zinek	$1,015 \cdot 10^5$	$4,05 \cdot 10^4$	120	31 ÷ 45	27,0	419,4		0,29
	Cín	$4,15 \cdot 10^4$		20 ÷ 25	4 ÷ 5	23,0	231,8		0,17
	Olovo	$1,8 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$	14	3 ÷ 4	28,7	327,4	0,01	0,09
	Hliník	$7,4 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$	50	15	23,0	660	0,6	0,6
	Hořčík	$4,2 \cdot 10^4$		170	26	26,0	650	0,35	0,4
	Zlato	$8,1 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$	110	18,5	14,4	1063	0,7	0,8
	Stříbro	$7,2 \cdot 10^4$		180	27 ÷ 30	19,1	960,5	1	1,1
	Platina	$1,7 \cdot 10^5$		120	40	8,9	3370	0,18	0,2
	Wolfram	až $4,10^5$	$1,7 \cdot 10^5$	800-1800	7	4,45	271,3	0,3	0,4
	Vismut			700-800	150	13,3	2620	0,0015	0,02
	Molybden	$3,5 \cdot 10^5$		260	124 ÷ 130	5,3	1495	0,3	0,35
	Kobalt	$2,1 \cdot 10^5$				12,3	-38,8	0,002	0,025
	Rtuť					10,41			
Ostatní materiály	Uhlíková ocel	$2,1 \cdot 10^5$	$8,2 \cdot 10^4$			11,5		$0,12 \div 0,18$	$0,1 \div 0,2$
	Litina	$(6,5 \div 10) \cdot 10^4$	až $4 \cdot 10^4$			8 ÷ 10			0,13
	Invar	$1,45 \cdot 10^5$				$0,9 \div 2,5$			0,04
	Mosaz	až $1 \cdot 10^5$	$(3,5 \div 4,5) \cdot 10^4$	400-450	90 ÷ 105	18,5		$0,20 \div 0,25$	0,25
	Bronz	$1,05 \cdot 10^5$	až $4,2 \cdot 10^4$	250-400	80 ÷ 150	17,5		až 0,4	
	Sklo (vlákna)	$(4 \div 8) \cdot 10^4$	$(2 \div 3) \cdot 10^4$			9		- Izolant -	0,003
	Křemenina (vlákna)	$(4,9 \div 12) \cdot 10^4$	$(2, \div 7) \cdot 10^4$			0,4			0,004
	Pertinax	až $2 \cdot 10^4$							
	Mikarta	až $1,5 \cdot 10^4$							
	Dřevo (smrkové)	$(0,9 \div 1,6) \cdot 10^4$				15 ÷ 30			0,001
	Překlička letec.	asi $1,5 \cdot 10^4$				3,5 ÷ 5			

- mazací oleje (vypařují se při 65 až 125 $^{\circ}C$).

Rozpustidla, která se nejvíce používají k čištění v optickém průmyslu, jsou: E t h y l a l k o h o l (rektifikovaný) - rozpouští kalafunu, šelak, asfalt, mýdlo; slabší minerální oleje a živočišné tuky. E t h y l e t h e r - rozpouští tuky (živočišné, rostlinné, nejlépe minerální), kalafunu, parafin a některé smoly. P e t r o l e t h e r - rozpouští tuky (živočišné, rostlinné i minerální), kalafunu, parafin a některé smoly. B e n z e n - rozpouští vosk a kamenuhelnou smolu. A c e t o n - rozpouští kalafunu. B e n z i n - rozpouští smolu, vosk a parafin. T e r p e n t ý n - rozpouští vosk a parafin. Kromě uvedených rozpustidel se používá dále a m y l a c e t á t, t o l u o l, t e t r a c h l o r i d u h l í k u aj. Používají se též s m ě s i rozpustidel: směs petroletheru (85 až 90%) s rektifikovaným ethylalkoholem (15 až 10%); nebo směs ethylalkoholu (85 až 75%) s ethyletherem (15 až 25%).

O t í r a c í l á t k y a m a t e r i á l y: Po pročištění a promytí optických součástí v kapalinách je nutno součásti otřít tkaninami; k odstranění prachu se používají jemné a měkké štětečky. Hotové leštěné součásti se promývají a čistí pomocí vaty a do vaty se též ukládají. Stírací t k a n i n y nesmějí poškrabat a znečišťovat leštěné povrchy; tkaniny mají mít minimální množství chloupků: používá se batist a bílý flanel.

x x x

V tab. 6 jsou uvedeny hodnoty některých fyzikálních veličin nejdůležitějších materiálů, používaných v přesné mechanice.

Literatura:

- [1] M. Hajn, Základy jemné mechaniky a hodinářství. Vydavatelství Práce, Praha, 1953.
- [2] M. Hajn, Přehled přesné mechaniky. Vydavatelství Práce, Praha, 1956.
- [3] M. Hajn, Přehled přesné mechaniky. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1969.
- [4] J. Kamarád, J. Otáhal, J. Podzimek, V. Šulc, Základní kvalifikační učebnice přesné mechaniky a optiky. Vydavatelství Práce, Praha, 1974.
- [5] J. Kamarád, Materiály pro přesnou mechaniku a optiku. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1971.
- [6] V. Jareš, Metalografie neželezných kovů. I. vydání. Vědecko-technické nakladatelství, Praha, 1950.
- [7] G. V. Raynor, The Equilibrium Diagram of the System Copper - Zinc. Institute of Metals, London, 1946.
- [8] J. Kamarád, Technické tabulky pro výpočty a konstrukci přístrojů přesné mechaniky a optiky - díl II. (2. opravené vydání). Vydavatelství ČVUT, Praha, 1976.
- [9] J. Kamarád, Technické tabulky pro výpočty a konstrukci přístrojů přesné mechaniky a optiky - díl I. (2. opravené vydání). Vydavatelství ČVUT, Praha, 1976.
- [10] J. Kamarád, Metody vyhodnocování výsledků kontroly brusiva používaného v optické výrobě (I. až V. část). Jemná mechanika a optika, č. 1, 2, 5, 6 a 10, roč. XXVI - 1981.

4. POŽADAVKY KLADENÉ NA PŘÍSTROJE

Projektant a konstruktér přístrojů všeho druhu (signalizačních, ovládacích, měřicích, pozorovacích, záznamových, zapisovacích apod.) musí podrobně znát, čeho může navrhovaný přístroj nebo zařízení dosáhnout: rovněž tak musí vědět uživatel, co od vyrobeného přístroje může žádat a jakým způsobem má využívat jeho činnost. Vzhledem ke stupňovaným požadavkům na výrobky přesné mechaniky a přístrojové techniky, vzhledem k požadavkům na výsledky činnosti těchto přístrojů (zvláště na výsledky měření všeho druhu), je zacházení s přístroji přesné mechaniky stále náročnější a tudíž mnohdy i složitější.

Činnost přístrojů je ovlivňována pracovními podmínkami, jako je např. teplota prostředí, jeho tlak, vlhkost, prašnost, působení chemických činitelů apod. Výsledek činnosti každého přístroje záleží na vlastnostech použitého přístroje a na pracovních podmínkách, za nichž přístroj pracuje. Z toho pak plynou požadavky, kterým musí přístroj vyhovovat [1].

Požadavky, kladené na přístroje všeho druhu, vycházejí především z nároků, kladených na vlastnosti (často i speciální) používaných konstrukčních materiálů, tak jak byly formulovány v předchozí kapitole (3.1). Dále vycházejí z účelu a určení daného přístroje: nejjednodušší uspořádání mají přístroje signalizační, náročnější již jsou přístroje ovládací, složitější činnost vykonávají přístroje řídicí; měřicí přístroje musí zase splňovat všechny zásady měření atp.

Kvalita přístroje je soubor vlastností a znaků, určujících a zajišťujících jeho použitelnost pro požadovaný úkol za stanovených podmínek. Kvalitativním znakem přístroje je každá jeho vlastnost, která může mít vliv na jeho použití pro požadovaný účel. Nejdůležitější kvalitativní znaky přístrojů jsou tyto [1], [2]:

1. funkční způsobilost, která má další čtyři dílčí charakteristické vlastnosti:
 - a) citlivost,
 - b) přesnost,
 - c) spolehlivost,
 - d) životnost;
2. statické a dynamické vlastnosti, kam zahrnujeme:
 - a) statické chování (statická charakteristika),
 - b) linearita statické charakteristiky,
 - c) dynamické chování (dynamická charakteristika),
 - d) dlouhodobá časová stabilita charakteristik,
 - e) vliv teploty na statickou charakteristiku,
 - f) hysterezní jevy,
 - g) stabilita nuly (drift),
 - h) schopnost krátkodobého a dlouhodobého přetížení;
3. odolnost proti otřesům, vibracím, setrvačným silám a jiným mechanickým vlivům;
4. odolnost proti škodlivým účinkům prostředí (změny teploty, vlhkost, prašnost, chemické vlivy, záření aj.);
5. snadná montáž a demontáž (např. při instalaci, nebo výměně či opravě přístroje);
6. jednoduché seřízení na místě, kde je přístroj umístěn (rektifikace, justáž);

7. jednoduchost a snadnost čtení údaje přístroje;
8. jednoduché a snadné ošetření a údržba;
9. malá hmotnost a malý objem;
10. velikost a tvar upevňovací příruby, přístrojového pouzdra, krytu;
11. vhodná povrchová úprava;
12. bezhlučná činnost;
13. ohled na bezpečnost a ochranu zdraví při práci;
14. estetický vzhled;
15. přiměřená cena (hledisko ekonomické).

Vedle těchto uvedených kvalitativních znaků, které jsou obecné, je kvalita některých přístrojů charakterizována často ještě dalšími, někdy i specifickými znaky, které jsou zdůvodněny např. neobvyklými pracovními podmínkami a zvláštním charakterem prostředí, v němž tyto přístroje pracují.

4.1. FUNKČNÍ ZPŮSOBILOST

Hlavním požadavkem, který na přístroje klademe, je **funkční způsobilost** [1]. To znamená, že přístroj má být schopen za stanovených pracovních podmínek vykonávat v přípustných mezích činnost, ke které je určen. Vhodnost volby přístroje k danému účelu je nutno též posuzovat ještě podle toho, jak vyhovuje dalším požadavkům provozu, které souvisí úzce s jeho funkční způsobilostí. Tak např. na provozní přístroje stacionárních technických zařízení budou jistě kladeny jiné požadavky, než na palubní přístroje dopravních prostředků, nebo na laboratorní přístroje, používané ve výzkumu; jiné požadavky budou kladeny na přístroje pro dílenská měření, než na přístroje pro nejpřesnější fyzikální měření a pod., i když požadavek funkční způsobilosti bude u všech stejný.

4.1.1. Citlivost přístroje

Citlivost přístroje [1] je jednou ze čtyř dílčích charakteristických vlastností: je to schopnost přístroje reagovat na požadovanou změnu měřené veličiny; je to poměr změny údaje přístroje ku změně měřené veličiny, která sledovanou změnu údaje způsobila při určité hodnotě měřené veličiny. Pro citlivost platí kvantitativní vztah, tj. číselný parametr, který je mírou této vlastnosti:

$$C = \frac{\Delta \alpha}{\Delta A}, \quad (1)$$

kde C je citlivost měřicího přístroje;

α je údaj přístroje (např. hodnota zjištěná na stupnici) ve zvolených fyzikálních jednotkách - výstupní veličina;

A je měřená veličina - vstupní veličina.

Je-li změna hodnoty měřené veličiny tak malá, že se bez omezení blíží nule, pak vztah pro citlivost dostává tvar

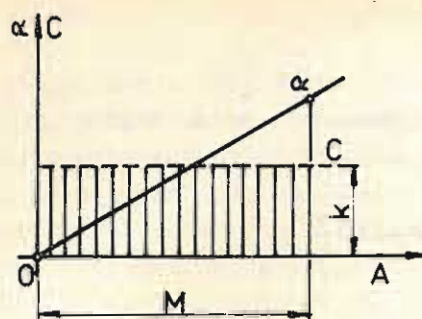
$$C = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta A} = \frac{d\alpha}{dA}. \quad (2)$$

Zavedení dalšího pojmu, kterým je **charakteristika přístroje**, vyjádřená obecným vztahem

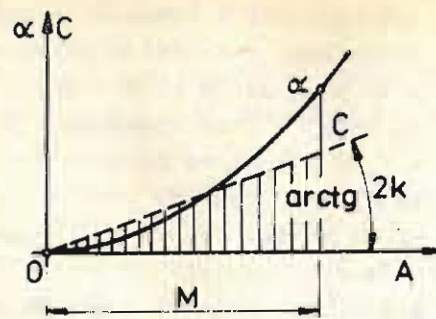
$$\alpha = F(A), \quad (3)$$

která umožňuje pro citlivost stanovit s ohledem na rov. (2) vztah ve tvaru

$$C = \frac{d\alpha}{dA} = \frac{dF(A)}{dA} = F'(A). \quad (4)$$



Obr. 4.1.



Obr. 4.2.

Převrácená hodnota citlivosti C je nazývána konstantou přístroje:

$$\frac{1}{C} = \frac{dA}{d\alpha} = K. \quad (5)$$

Ze vztahu (5) pro charakteristiku přístroje a s ohledem na rovnice (2) a (4) můžeme výpočtem stanovit průběh citlivosti. Uvedeme několik případů charakteristiky přístroje - lineární i nelineární - z nichž je názorně patrné, jaká je citlivost daného přístroje.

1. Pro přístroj s lineární charakteristikou, zobrazenou na obr. 4.1 přímkou, jejíž rovnice je

$$\alpha = k \cdot A,$$

dostáváme citlivost

$$C = \frac{d\alpha}{dA} = k$$

konstantní, a to v celém rozsahu M měřené veličiny A .

2. Pro přístroj s kvadratickou charakteristikou, znázorněnou na obr. 4.2 kvadratickou parabolou, jejíž rovnice je

$$\alpha = k \cdot A^2,$$

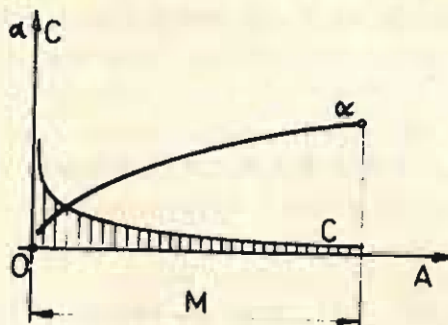
dostáváme citlivost

$$C = \frac{d\alpha}{dA} = 2kA$$

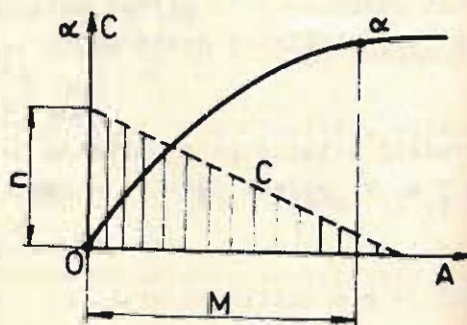
lineárně vzrůstající s měřenou veličinou A .

3. Pro přístroj se zvolenou charakteristikou podle obr. 4.3, danou závislostí

$$\alpha = m \cdot \sqrt{A},$$



Obr. 4.3.



Obr. 4.4.

má citlivost

$$C = \frac{d\alpha}{dA} = \frac{m}{2\sqrt{A}}$$

hyperbolický průběh a klesá s rostoucí hodnotou měřené veličiny A .

4. Pro přístroj s charakteristikou podle obr. 4.4, která je dána závislostí lineární a kvadratickou podle rovnice

$$\alpha = n \cdot A - 2r \cdot A^2,$$

dostáváme citlivost

$$C = \frac{d\alpha}{dA} = n - 4r \cdot A$$

lineárně klesající s rostoucí hodnotou měřené veličiny A .

U měřicích přístrojů vždy vítáme citlivost C konstantní v celém rozsahu M měřené veličiny A . Klesající citlivost (obr. 4.3 a 4.4) je vždy nepříznivou vlastností přístroje. I když podle charakteristiky z obr. 4.2 citlivost lineárně vzrůstá, je kolem nuly malá a nulová pro nulovou hodnotu měřené veličiny A .

4.1.2. Přesnost přístroje

Přesnost přístroje [1] je druhou ze čtyř dílčích - a základních - charakteristických vlastností: je to schopnost přístroje ukazovat - indikovat - hodnotu měřené veličiny v mezích přípustných chyb. Přesnost se tedy popisuje číselnou hodnotou, kterou je chyba, neboli odchylka měřicího přístroje: je to rozdíl mezi ukazovanou (indikovanou) hodnotou výstupní veličiny (údajem přístroje) a pravou hodnotou vstupní (měřené) veličiny, podle vztahu

$$E = \Delta\alpha = \alpha_i - \alpha, \quad (6)$$

nebo podle vztahu

$$E = \Delta A = A_i - A,$$

Kde E je chyba přesnosti přístroje;

α_i je údaj přístroje;

α je pravá hodnota vstupní (měřené) veličiny;

A_i je hodnota výstupní veličiny;

A je pravá hodnota (konvenční) vstupní veličiny;

ΔA je chyba přesnosti, odpovídající hodnotě $\Delta\alpha$ (vyjadřuje se číselně v jednotkách měřené veličiny).

Chybu přesnosti přístroje můžeme vyjádřit také jako poměrnou veličinu - relativní chybu přesnosti - vztaženou buď k hodnotě měřené veličiny A

$$E_{RA} = \frac{\Delta A}{A},$$

nebo k hodnotě celého měřicího rozsahu M přístroje

$$E_{RM} = \frac{\Delta A}{M};$$

může být také vyjádřena v procentech:

$$E_{RA} = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100,$$

$$E_{RM} = \frac{\Delta A}{M} \cdot 100.$$

Chyba přesnosti přístroje má dvě složky; z tohoto hlediska pro ni platí:

$$E = e \pm \varepsilon, \quad (7)$$

kde e je chyba systematická, neboli soustavná (chyba správnosti);
 ε je chyba náhodná (chyba stálosti).

S y s t e m a t i c k é c h y b y jsou způsobeny poznatelnými změnami, vlivy a zdroji chyb v průběhu měření, mají určitou velikost a smysl. Dají se popsat např. fyzikálním vztahem, který lze někdy vyjádřit graficky; dají se proto vyloučit korekcí, např. podle tabulky oprav této chyby. Systematické chyby jsou způsobeny např. linearizací charakteristiky přístroje, která se poněkud liší od charakteristiky lineární (obr. 4.5).

N á h o d n é c h y b y jsou způsobeny různými příčinami, které se nedají přesně zjistit a proto tyto chyby nelze vyjádřit žádným fyzikálním zákonem, nebo matematickým vztahem. Přitom však předpokládáme normální rozdělení pravděpodobnosti náhodné chyby podle Gaussova vztahu

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

kde $f(\varepsilon)$ je hustota pravděpodobnosti (četnost) náhodné chyby;

ε je náhodná chyba;

σ je směrodatná odchylka.

Obecně můžeme vyjádřit vztah mezi měřenou veličinou \bar{A} (tj. její skutečnou, prakticky nedosažitelnou hodnotou) a odečítanou hodnotou A_i měřené veličiny:

$$A_i = F(\bar{A}, q_1, q_2, \dots, q_n), \quad (9)$$

kde q_1, q_2, \dots, q_n jsou další parametry ovlivňující výslednou přesnost měření; tyto parametry mají buď systematický nebo náhodný charakter.

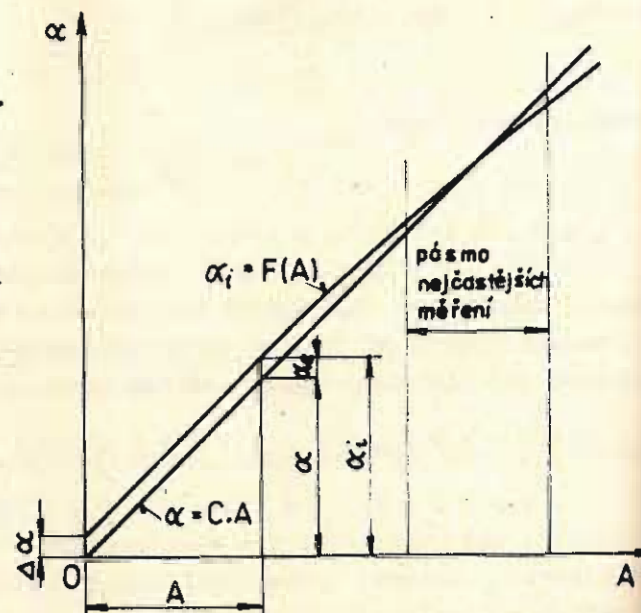
Předpokládáme-li normální rozložení pravděpodobnosti výskytu náhodných chyb podle rov. (8), pak celková chyba přístroje je dána vztahem podle rov. (7):

$$E = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\partial |F|}{\partial q_i} \cdot e_i \pm \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \left[\frac{\partial |F|}{\partial q_i} \right]^2 \cdot \varepsilon_i^2}, \quad (10)$$

kde e_i jsou systematické chyby, vyvolané veličinami q_1, q_2, \dots, q_n ;

ε_i jsou náhodné chyby, vyvolané veličinami q_1, q_2, \dots, q_n .

Vztah (10) se ve složitějších případech nedá přesně vyčíslit; proto je zapotřebí již při návrhu konstrukce, při vlastní konstrukci, při volbě měřicí metody i při výrobě přístroje redukovat výše uvedené chyby, jejich příčiny a zdroje i vlivy na minimální míru.



Obr. 4.5.

4.1.2.1. Zdroje a příčiny chyb přístrojů

Zdroje a příčiny, které mají vliv na přesnost přístrojů při jejich použití (např. při měření) jsou tyto [1], [3], [4]:

1. Konstrukční a výrobní nedokonalosti daného přístroje nebo zařízení, což jsou zdroje mechanických chyb.

2. Vliv nedokonalosti měřicích metod, resp. nesprávná volba měřicí metody.

3. Vliv prostředí, ve kterém přístroj pracuje (např. teplota okolí, tlak vzduchu, jeho vlhkost - tj. atmosférické změny a jejich vliv - apod.).

4. Vliv obsluhy přístroje - osoby pozorovatele údajů přístroje (např. momentální osobní dispozice, pozornost, cvik a praxe v odhadování zlomků dílku apod.).

KONSTRUKČNÍ A VÝROBNÍ NEDOKONALOSTI daného přístroje nebo zařízení. Systematické chyby vznikají již při výrobě přístroje např. odchylkou rozměrů pohyblivých prvků přístrojového mechanismu od jmenovité hodnoty. Jindy to může být použití kvazikonstantního převodu v mechanismu přístroje místo zcela konstantního; srovnání funkce sinusového nebo tangentového převodu a vznik chyb je naznačeno na obr. 4.6 a 4.7 [1]. Pro sinusový převod platí vztah

$$w = a \cdot \sin \alpha, \quad i = \frac{d\alpha}{dw} = \frac{1}{a \cdot \cos \alpha}, \quad (11)$$

kde w je dráha hnacího členu (vstupní veličina) převodu;

i je převod, jímž se zmenšuje nebo zvětšuje rychlost, s jakou se mění hodnota vstupní veličiny převodu na jeho veličinu výstupní;

a je poloměr páky (hnaného) prvku;

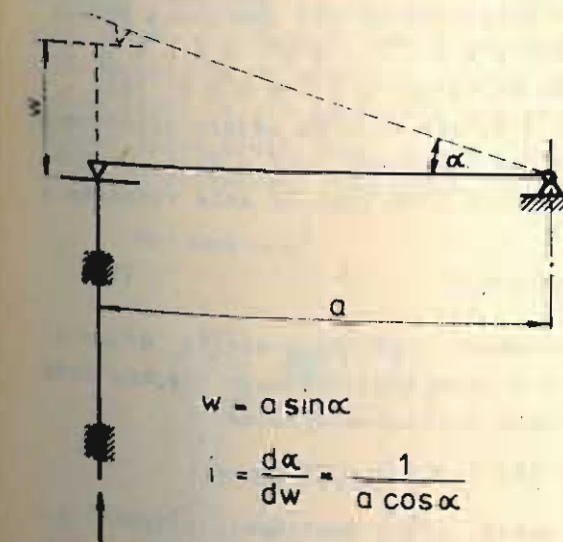
α je úhel pootočení páky.

Pro tangentový převod platí vztah

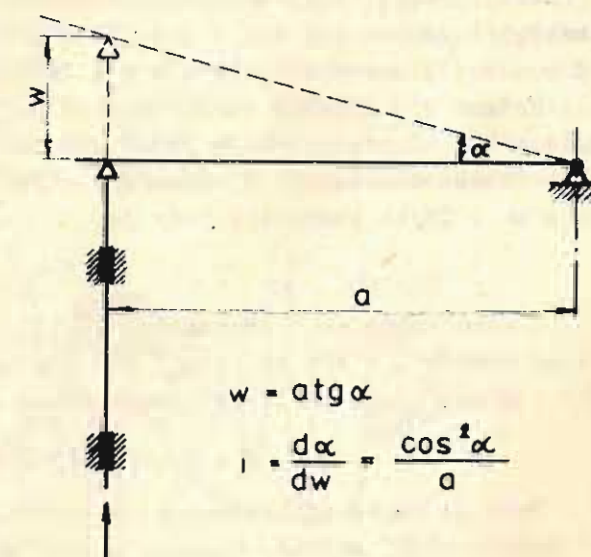
$$w = a \cdot \tan \alpha, \quad i = \frac{d\alpha}{dw} = \frac{\cos^2 \alpha}{a}, \quad (12)$$

kde a je vzdálenost osy otáčení hnaného prvku od osy jeho poháněcího prvku.

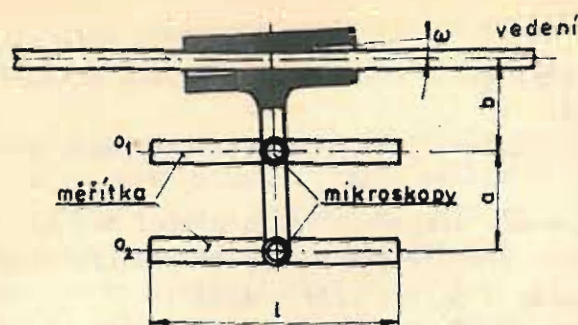
Oba převody lze pokládat za přibližně konstantní jen tehdy, pokud se hodnota $\cos \alpha$ liší jen nepatrně od jedné.



Obr. 4.6.



Obr. 4.7.



Obr. 4.8.

Dalšími příčinami, které způsobují chyby přístrojů, jsou např. pasivní odpory, tření, mrtvý chod, vůle v uložení a v mechanismu přístroje, hysteretní jevy některých jeho částí (obvykle měřicích), malá tuhost některých součástí, časové nebo tepelné změny některých vlastností materiálu apod. Souhrnně můžeme tyto příčiny označit za zdroje mechanických chyb. Často již při návrhu přístroje, stroje nebo zařízení přesné mechaniky raději počítáme s nepřesností a konstrukci volíme tak, aby vliv této nepřesnosti byl zanedbatelný [3]. Na příkladu nepřesností přímého vedení stroje uvedeme možnosti a srovnání dvou různých řešení:

Řešení 1.: Na obr. 4.8 je schematicky znázorněno zařízení (komparátor), jehož základem je přímé vedení a slouží k vzájemnému srovnávání - komparaci - dvou měřítka. Na každé měřítce je zaměřen odečítací mikroskop; oba mikroskopy jsou na společném nosníku (saních). Zešikmením saní v důsledku nepřesnosti (vůle) mezi vedením a otvorem saní o malý úhel ω se změní údaj odčítaný horním mikroskopem o $a \cdot \omega$ a údaj odčítaný dolním mikroskopem o $(a + b) \cdot \omega$; tím vzniká chyba komparace

$$e = (a + b) \cdot \omega - a \cdot \omega = b \cdot \omega. \quad (13)$$

Z konstrukčních a rozměrových důvodů budou mikroskopy minimálně ve vzdálenosti $b = 50 \text{ mm}$ ($5 \cdot 10^4 \mu\text{m}$); předpokládejme zešikmení $\omega = 1'$ ($\text{arc } 1' = 2,91 \cdot 10^{-4}$). Chyba komparace tedy je

$$e = b \cdot \text{arc } \omega = 5 \cdot 10^4 \cdot 2,91 \cdot 10^{-4} = 14,5 \mu\text{m} = 0,0145 \text{ mm}.$$

Tato chyba je tedy značná, když uvážíme, že komparace má být prováděna řádově v mezích $1 \mu\text{m}$. Chyba je značná proto, že úhel ω je zde v první mocnině; vzniklá chyba je prvního řádu.

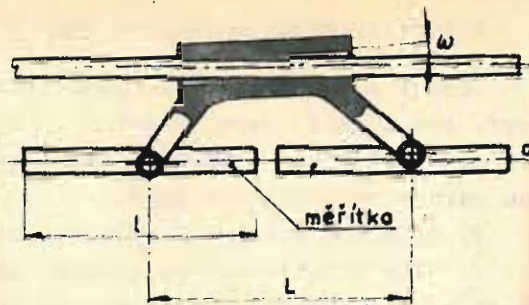
Řešení 2.: Podobný komparátor je na obr. 4.9, ale měřítka nejsou uspořádána vedle sebe, ale za sebou, v jedné ose označené o . Zešikmením saní o úhel ω způsobí, že oba odečítací mikroskopy místo o délku L jsou nyní od sebe vzdáleny o $L \cdot \cos \omega$. Chyba komparace tedy je

$$e = L (1 - \cos \omega). \quad (14)$$

Z konstrukčních a provozních důvodů (srovnáváme měřítka o určité délce l volíme rozměr $L = 400 \text{ mm}$ ($4 \cdot 10^5 \mu\text{m}$). Zešikmení volíme pro srovnání stejné, tedy opět $\omega = 1'$ ($\cos 1' = 0,999\,999\,957$). Po dosazení dostaneme výsledek

$$e = 4 \cdot 10^5 (1 - 0,999\,999\,957) = 0,017 \mu\text{m}.$$

Toto je chyba zanedbatelná (o tři řády menší, než v předchozím případě) i pro nejpresnější měření. Kosinus malého úhlu ω můžeme dostatečně přesně vyjádřit

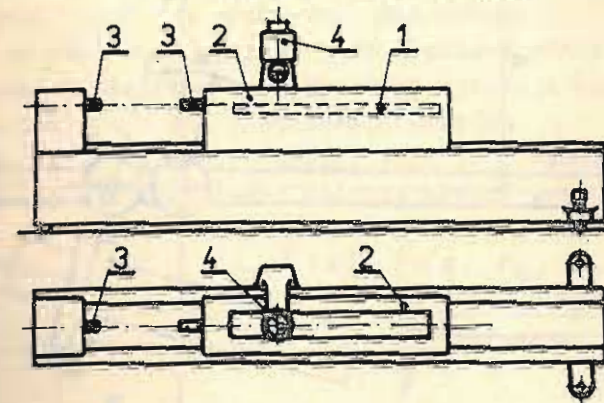


Obr. 4.9.

žit prvními dvěma členy mocninové řady. Potom rov. (14) bude mít tvar

$$e = L \left[1 - \left(1 - \frac{\omega^2}{2} \right) \right] = L \frac{\omega^2}{2}. \quad (15)$$

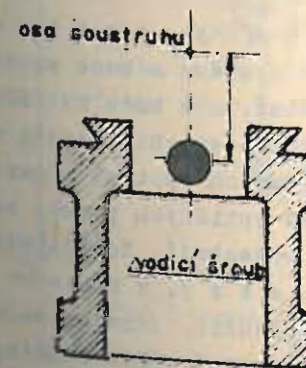
Chyba je zanedbatelná proto, že úhel ω je zde ve druhé mocnině; vzniklá chyba je druhého řádu.



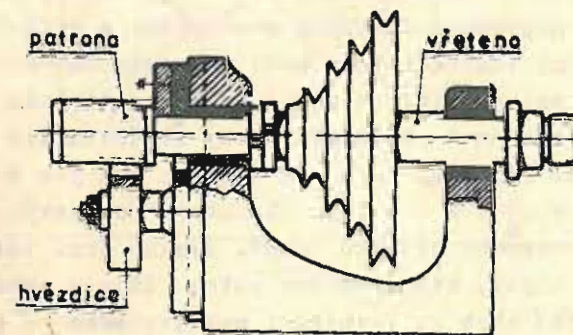
Obr. 4.10.

Popsaná zásada pro správnou volbu konstrukčního uspořádání se nazývá Abbéův princip, při němž je nutno splnit požadavek, aby měřítka ležela v ose měření. Správná a dnes obvyklá konstrukce délkového měřicího stroje, respektující Abbéův princip, je na obr. 4.10: přesné měřítka 1, opatřená krycím sklem, je uloženo v posuvných saních 2, přesně v ose dvou tykadel 3, mezi něž se vkládá měřený předmět; odečítací mikroskop 4 je spojen s ložem stroje. Jednoduchá forma Abbéova tloušťkoměru je znázorněna na obr. 4.11: svisle posuvné tykadlo 1 doléhá vlastní vahou na měřený předmět 2; ve výřezu tykadla - tedy opět v ose měření - je umístěno skleněné měřítka 3, z něhož se naměřená hodnota odečítá malým stupnicovým mikroskopem 4. Abbéovu principu dobře vyhovuje obvyklý šroubový mikrometr, nevyhovuje mu však známé posuvné měřítka.

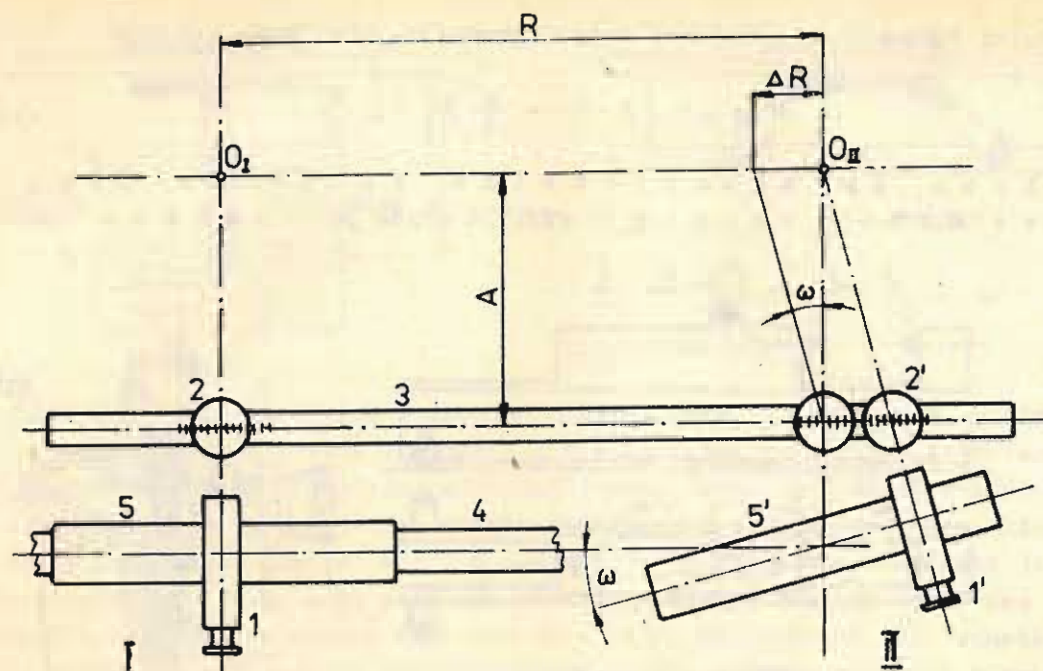
Abbéův princip lze aplikovat také při výrobě součástí, na něž jsou kladeny zvláštní požadavky na přesnost. Uvedeme příklady řezání závitů: Abbéův princip není splněn při řezání závitů na obvyklém soustruhu, neboť osa obrobku (výroběného šroubu) je od vodícího šroubu vzdálena téměř o dvojnásobnou výšku hrotů; mnohem lepší je již speciální soustruh na řezání vodících šroubů, kde stačí zcela malá výška hrotů (obr. 4.12). Dokonale je Abbéův princip splněn při řezání závitů na patronovém soustruhu, jehož schema je na obr. 4.13: vřeteno koná nejen



Obr. 4.12.



Obr. 4.13.



Obr. 4.14.

rotační pohyb, ale i pohyb axiální - tedy výsledný pohyb šroubový - spolupůsobením závitové patrony, nasazené na jeho zadním konci a hvězdice; nůž upnutý v suportu je pevný, nepohyblivý a přímo kopíruje závit patrony; je to v principu nejdokonalejší šroubořezné zařízení. Abbéův princip je zde splněn proto, že při kopírování obrobek (vyráběný šroub) leží v ose patrony (originál šroubu).

Další příklad [4] vlivu konstrukční a výrobní nedokonalosti přístroje na jeho chyby je uveden na obr. 4.14, kde je uveden přístroj na odměřování roztečí os O_I a O_{II} , kolmých k nákrese; přístroj je schematicky znázorněn v pozicích I a II. Zaměřovací optický systém je označen I a I', odečítací mikroskopy 2 a 2', přesné měřítko 3 a saně 5 a 5' zaměřovací optické soustavy. V pozici I je zaměřovací optika zacílená na svislou osu O_I . V pozici II v důsledku nepřesnosti (vůle) vedení jsou saně 5' pootočeny o úhel ω oproti původnímu směru I. Výslednou měřenou rozteč R obou os O_I a O_{II} určíme tudíž s chybou

$$\Delta R = A \cdot \tan \omega.$$

Je to chyba prvního řádu a proto je nutné ji udržovat v přijatelných mezích: např. pro hodnotu $A = 250$ mm a dovolenou maximální odchylku (chybu) měření $\Delta R_{\max} = \pm 0,02$ mm, je přípustný úhlový odklon $\omega = \pm 1'$. Naopak malý odklon měřítka 3 od přímého směru I má na výslednou přesnost pouze malý vliv, neboť chyba je pouze druhého řádu, tedy zanedbatelná.

U opticko-mechanických přístrojů se vyskytují chyby optické. V důsledku nepřesnosti výroby mechanické a optické části systému nebude zaměřování a odečítání (dalekohledem nebo mikroskopem) nikdy ideální, ale bude zatíženo chybami. Ve snaze snížit uvedené chyby na minimum je potřebné vyrobit nejen mechanické, ale hlavně optické prvky zaměřovacích a odečítacích systémů s maximální přesností. Odchylky geometrických rozměrů optických prvků, nebo nedostatek v jakosti leštěných optických ploch způsobují, že výsledný obraz zaměřovaného objektu (např. ryska) není ideálně ostrý, v důsledku čehož vznikají chyby, které nelze potom žádným způsobem vyloučit. Zdrojem podobných (optických) chyb je nevhodné, nedostatečné osvětlení pozorovaného (zaměřovaného) objektu: výsledný obraz není kontrastní, což bývá zdrojem

subjektivních chyb v důsledku únavy pozorovatele. Dále je nutná správná volba tvaru záměrného obrazce, který je vyryt, vyleptán nebo vytvořen fotografickou cestou na záměrné destičce optického systému. Na obr. 4.15 je znázorněna jednoduchá záměrná značka - dvě rysky - mezi nimiž je zobrazena zaměřovaná osa objektu; na obr. 4.16 nitkový kříž. Optické odečítání naměřených hodnot např. na měřítku pomocí odečítacího mikroskopu vyžaduje také vysokou rozlišovací schopnost optického systému.

VOĽBA MĚŘICÍ METODY. Měřicí přístroje často umožňují použití několika různých metod ke zjištění pravé hodnoty měřené veličiny. Obecně zjistíme pro danou funkci

$$F(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

její absolutní chybu ε_F jako totální diferenciál dané funkce:

$$\varepsilon_F = \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1} \right| \varepsilon_{x_1} + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_2} \right| \varepsilon_{x_2} + \dots + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} \right| \varepsilon_{x_n}, \quad (16)$$

kde ε_F je absolutní chyba hledané výsledné hodnoty dané funkce F ;

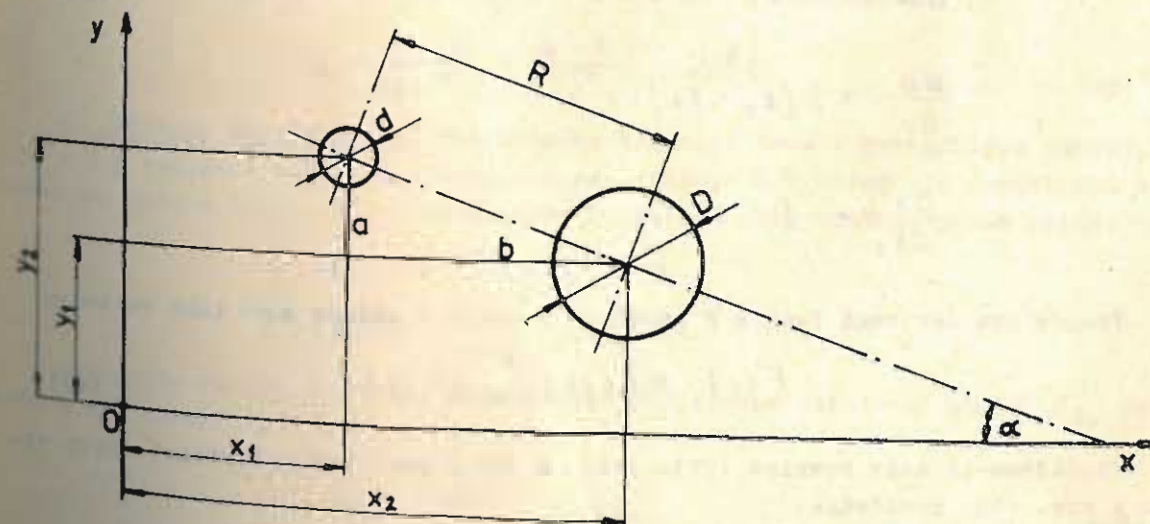
x_1, x_2, \dots, x_n jsou jednotlivé proměnné;

$\varepsilon_{x_1}, \varepsilon_{x_2}, \dots, \varepsilon_{x_n}$ jsou absolutní chyby měření jednotlivých proměnných (můžeme je zjistit např. přímou metodou).

Na příkladu měření přesné vzdálenosti (rozteče) středů dvou kružnic souřadnicovým způsobem ukážeme použití dvou metod, a to metody nepřímé a metody přímé, jejich vyhodnocení a srovnání přesnosti obou metod [4].

1. Aplikace metody nepřímé. Podle obr. 4.17 závisí velikost rozteče R středů dvou kružnic (vyjádřená v pravouhlých souřadnicích x a y) na změřených souřadnicích x_1, x_2 a y_1, y_2 podle vztahu

$$R^2 = a^2 + b^2$$



Obr. 4.17.

takto:

$$R = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = F(x) = f(x_1, x_2, y_1, y_2). \quad (17)$$

Absolutní chyba ε_R měřené hodnoty R se podle obecné rovnice (16) rovná

$$\varepsilon_R = \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, y_1, y_2)}{\partial x_1} \right| \varepsilon_{x_1} + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, y_1, y_2)}{\partial x_2} \right| \varepsilon_{x_2} + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, y_1, y_2)}{\partial y_1} \right| \varepsilon_{y_1} + \left| \frac{\partial f(x_1, x_2, y_1, y_2)}{\partial y_2} \right| \varepsilon_{y_2}. \quad (18)$$

Výpočet ε_R provedeme pro složenou funkci, již je

$$F(x) = [f(x)]^n = [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]^{\frac{1}{2}},$$

přičemž položíme

$$u = u(x) = [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]^{\frac{1}{2}},$$

$$v = v(x) = (x_2 - x_1)^2,$$

popř.

$$v = v(y) = (y_2 - y_1)^2,$$

takže derivace složené funkce F podle x_1 je

$$\frac{dF(u)}{dx_1} = \frac{dF}{du} \cdot \frac{du}{dv} \cdot \frac{dv}{dx_1}. \quad (19)$$

Vzorec (19) pro její derivaci je tedy složen z jednotlivých činitelů, kterých vzhledem k rov. (17) mají konkrétní podobu:

$$\frac{dF}{du} = \frac{1}{2} [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]^{-\frac{1}{2}} = n [f(x)]^{n-1}$$

$$\frac{du}{dv} = 2(x_2 - x_1),$$

$$\frac{dv}{dx_1} = -1.$$

Vzorec pro derivaci funkce F proměnné x podle x můžeme psát také ve tvaru

$$F'(x) = n [f(x)]^{n-1} \cdot f'(x). \quad (20)$$

Použijeme-li tedy rovnice (17), (18) a (20), pak pro jednotlivé části vrazu v rov. (18) dostáváme:

$$\frac{\partial \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\partial x_1} = \frac{x_1 - x_2}{F(x)}, \quad (21)$$

$$\frac{\partial \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\partial x_2} = \frac{x_2 - x_1}{F(x)}, \quad (22)$$

$$\frac{\partial \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\partial y_1} = \frac{y_1 - y_2}{F(x)}, \quad (23)$$

$$\frac{\partial \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\partial y_2} = \frac{y_2 - y_1}{F(x)}. \quad (24)$$

Výsledná absolutní chyba je s použitím rov. (21), (22), (23) a (24) rovna

$$\varepsilon_R = \frac{1}{F(x)} \left[|x_1 - x_2| \varepsilon_{x_1} + |x_2 - x_1| \varepsilon_{x_2} + |y_1 - y_2| \varepsilon_{y_1} + |y_2 - y_1| \varepsilon_{y_2} \right]. \quad (25)$$

Můžeme-li bezpečně předpokládat, že jednotlivá měření jednotlivých souřadnic x_1 , x_2 a y_1 , y_2 jsou prováděna se stejnou přesností, mají pak stejnou váhu a můžeme tedy stanovit, že absolutní chyby jednotlivých proměnných jsou si rovny:

$$\varepsilon_{x_1} = \varepsilon_{x_2} = \varepsilon_{y_1} = \varepsilon_{y_2} = \varepsilon. \quad (26)$$

Konečný vztah pro absolutní chybu ε_R rozteče R má potom tvar

$$\varepsilon_R = \frac{\varepsilon}{F(x)} \left[|x_1 - x_2| + |x_2 - x_1| + |y_1 - y_2| + |y_2 - y_1| \right]. \quad (27)$$

Konkretizujeme-li řešený příklad tak, že měření se bude konat v takové vzájemné poloze kružnic, kdy spojnice jejich středů svírá se souřadnou osou x úhel $\alpha = 45^\circ$, potom platí, že

$$|x_1 - x_2| = |x_2 - x_1| = |y_1 - y_2| = |y_2 - y_1| = x;$$

po dosazení do rov. (27) a spoužitím rov. (17) dostáváme hodnotu výsledné absolutní chyby ε_R rozteče R při měření n e p ř í m o u metodou:

$$\varepsilon_{Rn} = \frac{\varepsilon \cdot 4x}{\sqrt{2x^2}} = \frac{\varepsilon \cdot 4}{\sqrt{2}} = 2,8\varepsilon. \quad (28)$$

2. Aplikace metody přímé. Obě zmíněné kružnice jsou v pravouhlých souřadnicích x a y vzájemně uspořádány tak, že spojnice jejich středů je rovnoběžná se souřadnou osou x ($\alpha = 0^\circ$). Pro hodnotu rozteče R obou kružnic potom platí, že

$$|x_2 - x_1| = |x_1 - x_2| = x,$$

$$|y_2 - y_1| = |y_1 - y_2| = 0.$$

Dosazením do rov. (27) dostáváme hodnotu výsledné absolutní chyby ε_{Rp} rozteče R při měření p ř í m o u metodou:

$$\varepsilon_{Rp} = \frac{\varepsilon \cdot 2 \cdot x}{\sqrt{x^2}} = 2 \cdot \varepsilon. \quad (29)$$

Poměr přesnosti obou metod - na základě rov. (28) a (29) - je tedy

$$K_R = \frac{\varepsilon_{Rn}}{\varepsilon_{Rp}} = \frac{\frac{4}{\sqrt{2}} \varepsilon}{2 \varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{2}} = 1,4. \quad (30)$$

Z tohoto poměru vyplývá, že metoda přímá je přesnější.

3. Aplikace metody rozptylu. Přesnost přístrojů můžeme hodnotit také podle velikosti rozptylu naměřených hodnot. Rozptyl je dán vztahem

$$S_R = \pm \left\{ \left[\frac{\partial f(x_1, x_2, y_1, y_2)}{\partial x_1} \right]^2 \cdot S_{x_1}^2 + \left[\frac{\partial f(x_1, x_2, y_1, y_2)}{\partial x_2} \right]^2 \cdot S_{x_2}^2 + \left[\frac{\partial f(x_1, x_2, y_1, y_2)}{\partial y_1} \right]^2 \cdot S_{y_1}^2 + \left[\frac{\partial f(x_1, x_2, y_1, y_2)}{\partial y_2} \right]^2 \cdot S_{y_2}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (31)$$

Můžeme-li opět bezpečně předpokládat, že měření jednotlivých souřadnic x_1, x_2 a y_1, y_2 jsou prováděna se stejnou přesností, potom i rozptyly výsledků měření jednotlivých souřadnic jsou si rovny, analogicky jako absolutní chyby jednotlivých proměnných v rov. (26):

$$S_{x_1}^2 = S_{x_2}^2 = S_{y_1}^2 = S_{y_2}^2 = S^2.$$

Po dosazení do rov. (31) a provedení parciálních derivací dostaneme pro rozptyl vztah

$$S_R = \pm S \left[\left(\frac{x_1 - x_2}{F(x)} \right)^2 + \left(\frac{x_2 - x_1}{F(x)} \right)^2 + \left(\frac{y_1 - y_2}{F(x)} \right)^2 + \left(\frac{y_2 - y_1}{F(x)} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ = \pm \frac{S}{F(x)} \left[(x_1 - x_2)^2 + (x_2 - x_1)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (y_2 - y_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (32)$$

Pro zhodnocení přesnosti výsledků měření nepřímo metodou konkretizujeme opět řešený příklad tak, že měříme rozteč středů kružnic, jejichž spojnice svírá s osou x úhel $\alpha = 45^\circ$. Potom platí, že

$$(x_1 - x_2)^2 = (x_2 - x_1)^2 = (y_1 - y_2)^2 = (y_2 - y_1)^2 = x^2.$$

Po dosazení do rov. (32) dostáváme výsledek - hodnotu rozptylu S_{Rn} jako kritérium přesnosti měření nepřímo metodou:

$$S_{Rn} = \frac{S}{F(x)} \sqrt{4x^2} = \frac{S \cdot 2x}{\sqrt{2} x^2} = \frac{2S}{\sqrt{2}} = 1,4 S. \quad (33)$$

Pro zhodnocení přesnosti výsledků měření přímo metodou opět uvažujeme takovou vzájemnou polohu kružnic, kdy spojnice jejich středů je rovnoběžná s osou x ; potom pro hodnotu rozteče R obou kružnic opět platí, že

$$|x_1 - x_2| = |x_2 - x_1| = x,$$

$$|y_1 - y_2| = |y_2 - y_1| = 0.$$

Po dosazení do rov. (32) dostáváme výsledek i pro tento případ - hodnotu rozptylu S_{Rp} jako kritérium přesnosti měření přímo metodou:

$$S_{Rp} = \frac{S}{F(x)} \sqrt{2x^2} = \frac{S \sqrt{2} x^2}{\sqrt{2} x^2} = S. \quad (34)$$

Z provedených výpočtů a ze srovnání rov. (33) s rov. (28) a rov. (34) s rov. (29) vyplývá závěr, že při posuzování přesnosti zvolené měřicí metody rozptylem S_R dostáváme menší výslednou chybu měření, než při hodnocení pomocí absolutní chyby ε_R .

VLIVY PROSTŘEDÍ. Zvláštní význam při měření celé řady fyzikálních veličin a technologických parametrů má prostředí, a to hlavně teplotní pole a tepelné změny. Rozdíly ve výsledcích měření vznikají

a) v důsledku rozdílných teplot měřeného objektu a srovnávacího etalonu (např. měřítka při délkových měřeních);

b) v důsledku rozdílu hodnot součinitele teplotní roztažnosti $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ jednotlivých součástí měřicího obvodu.

Délková změna s teplotou - která má význam právě v přesné mechanice - je udávána přibližnou rovnicí

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Theta, \quad [\text{mm}, ^\circ\text{C}] \quad (35)$$

kde L je délkový rozměr;

α je součinitel teplotní roztažnosti;

Θ je teplotní rozdíl.

Při vyšších teplotách se součinitel α mění: změna délky s teplotou není lineární, ale spíše parabolická. Je proto lépe vyjádřena rovnicí

$$\Delta L = L \cdot (\alpha_1 \Theta + \alpha_2 \Theta^2). \quad (36)$$

Tepelné dilatace činí potíže nejen při všech přesných měřeních a při používání přístrojů, ale již při jejich konstrukci a hlavně při jejich výrobě. V tab. 2 již byly uvedeny rozdíly (chyby) δ v μm pro různé délky L součástí a pro různé rozdíly ($\alpha_1 - \alpha_2$) v součinitelích teplotní roztažnosti pro rozdíl teploty $\Theta = 1^\circ\text{C}$, podle rovnice

$$\delta = L \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \Delta \Theta. \quad (37)$$

Změnou teploty se mění též modul pružnosti v tahu a v kroucení, což má vliv na pružné vlastnosti měřicích prvků (pružin).

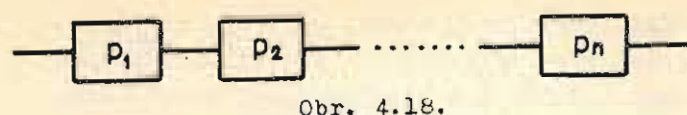
Nepříznivě je měřicí obvod ovlivňován nerovnoměrným oteplením různými tepelnými i světelnými zdroji (osvětlovací soustava u optického systému!). Z toho důvodu umísťujeme přesné měřicí systémy v termostatech, v klimatizovaných místnostech, kde se teplota prostředí udržuje na stejné teplotě. Chyby měření, způsobené teplotními a tepelnými vlivy je nutné vyloučit temperováním tak, že měřicí pracoviště se udržuje určitou dobu před měřením v ustálených teplotních podmínkách.

Podobné nepříznivé vlivy vykazuje změna tlaku vzduchu, vlhkost vzduchu apod. Proto u celé řady přístrojů používáme různé kompenzační metody a kompenzační zařízení, jimiž přístroje vybavujeme.

VLIV OBSLUHY PŘÍSTROJE (osoby pozorovatele měřených údajů). Omyly a osobní chyby pozorovatele, podobně jako nevhodná volba a nevhodné použití měřicí metody a chyby způsobené při vyhodnocování naměřených výsledků apod. se do chyb přesnosti z pochopitelných důvodů nezahrnují a musí se zásadně vyloučit.

4.1.3. Spolehlivost přístroje

Spolehlivost přístroje [1] je třetí základní vlastnost: charakterizuje schopnost přístroje zachovávat sledované parametry v požadovaných mezích při stanovených pracovních podmínkách.



Obr. 4.18.

Měřicí přístroj se člení na prvky nebo soustavy (souhrn několika společně pracujících prvků); může se nacházet ve dvou funkčních stavech: bezporuchovém (kdy sledované parametry jsou v požadovaných mezích) a poruchovém (zařízení neplní správně danou funkci); podle způsobu obnovy bezporuchového stavu se dělí na neopravitelné a opravitelné zařízení.

Prvky přístroje (soustavy) se řadí podle způsobu funkce:

1. Seriově, tj. v takovém uspořádání, kdy výstupní veličina jednoho prvku je vstupní veličinou druhého, navazujícího prvku (obr. 4.18); v tomto případě porucha kteréhokoliv (i jednoho) prvku je příčinou poruchy celého přístroje.

2. Paralelně, tj. v takovém uspořádání, kdy vstupní i výstupní veličina všech prvků je stejná; funkce jednotlivých prvků je nezávislá na funkci ostatních prvků (obr. 4.19); v takto uspořádaném řetězci dojde k poruše tehdy, jestliže vznikne porucha u všech jeho prvků.

3. Smíšené řazení; je kombinací seriového a paralelního řazení prvků soustavy (obr. 4.20).

Pro pravděpodobnost bezporuchového stavu a provozu platí podmínka

$$\theta \leq p(t) \leq 1,$$

kde $p(t)$ je pravděpodobnost bezporuchového stavu;

t je zvolený čas, pro který se určuje bezporuchový stav.

Pro pravděpodobnost poruchového stavu platí podobná podmínka

$$\theta \leq q(t) \leq 1,$$

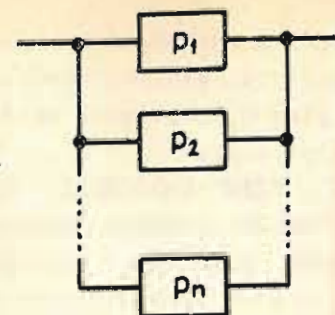
kde $q(t)$ je pravděpodobnost poruchy;

t je zvolený čas, pro který se určuje vznik poruchy.

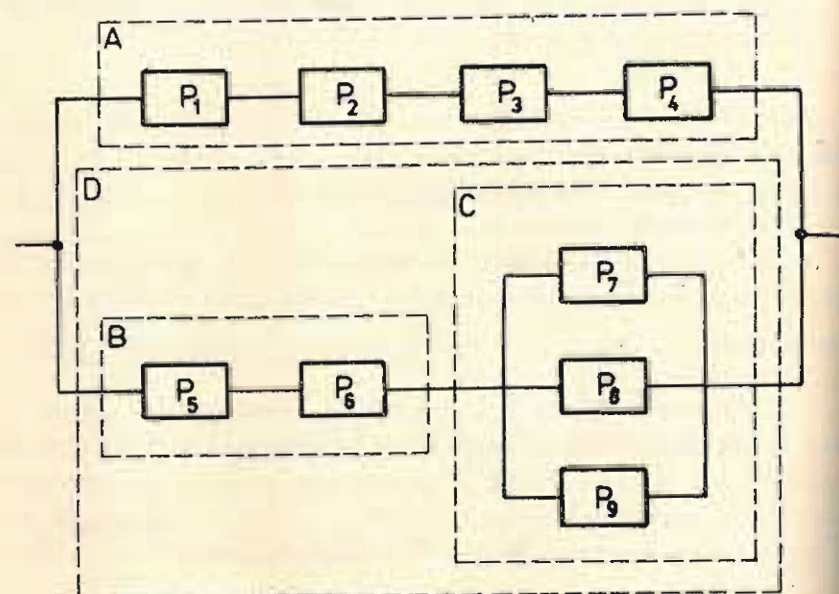
Pravděpodobnost bezporuchového stavu (provozu) a pravděpodobnost vzniku poruchy jsou opačné jevy; proto pro ně platí vzájemný vztah

$$p(t) + q(t) = 1.$$

Pro vznik poruchy soustavy při seriovém řazení prvků je postačující porucha již jen 1 jednoho prvku. Seriové řazení prvků modelu soustavy je uve-



Obr. 4.19.



Obr. 4.20.

deno na obr. 4.18. Pro pravděpodobnost bezporuchového stavu zde platí vztah

$$P_s = \prod_{i=1}^{i=n} p_i = \prod_{i=1}^{i=n} (1 - q_i), \quad (38)$$

kde P_s je pravděpodobnost bezporuchového stavu modelu soustavy při seriovém řazení prvků;

p_i je pravděpodobnost bezporuchového stavu i -tého prvku soustavy;

q_i je pravděpodobnost vzniku poruchy i -tého prvku soustavy.

Pro pravděpodobnost vzniku poruchového stavu zde platí rovnice

$$Q_s = 1 - \prod_{i=1}^{i=n} p_i = 1 - \prod_{i=1}^{i=n} (1 - q_i), \quad (39)$$

kde Q_s je pravděpodobnost vzniku poruchy modelu soustavy při seriovém řazení prvků.

Pro vznik poruchy soustavy při paralelním řazení prvků je nutnou podmínkou porucha všech paralelně pracujících prvků. Paralelní řazení prvků modelu soustavy je uvedeno na obr. 4.19. Pro pravděpodobnost bezporuchového stavu zde analogicky platí rovnice

$$P_p = 1 - \prod_{i=1}^{i=n} (1 - p_i) = 1 - \prod_{i=1}^{i=n} q_i, \quad (40)$$

kde P_p je pravděpodobnost bezporuchového stavu modelu soustavy při paralelním řazení prvků.

Pro pravděpodobnost vzniku poruchového stavu zde opět analogicky platí

$$Q_p = \prod_{i=1}^{i=n} (1 - p_i) = \prod_{i=1}^{i=n} q_i, \quad (41)$$

kde Q_p je pravděpodobnost vzniku poruchy modelu soustavy při paralelním řazení.

Prvky, bloky, jednotky	Nadřazený útvar	Způsob řazení	Rovnice pro pravděpodobnost bezporuchového stavu
1, 2, 3, 4	blok A	seriové	$P_A = \prod_{i=1}^{i=4} p_i$
5, 6	blok B	seriové	$P_B = \prod_{i=5}^{i=6} p_i$
7, 8, 9	blok C	paralelní	$P_C = 1 - \prod_{i=7}^{i=9} (1 - p_i)$
B, C	jednotka D	seriové	$P_D = P_B \cdot P_C = \prod_{i=5}^{i=6} p_i \left[1 - \prod_{i=7}^{i=9} (1 - p_i) \right]$
A, D	soustava K	paralelní	$P_K = 1 - (1 - P_A)(1 - P_D)$ $P_K = 1 - \left(1 - \prod_{i=1}^{i=4} p_i \right) \left(1 - \prod_{i=5}^{i=6} p_i \left[1 - \prod_{i=7}^{i=9} (1 - p_i) \right] \right)$

Tab. 7.

Příklad s m í š e n é h o řazení prvků v modelu soustavy (blokové schéma) je uveden na obr. 4.20. Pro pravděpodobnost bezporuchového stavu smíšeného modelu soustavy K zde sestavíme výslednou rovnici postupným řešením jednotlivých bloků A, B, C a jednotky D (z obr. 4.20), jak je uvedeno v tab. 7. Výsledný vztah pak má tvar

$$P_k = 1 - \left(1 - \prod_{i=1}^{i=4} p_i\right) \left(1 - \prod_{i=5}^{i=6} p_i\right) \left[1 - \prod_{i=7}^{i=9} (1 - p_i)\right] \quad (42)$$

seriové řazení, blok A
seriové řazení, blok B
paralelní řazení, blok C

seriové řazení, jednotka D

paralelní řazení, soustava K

4.1.4. Životnost přístroje

Životnost přístroje [1] je čtvrtou základní vlastností; charakterizuje schopnost přístroje vykonávat spolehlivě činnost, ke které je určen, a to po stanovenou dobu a za určitých daných provozních podmínkách. Mezní podmínky správné činnosti jsou dány minimální požadovanou pravděpodobností bezporuchového stavu (činnosti) přístroje; tato pravděpodobnost může být zachována nebo i zvyšována údržbou a opravami. Životnost přístroje je dána součtem všech dob jeho bezporuchové činnosti až do okamžiku, kdy vznikne stav, který bezporuchovou činnost již neumožňuje. Někdy dochází k vyřazení přístroje z činnosti po uplynutí doby dané jeho morálním zastaráním, i když přístroj vykazuje pravděpodobnost bezporuchového stavu stále vyšší, než je nejnižší přípustná mez; tato doba je určena ještě dalšími podmínkami, než jen bezporuchovou činností: bývá to nemoderní uspořádání přístroje, nevhodný tvar, který nevyhovuje současným požadavkům a další jiné kvalitativní znaky. Není proto žádoucí, aby životnost přístroje byla delší, než je doba určující jeho morální zastarání.

Jestliže je známa závislost pravděpodobnosti bezporuchového stavu přístroje $P(t)$ jako funkce času, můžeme jako mezní podmínku životnosti stanovit minimální hodnotu této pravděpodobnosti $P(t)_{\min}$. Tak např. při exponenciálním rozdělení pravděpodobnosti bezporuchového stavu, kdy intenzita poruch λ je konstantní, bude

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

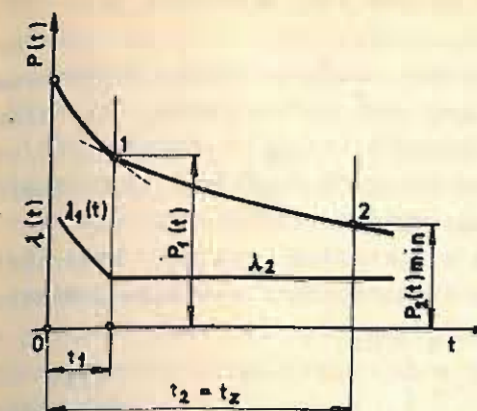
takže pro $P(t)_{\min}$ bude

$$\lambda t_z = -\ln P(t)_{\min} \quad (43)$$

výpočet životnosti t_z vyplývá z rov. (43):

$$t_z = -\frac{\ln P(t)_{\min}}{\lambda} \quad (44)$$

Většina přístrojů má průběh intenzity poruch λ zpočátku klesající až do doby t_1 (obr. 4.21). V tomto období se projevují hlavně poruchy způsobené výrobou



Obr. 4.21.

mi nedostatky (např. vadnou montáží), nebo vadami materiálu apod. Od doby t_1 do t_2 je již většinou intenzita poruch λ téměř konstantní; od doby t_2 však λ dosti rychle stoupá vlivem opotřebení součástí, únavy a stárnutí materiálu nebo vlivem prostředí, v němž přístroj pracuje apod. Životnost podle obr. 4.21 bude od okamžiku uvedení přístroje do provozu, tj. od $t_0 = 0$, do t_z , kdy nastává kritický stav. Při kritickém stavu již další činnost přístroje z hlediska požadovaných kritérií není možná, a to vznikem trvalé poruchy, nebo poklesem pravděpodobnosti bezporuchového stavu na minimální (přípustnou) hodnotu

$$P(t)_{\min} = P_1(t) \cdot P_2(t) \quad (45)$$

přičemž je

$$P_1(t) = e^{-\int_0^{t_1} \lambda_1(t) dt} \quad (46)$$

$$P_2(t) = e^{-\lambda_2(t-t_1)} \quad (47)$$

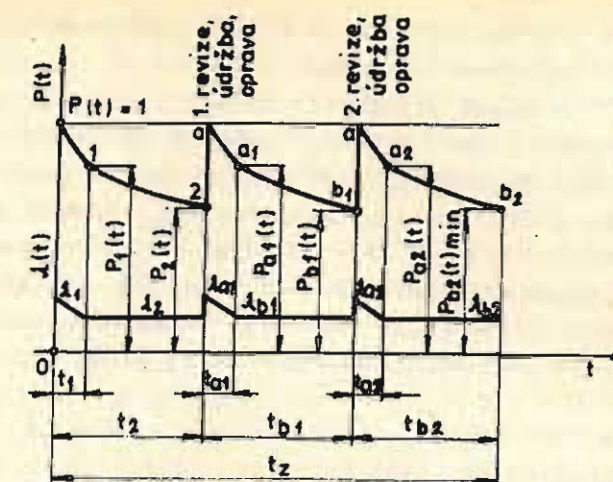
kde $P_1(t)$ je pravděpodobnost bezporuchového stavu v době t_1 ;

$P_2(t)$ je pravděpodobnost bezporuchového stavu na konci doby $(t_2 - t_1)$, kdy hodnota λ_2 je konstantní.

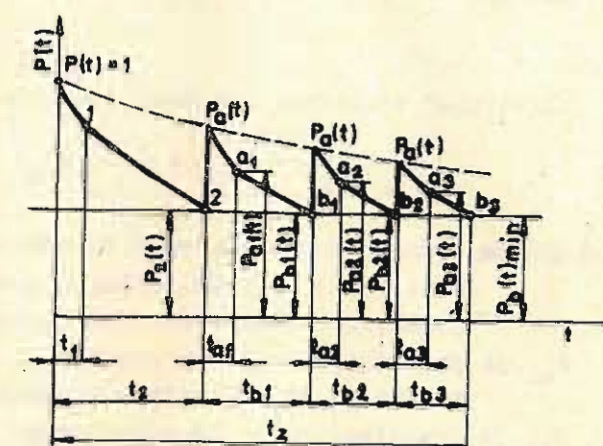
V uvedeném případě, kdy kritický stav nastane v době t_2 , platí pro životnost t_z vztah

$$t_z = t_2 = t_1 + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{P_1(t)}{P_2(t)_{\min}} \quad (48)$$

Uvedeme-li přístroj do provozu po náležité kontrole, přezkoušení a po odstranění všech závad vyskytujících se na počátku jeho životnosti, je potom čas



Obr. 4.22.



Obr. 4.23.

$t_1 = 0$ a též $P_1(t) = 1$. Po dosazení těchto hodnot do rov. (48) přechází tato rovnice do tvaru rov. (44).

Zivotnost přístroje můžeme prodloužit přípustnými zásahy, revizí, údržbou, opravami nebo výměnou vadných či opotřebených součástí. Potom podle obr. 4.22 stoupne pravděpodobnost bezporuchového stavu z hodnoty $P_2(t)_{\min}$ na hodnotu $P(t)$, nebo analogicky z hodnoty $P_b(t)_{\min}$ opět na hodnotu $P(t)$ atd., přičemž by měla být hodnota $P(t) = 1$. Protože však údržba, oprava, nebo výměna vadných či opotřebených součástí přístroje se obvykle provádí pouze u některých jeho uzlů nebo dílů, je potom podle obr. 4.23 docílená hodnota pravděpodobnosti bezporuchového stavu $P_a(t)$ menší, než $P(t) = 1$, avšak větší, než $P_b(t)_{\min}$:

$$P(t) > P_a(t) > P_b(t)_{\min}; \quad (49)$$

přitom

$$P(t) = 1,$$

$$P_b(t)_{\min} = P_2(t) = P_{b_1}(t) = \dots = P_{b_i}(t).$$

Zivotnost přístroje pak bude dána vztahem

$$t_z = t_2 + \sum_{i=1}^{i=n} t_{b_i} = t_2 + \sum_{i=1}^{i=n} t_{a_i} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_{b_i}} \ln \frac{P_{a_i}(t)}{P_{b_i}(t)}, \quad (50)$$

kde i je pořadí zásahu (údržba, oprava, výměna apod.); pořadí etapy činnosti mezi dvěma po sobě jdoucími zásahy, kterými dosáhneme zvýšení pravděpodobnosti bezporuchového stavu z $P_{b_i}(t)$ na $P_{a_i}(t)$; $i = 1 \div n$;

P_{a_i} je pravděpodobnost bezporuchového stavu na počátku i -té etapy činnosti přístroje po příslušném zásahu;

P_{b_i} je pravděpodobnost bezporuchového stavu na konci i -té etapy činnosti přístroje; její hodnota má být rovna nebo větší než $P(t)_{\min}$, která je stanovena technickými podmínkami;

t_{a_i} je doba, ve které je ukončeno uvádění přístroje do chodu po provedení příslušné údržby, opravy, výměny částí apod.;

t_2 je doba, v níž přístroj bezporuchově pracoval po výrobě, před provedením první údržby, opravy, výměny dílů apod.

Jestliže je přístroj používán po každé revizi, údržbě nebo opravě až po odstranění všech závad, potom bude $t_{a_i} = 0$ a pravděpodobnost bezporuchového stavu můžeme pokládat $P_{a_i} = 1$. Zivotnost přístroje pak bude s ohledem na rov. (50) dána vztahem

$$t_z = t_2 - \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_{b_i}} \ln P_{b_i}(t). \quad (51)$$

4.2. STATICKÉ A DYNAMICKE VLASTNOSTI

4.2.1. Statická charakteristika

Statické chování přístroje, měřicího prostředku nebo měřicí soustavy, statická charakteristika, je jednou z nejdůležitějších charakteristik měřicího přístroje nebo jeho části, která funguje buď jako čidlo, nebo snímač, nebo zesilovač měřených hodnot [1], [2]. Statická charakteristika udává funkční vztah mezi vstupní a výstupní veličinou měřené závislosti.

Údaj přístroje nebo měřicí soustavy je výslednicí všech sil (nebo jejich momentů), působících na mechanismus přístroje. Na mechanismus působí: síla F_A (moment M_A) vyvolaná měřenou veličinou; direktivní (vratná) síla F_D (direktivní moment M_D), působící v opačném smyslu, než síla F_A (moment M_A), vyvolaná měřenou veličinou; síla tření T (moment tření M_F) působící proti pohybu mechanismu přístroje (má proto opačný smysl, než jeho pohyb).

Jestliže měřená (vstupní) veličina nemění svou hodnotu, je údaj přístroje (výstupní veličina) stálý; síly (momenty) působící na mechanismus jsou v rovnováze a mechanismus nekoná žádný pohyb. Pohybuje-li se mechanismus přístroje, pak v poslední fázi jeho pohybu, kdy jeho rychlost v se blíží nule, stoupne náhle hodnota součinitele tření (až o polovinu) a **t ř e n í z a p o h y b u s e n á h l e z m ě n í v t ř e n í k l i d o v é**, neboli adhezi (lpění); mechanismus se náhle zastaví. Podle toho, jak probíhal pohyb v této poslední fázi, se ustálí i hodnota výstupní veličiny, a to buď na hodnotě **m e n š í** nebo **v ě t š í**, než odpovídá rovnovážnému stavu podle rovnosti obou sil (momentů).

Neuvažujeme-li vliv tření, bude rovnovážného stavu dosaženo za podmínky, dané rovnicí pro působící síly:

$$F_A - F_D = 0;$$

nebo rovnicí pro působící momenty:

$$M_A - M_D = 0.$$

Uvažujeme-li vliv tření, potom rovnovážný stav při působení sil je popsán rovnicí

$$F_A - F_D - T \cdot \text{sign } \omega = 0, \quad 1)$$

a při působení momentů rovnicí

$$M_A - M_D - M_F \cdot \text{sign } \omega = 0. \quad 1)$$

4.2.2. Linearita statické charakteristiky

Linearita statické charakteristiky je rovněž velmi důležitou vlastností měřicích systémů. Analytické řešení, jak se chovají lineární systémy v dynamice se měnícím stavu, je jednoznačné; jejich chování se dá jednoznačně popsat soustavou obyčejných nebo parciálních diferenciálních rovnic s konstantními koeficienty. V měřicích systémech s nelineární statickou charakteristikou jsou řešení při vyšetřování stability těchto systémů buď pouze jen přibližná, nebo kvalitativní.

4.2.3. Dynamická charakteristika

Dynamické chování přístroje, dynamická charakteristika, souvisí s požadavkem nezkráceného věrného přenosu informace z měřeného objektu: setkáváme se s ním při měření na objektech, u nichž hodnota měřené veličiny se s časem trvale nebo často mění. Z toho původu je třeba znát základní frekvenci f_0 rozhodujících součástí přístroje, nebo přístroje jako celku.

Sign ω (zkratka pro "signum ω ") znamená, že smysl síly tření T (nebo momentu tření M_F) vychází ze smyslu pohybu mechanismu, jaký byl v okamžiku dosažení klidové polohy a je vždy **o p a č n ý**.

Jestliže se měřená veličina mění p o z v o l n a, probíhá změna údaje přístroje též pomalu a tento údaj lze v každém časovém okamžiku pokládat za odpovídající s t a t i c k é m u s t a v u. Jestliže se však měřená veličina mění r y c h l e nebo dokonce n á h l e (např. skokem), nebude údaj přístroje (až do ustálení) odpovídat okamžité hodnotě měřené veličiny; mechanismus přístroje totiž nestačí sledovat rychlé změny měřené veličiny, jeho údaj zůstává pozadu za okamžitou hodnotou měřené veličiny (je-li jeho pohyb mírně tlumen, střídavě zůstává pozadu a pak ji předbíhá, což má za následek, že se mechanismus rozkmitá).

Proto je nutno věnovat pozornost otázce, jak se bude přístroj chovat za těchto situací:

a) Při přechodu měřené veličiny z jednoho rovnovážného stavu do druhého; přechod může být náhlý (skokem), nebo postupný, např. podle exponenciály (přibližně). Zde nás zajímá d o b a, za kterou dosáhne údaj přístroje trvale pravé hodnoty měřené veličiny a p r ů b ě h údaje během této doby.

b) Při měření periodicky se měnící veličiny. Zde nás zajímá, zda údaj přístroje během měření je a n a l o g i c k ý hodnotě měřené veličiny, která se mění v závislosti na čase a s jakým zpožděním přístroj udává její pravou hodnotu.

Při změně hodnoty měřené veličiny se při přímočarém pohybu poruší rovnováha sil (nebo při otáčivém pohybu se poruší rovnováha momentů), které působí na mechanismus přístroje. Nastává pohyb mechanismu, který se zastaví po opětovném dosažení rovnováhy sil (momentů), odpovídající uvažované změně. Na mechanismus přístroje působí: síla F_A (nebo moment M_A , s časem proměnný $M_A(t)$), vyvolaná měřenou veličinou; proti ní působí vratná (direktivní) síla F_D (vratný moment M_D), vyvolaná např. pružným prvkem a má tedy opačný smysl; dále zde působí setrvačná (zrychlující) síla F_S (moment setrvačných sil M_S), způsobená setrvačnými hmotami mechanismu přístroje; dále síla F_B (moment M_B), vyvolaná tlumením přístroje; ještě zde působí síla tření F_T (moment tření M_T), způsobená vzájemným třením pohyblivých částí mechanismu. Tyto síly F (momenty M) mají stejný smysl, jako síla (moment) vratná a tudíž smysl o p a č n ý, než síla F_A (moment M_A), vyvolaná měřenou veličinou (s výjimkou tření, kdy smysl může být obojí).

Pohybová rovnice pro p ř í m o č a r ý p o h y b (bez tření) je tvořena vztahem

$$F_S + F_B + F_D = F_A \quad (52)$$

což lze psát též ve tvaru

$$m\ddot{x} + B\dot{x} + Dx = F_A \quad (53)$$

nebo

$$m\ddot{x} + B\dot{x} + Dx = F_A(t) \quad (54)$$

což je

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + Dx = F_A(t) \quad (55)$$

kde $F_S = m \cdot a = m \cdot \ddot{x} = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2}$ je zrychlující (setrvačná) síla [$N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$];

$F_B = B \cdot v = B \cdot \dot{x} = B \cdot \frac{dx}{dt}$ je tlumící síla [N];

$F_D = D \cdot x$ je vratná (direktivní) síla [N];

$F_A = F_A(t)$ je síla vyvolaná měřenou veličinou [N];

m je hmotnost pohybujícího se mechanismu přístroje [kg];

$a = \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$ je zrychlení mechanismu přístroje [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$];

B je tlumicí konstanta přímočarého pohybu [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$];

$v = \dot{x} = \frac{dx}{dt}$ je rychlost mechanismu přístroje [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

D je tuhost tažné nebo tlačné pružiny [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$];

x je dráha r e d u k č n í h o bodu mechanismu přístroje [m];

t je čas [s].

Na obr. 4.24 je graficky znázorněno působení popsanych sil v redukčním bodě mechanismu přístroje při dynamickém chování přístroje.

Pohybovou rovnici pro p o h y b o t á č i v ý (opět bez tření) lze vyjádřit vztahem

$$M_S + M_B + M_D = M_A \quad (56)$$

což lze opět psát ve tvaru

$$\Theta \ddot{\varphi} + B \dot{\varphi} + D \varphi = M_A \quad (57)$$

nebo

$$\Theta \ddot{\varphi} + B \dot{\varphi} + D \varphi = M_A(t) \quad (58)$$

což je

$$\Theta \frac{d^2\varphi}{dt^2} + B \frac{d\varphi}{dt} + D \varphi = M_A(t) \quad (59)$$

kde $M_S = \Theta \cdot \varepsilon = \Theta \cdot \ddot{\varphi} = \Theta \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ je moment setrvačných sil (moment zrychlující) [$\text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$];

$M_B = B \cdot \omega = B \cdot \dot{\varphi} = B \cdot \frac{d\varphi}{dt}$ je tlumicí moment, přímo úměrný úhlové rychlosti redukčního členu mechanismu přístroje (tato lineární závislost je v praxi realizována pouze přibližně [$\text{N} \cdot \text{m}$];

$M_D = D \cdot \varphi$ je vratný (direktivní) moment přímo úměrný výchylce φ (což lze opět v praxi realizovat jen přibližně) [$\text{N} \cdot \text{m}$];

$M_A = M_A(t)$ je moment vyvolaný měřenou veličinou [$\text{N} \cdot \text{m}$];

Θ je moment setrvačnosti mechanismu přístroje [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$];

$\varepsilon = \ddot{\varphi} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ je úhlové zrychlení redukčního členu mechanismu přístroje [s^{-2}];

B je tlumicí konstanta přístrojového mechanismu [$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$];

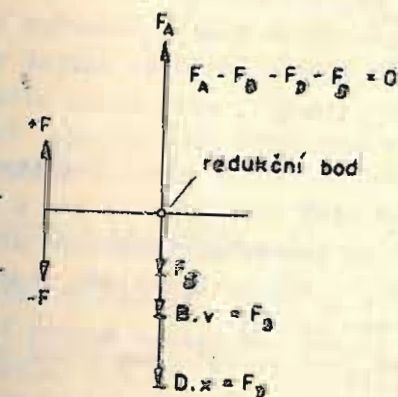
$\omega = \dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt}$ je

úhlová rychlost [s^{-1}];

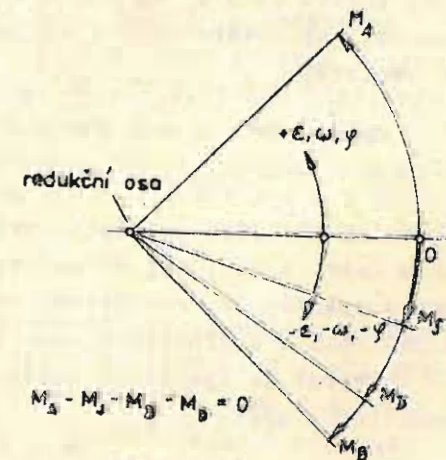
D je tuhost ohybové, zkrucované, nebo spirální pružiny [$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$];

φ je výchylka mechanismu (ručky, ukazatele) přístroje [1];

t je čas [s].



Obr. 4.24.



Obr. 4.25.

Na obr. 4.25 je uveden diagram popsanych působících momentů v redukční ose při dynamickém chování přístroje.

Pohybová rovnice (55) pro přímočarý pohyb mechanismu přístroje a pohybová rovnice (59) pro jeho otáčivý pohyb jsou lineární diferenciální rovnice druhého řádu, nehomogenní, s konstantními koeficienty.

4.2.4. Dlouhodobá časová stabilita charakteristik

Dlouhodobá časová stabilita charakteristik je dalším důležitým požadavkem, kladeným na kvalitní, dlouhodobě pracující přístroje. Je mírou toho, zda přístroje po určité nebo předem stanovené době měří správně, nebo ve stanovených tolerančních mezích. Není-li časová stabilita zaručena, je potom nutné ve stanovených časových úsecích přístroj kontrolovat, popř. přecejchovat.

4.2.5. Vliv teploty na statickou charakteristiku

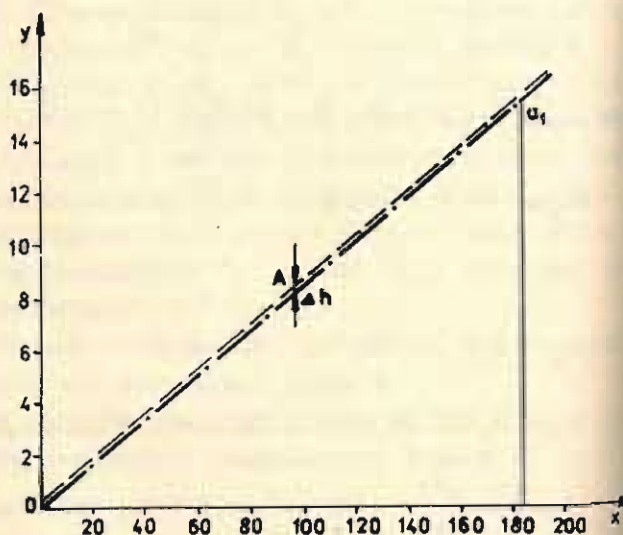
Vliv teploty na tvar statické charakteristiky přístrojů je dán druhem materiálu, z něhož jsou vyrobeny důležité součásti přístrojů. Rozhodující zde jsou materiálové konstanty (mechanické vlastnosti), jejichž hodnoty jsou funkcí teploty: Youngův modul pružnosti E v tahu, modul pružnosti G v kroucení, Poissonova konstanta μ , napětí v ohybu σ_0 , v kroucení σ_p , ale i součinitel tření f . Dále i délkové rozměry některých rozhodujících součástí, které jsou rovněž závislé na teplotě v důsledku teplotní roztažnosti \propto materiálu. Avšak v řadě případů jsou to i elektrické a elektromagnetické vlastnosti materiálů, kde změny hodnot příslušných veličin podléhají vlivu teploty (elektrická vodivost R), nebo vlastnosti optické (závislost indexu lomu n na teplotě, roztažnost optického skla v závislosti na teplotě).

4.2.6. Hysterezní jevy

Hystereze, tj. její velikost, je mírou kvality přístrojů a jejich hlavních měřicích součástí, zvláště když pracují v oboustranném režimu (obr. 4.26). Při měření ve směru maximální výchylky měřených hodnot a ve směru opačném je výsledkem měření ve stejných místech (např. v bodě A na obr. 4.26) rozdíl souřadnic v obou směrech měření.

Obecně je hystereze definována jako rozdíl obou ploch pod křivkami při měření tam a zpět:

$$H = \int_a^b f_1(x) dx - \int_b^a f_2(x) dx \quad (60)$$



Obr. 4.26.

Vyhodnocení uvedeného vzorce můžeme výhodně provést např. pomocí planimetru. Znamé jsou hysterezní křivky pružných elementů - pružin, membrán, tlakoměrů, ných krabic, vlnovců - popisující délkové rozměry, polohy, nebo zbytková pnutí, nebo hysterezní křivky magnetických materiálů apod.

4.2.7. Stabilita nuly

Stabilita nuly (drift) je v přístrojové, měřicí a automatizační technice požadavek značně přísný. U přístrojů pro ruční měření můžeme podle potřeby (obvykle na počátku měření) přístroj přecejchovat, nebo pomocí rektifikačních a justážních zařízení vynulovat. U přístrojů provozních, regulačních, nebo v automatizovaných systémech jsou však tyto operace již obtížné (nebo i vyloučené) z hlediska spolehlivosti provozu celého systému.

Stabilita nuly u celé řady přístrojů je opět ovlivněna druhem materiálu rozhodujících součástí, teplotními změnami a časovou stálostí hodnot materiálových konstant, stárnutím a creepem materiálu, třením apod., ale i správnou konstrukcí, důkladným a spolehlivým provedením spojů a uložení jednotlivých součástí mechanismu přístroje apod.

4.2.8. Schopnost krátkodobého a dlouhodobého přetížení

Krátkodobé (několikanásobné), nebo i dlouhodobé přetížení se může vyskytnout u exponovaných součástí provozních přístrojů ve značné většině případů. Vyznačují-li přístroje - hlavně jejich rozhodující součásti, jako např. ložiska, čípky nebo měřicí pružné elementy apod. - schopnost přetížení, znamená to, že nastanou žádné změny v jejich statických charakteristikách.

4.3. ODOLNOST PROTI OTŘESŮM, VIBRACÍM, SETRVAČNÝM SILÁM A JINÝM MECHANICKÝM VLIVŮM

Provozní zařízení, jehož ohod přístroje sledují, nesmí mít vliv na jejich funkci. Častým a nepříznivým jevem při ohodu technických zařízení jsou vibrace (probíhající periodicky) a otřesy (mající náhodný průběh v závislosti na čase). Je tedy žádoucí, aby přístroje a veškerá zařízení přesné mechaniky byla odolná proti těmto vlivům.

4.4. ODOLNOST PROTI CHEMICKÉMU PŮSOBENÍ

Odolnost proti chemickému působení, popř. proti vnějšímu prostředí - kam zahrnujeme i atmosférické vlivy - je též častou požadovanou vlastností přístrojů a zařízení přesné mechaniky. Přístroje často pracují v prostředí, kde na povrchy jejich součástí působí CO , CO_2 , SO_2 , N_2O , vodní páry, výpary různých kyselin nebo zásad, éter, benzin, různé oleje apod. Atmosférické podmínky mohou rovněž působit na přístroje v důsledku velkých výkyvů tlaku, teploty a vlhkosti vzduchu.

4.5. SNADNOST MONTÁŽE A DEMONTÁŽE

Tento požadavek není všeobecný, často se týká pouze některých uzlů a součástí přístrojů a zařízení přesné mechaniky. Naopak je někdy požadavek, aby při provozu a používání přístroje nemohl uživatel provést mimoděk nebo i svévolně demontáž zařízení (obvykle jednoduchými nástroji), zvláště těch, která jsou v záruční lhůtě (nebo váhy v obchodním provozu). Proto se některé přístroje nebo

jejich celky plombují.

4.6. JEDNODUCHOST SEŘÍZENÍ

Měřicí přístroje a i jiná zařízení přesné mechaniky musí často vyhovovat podmínkám geometrického nebo kvantitativního rázu (rovnoběžnost os, světelných

Rozměry jednotlivých elementů		Stupnice		
		jemné	střední	hrubé
Tloušťka rysek b	min.	0,05	0,13	0,25
	opt.	0,08	0,20	0,40
Rozteč rysek t	min.	0,60	0,80	1,00
	opt.	1,00	1,20	1,60
Šířka mezer t'	min.	0,55	0,67	0,75
	opt.	0,92	1,00	1,20
Výška číslic (značek) v	min.	0,90	1,20	1,50
	opt.	1,50	1,80	2,40
Stupnice jednostranné	Délka rysek l	min. 1,20 opt. 2,00	1,60 2,40	2,00 3,20
	Délka pomocných rysek l'	min. 1,50 opt. 2,50	2,00 3,00	2,50 4,00
	Délka základních rysek L	min. 1,80 opt. 3,00	2,40 3,60	3,00 4,80
Stupnice oboustranné	Délka rysek l	min. 1,80 opt. 3,00	2,40 3,60	3,00 4,80
	Délka pomocných rysek l'	min. 2,40 opt. 4,00	3,20 4,80	4,00 6,40
	Délka základních rysek L	min. 3,00 opt. 5,00	4,00 6,00	5,00 8,00

Tab. 8.

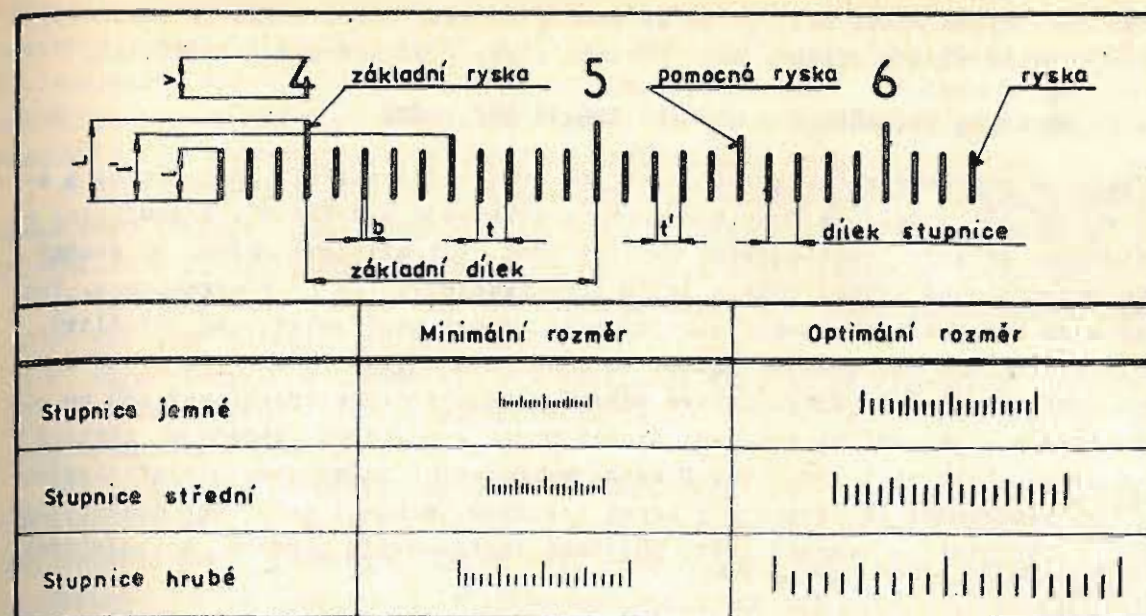
apod.) nastat změny a zařízení pak nepracuje správně a přesně. Proto vybavujeme přístroje prvky a celky, které umožňují při výrobě i později v provozu stroj seřídít, aby vyhovoval předepsaným podmínkám. Tyto prvky a celky nazýváme zařízení **rektifikací**, v optice zařízení **justažní** (pracovní úkony se analogicky nazývají rektifikace, justování nebo justaž a v hodinářství se používá termínu regláž). Ve většině případů umožňují malé posuny součástí proti sobě, nebo malé pohyby úhlové.

4.7. JEDNODUCHOST A SNADNOST ČTENÍ ÚDAJŮ PŘÍSTROJE

Měřicí přístroje ukazovací mohou být konstruovány jako měřicí přístroje ručkové (značkou je pohyblivá ručka, pisátko), nebo jako měřicí přístroje se světelnou stopou, dále jako přístroje vibrační (značkou jsou kmitající jazýčky), nebo jako přístroje s pohyblivou (posuvnou nebo otáčivou) stupnicí a pevným indexem.

Stupnice [5] rozlišujeme jemné, střední a hrubé, jejich minimální a optimální rozměr v milimetrech je uveden v tab. 8. Měřicí přístroj může mít více rozsahů stupnice pro jednu nebo i více různých měřených veličin. Přepojením přístroje

paprsků; kolmost součástí, ploch, os, světelných paprsků; vzdálenost součástí; délka ramen pák; předepsané poměry délek; určitá zvětšení optického systému; převod pohybu v určitém poměru atd.). Někde nelze tyto podmínky při výrobě splnit vůbec, nebo je nelze splnit s požadovanou přesností. Také za provozu mohou časem (v důsledku namáhání, otřesů, opakovaných změn teploty



Obr. 4.27.

z jednoho rozsahu na druhý se mění nejen hodnota dílku společné stupnice, ale i hodnota citlivosti přístroje.

Rysky na stupnicích jsou zpravidla kolmé k základně stupnice a rozlišujeme rysky malé, střední a velké. Jejich délky mají být voleny vhodně a jsou odvozeny od velikosti dílku (intervalu) t , podle obr. 4.27 a podle zásady, že pro malou rysku je její délka

$$l = 2t$$

pro střední rysku (pomocnou rysku)

$$l' = 2,5t$$

pro velkou rysku (základní rysku)

$$L = 3t$$

Minimální tloušťka rysek b_{\min} je odvozena od rozlišovací meze oka pro dosažení koincidence dvou úseček, která je rovna úhlu

$$\psi_n = 0,00005 \text{ rad.}$$

V praxi se používá bezpečnostní součinitel $B = 4$ a normální pozorovací vzdálenost $a = 250 \text{ mm}$. Potom minimální tloušťka b_{\min} bude

$$b_{\min} = B \cdot a \cdot \psi_n = 4 \cdot 250 \cdot 0,00005 = 0,05 \text{ mm.}$$

Minimální velikost dílku (intervalu) t_{\min} stupnice je odvozena od rozlišovací meze oka pro dva body, která je rovna úhlu

$$\psi = 0,0006 \text{ rad.}$$

Použitím bezpečnostního součinitele $B = 4$ a normální pozorovací vzdálenosti $a = 250 \text{ mm}$ dostaneme

$$t_{\min} = B \cdot a \cdot \psi = 4 \cdot 250 \cdot 0,0006 = 0,6 \text{ mm.}$$

Velikost dílku menší než 0,6 mm se nemá používat, neboť čtení je namáhavé, neumožňuje odhad zlomku dílku a může zavinit chyby v pozorování a odečítání.

4.8. OHLED NA BEZPEČNOST A OCHRANU ZDRAVÍ PŘI PRÁCI

Někdy je potřebné respektovat ohledy na pracovní prostředí, bezpečnost a ochranu zdraví při práci. Je tomu tak např. u přístrojů a zařízení, pracujících s ultrafialovým zářením, rentgenovými paprsky apod. Ultrafialové záření má značný vliv na metabolismus lidské kůže a jejím prostřednictvím na celý organismus. Tento vliv může být podle okolností jak příznivý, tak i nepříznivý, až škodlivý. Ultrafialové záření je obsaženo jednak ve slunečním záření, jednak se získává z různých umělých zdrojů. Ultrafialové záření o vlnové délce kratší než 280 nm působí především poškození až usmrcení živých buněk a zárodků; zhoršuje některé kožní choroby, nebo je i vyvolává. U osob, vystavených nadměrnému ultrafialovému záření při zaměstnání se objevuje i kožní rakovina, není-li zajištěna dostatečná ochrana. Totéž platí o ochraně proti působení rentgenových paprsků a podobných druhů záření.

Také při použití laserů nelze zapomínat na to, že jsou sice prostředkem velmi efektivním, avšak také vyžadujícím zvýšené požadavky na bezpečnost při práci. Zeela přirozené je nebezpečí, vyplývající z toho, že při práci s lasery se používají chemické chladicí směsi (např. kapalný dusík). U vysoce výkonných laserů je zvýšené nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Nelze také zapomínat na možnost exploze vadných optických soustav a nebezpečí požáru. Hlavním negativním vlivem je však vlastní laserové záření, které při nedodržení požadavků bezpečnosti práce může vést k ohrožení zdraví pracovníků. Nejvíce je laserovým zářením ohroženo oko; v závislosti na vlnové délce a velikosti zářivého toku může dojít při jednorázovém, krátkodobém ozáření k popálení oční rohovky nebo sítnice; při častějším opakovaném působení může dojít k zákalu rohovky nebo oční čočky; nebezpečí poškození sítnice zvyšuje použití optických pomůcek (ozáření sítnice vzrůstá s druhou mocninou optického zvětšení použitého přístroje). Existují obecné požadavky, které pro práci s lasery stanovili lékaři a technici: laser nesmí být v činnosti bez dozoru; do prostředí, kde se s ním pracuje, má mít přístup co nejméně lidí; prostor, kde se laseru používá, má být označen¹⁾; dále pak je nutné zabránit možnosti odrazu od různých věcí (brýlí, hodinek apod.); nezbytnou individuální ochrannou pomůckou při práci s laserem jsou antilaserové brýle (tvarem se podobají svářečským brýlím) s příslušnými filtry; při práci s vysoce výkonnými lasery (o výkonu nad 5 W) je nutné používat i ochranné oblečení, masku a rukavice.

Pracovní prostředí zhoršuje nadměrný hluk: činnost některých přístrojů má za následek vznik hluku, který působí nejen rušivě, ale někdy i škodlivě; otázku hluku, vyvolávaného činností přístrojů nelze podceňovat, nebo dokonce přehlížet.

4.9. ESTETICKÝ VZHLED

Průmyslové tvaroování [6] - design - může značně ovlivnit technickou úroveň a jakost výrobků přesné mechaniky a přístrojové techniky. V mezinárodní terminologii v této oblasti se používá vedle pojmu design (anebo průmyslový design) i dalších pojmů, jako jsou např. modelování, tvarování, průmyslové tvarování, vytváření forem nebo tvarů výrobků, výtvarné projektování, anebo

¹⁾ Nejlépe mezinárodní značkou (sluníčko) s příslušným textem; u vohodu signalizace, upozorňující na to, že laser je v chodu.

výtvarné konstruování výrobků, technická estetika apod. Zvláště pojem technická estetika s dostatečnou přesností vyjadřuje vzájemné spojení estetiky a techniky, tj. spojení estetických vlastností a technických parametrů, jejich aplikaci od návrhu přístroje, jeho koncepce, přes jeho vývoj, zavedení do výroby, realizaci, až po jeho upotřebení a využití.

Z hlediska etických a celospolečenských podmínek přispívá design výrobku k humanizaci techniky komplexním prosazováním lepšího a dokonalejšího řešení. Prostřednictvím průmyslového tvarování se realizuje mnoho aspektů, hlavně pak:

- a) vzájemný soulad a harmoničnost tvarů, barev a rozměrů jednotlivých částí;
- b) kulturní estetičnost výrobku;
- c) psychologické a ergonomické podmínky, kladené na výrobek či přístroj;
- d) etické podmínky a vlastnosti výrobku;
- e) ekonomické podmínky.

Aby byla určena správná koncepce a řešení přístroje nebo zařízení z hlediska všech nevyhnutelných aspektů, je nutné využít poznatků z četných vědních disciplín, zvláště pak z pracovního lékařství, psychologie, ergonomie, hygieny apod.

Design se stal jedním z důležitých ukazatelů jakosti celé řady výrobků přesné mechaniky. Dokonale objektivní hodnocení designu prakticky neexistuje, hlavně z technických důvodů, jelikož mnoho aspektů designu se nedá technicky měřit.

Hodnocení vlastností a ukazatelů, které nejsou vyjádřeny fyzikálními měrnými jednotkami - tj. estetických vlastností výrobku - se provádí těmito způsoby:

1. Metodou expertizy - objektivním a správným hodnocením (posudkem) skupiny vysoce kvalifikovaných expertů.
2. Porovnávací metodou - založenou na porovnání výrobku s etalonem výrobku pro danou třídu jakosti. (Zde se při hodnocení estetických vlastností klade zvláštní důraz na výběr tzv. výrobku-analoga, který slouží jako zmíněný porovnávací etalon.)
3. Matematickou metodou hodnocení - racionální a objektivní - při dalším rozvoji kvalimetrie a za využití výpočetní techniky. Tato metoda se opírá o matematický model jakosti: v podstatě spočívá ve vyjadřování vlastností výrobků a požadavků na ně kladených pomocí vektorů a ve využití vektorové analýzy. (Praktická aplikace matematických teorií v oblasti kvalimetrie je velmi obtížná: je nutné pracovat s velkým množstvím měřitelných i neměřitelných, objektivních i subjektivních údajů.)

Literatura:

- [1] P. Zelený, Základní vlastnosti měřicích přístrojů. SNTL, Praha, 1976.
- [2] S. Jurík, J. Pang-Ho-Rim, J. Bolf, Fyzikálne vlastnosti kruhových membrán zhotovených z polymerov. Jemná mechanika a optika, č. 2, roč. XXV., 1980, str. 43 - 48.
- [3] M. Hajn, Přehled přesné mechaniky. Vydavatelství Práce, Praha, 1956.
- [4] S. Jurík, Autocentračný přístroj pro meranie rozstupov kruhových otvorov. Strojírrenství, č. 8, svazek 31, roč. 1981, str. 453 - 459.
- [5] ČSN 19 05 10
- [6] J. Šafář, Kvalita výrobku a průmyslový design. Průmyslový design, č. 7, roč. 1979, str. 6 - 8.

Rozvinutá socialistická společnost klade na průmysl velké požadavky nejen co do produkce a jakosti výroby, ale také co do vývoje nových výrobků a zařízení, které minimálně mají dosahovat současných světových parametrů. Podstatnou rolí v těchto požadavcích hraje konstrukce jednotlivých podniků či závodů, které na základě výsledků nových poznatků vědy a výzkumu provádějí inovaci výrobků a spolu s technologií uvádějí tyto do výroby. Zásadou při zavádění nové výroby by mělo být, že nový výrobek musí po všech stránkách vyhovovat všem požadavkům vývoje současné techniky, technologie a ekonomiky při omezeném počtu pracovníků a při dokonalé racionalizaci práce.

Každý nový výrobek, ať je složitý nebo jednoduchý, vyžaduje ke svému vytvoření značné myšlenkové úsilí. Současná úroveň vědy a techniky umožňuje vyrábět téměř dokonalé výrobky a proto někdy jen maličkosti rozhodují o prosazení daného výrobku na trhu. O úspěchu výrobku na trhu rozhoduje jeho jakost v obecném slova smyslu, která je podmíněna úrovní vědy a techniky vlastní výroby. Podstatnou rolí při ovlivňování jakosti výroby a úspěchu na trhu hraje konstrukce a v ní pak konstruktér svými znalostmi vědy a techniky a metod konstruování, které mají usnadnit tvůrčí proces při konstruování.

Konstruování je vlastně realizace myšlenek, která se pokouší zadanou úlohu řešit v čase pokud možno nejlepšími způsoby. Posláním inženýra je pak nalézání řešení technického problému pomocí znalostí přírodních věd a jeho optimalizace danými omezenými materiálovými, technologickými a ekonomickými prostředky. V této činnosti opět hraje převládající a odpovědnou úlohu konstruktér. Jeho náměty, znalosti a schopnosti v převážné míře mají vliv na konečný výrobek jak pro výrobce, tak i pro uživatele.

Lidstvo si od počátku svého bytí snažilo ulehčit svou práci a znásobit své smysly konstruktérskou činností. Tato činnost však vycházela z intuice, což se projevovalo v malém růstu nových technicky realizovaných vynálezů. Vynikající vynálezci předcházejících dob nám předávali pouze výsledky svého myšlenkového úsilí, nikoli však své myšlenkové postupy, které je vedly k inženýrskému výkonu.

Požadavek na stálou inovaci výrobků a jejich urychlené zavádění na trh, při současné úrovni vědy a techniky, nás nyní nutí ke zkoumání konstrukčního procesu, aby se vytvořila pravidla a metody, které by vedly k vývoji nových poznatků způsobů konstruování, zvláště při nalézání a hledání nových principů strojů, přístrojů a zařízení. V novém přístupu ke konstruování hraje velkou roli algoritmizace konstrukčních prací a vypracování nových konstrukčních pravidel pro nasazení počítačů. Tyto přístupy vytvářejí předpoklady k racionalizaci a automatizaci konstruktérské práce. Konečným cílem má být vytvoření univerzálního programu zahrnujícího všechny formy konstruktérské práce. Snahou tohoto univerzálního programu by mělo být sloučení dosavadních znalostí o konstrukční činnosti a tím podpoření intuice i u průměrně nadaného konstruktéra za účelem zvýšení efektivity jeho práce. Současně je metodický postup nutný dále i z hlediska dnešní dokonalosti technických výrobků a kdy nemůžeme vytvářet dlouhý časový odstup ke zlepšení konstrukcí, daný intuitivním přístupem. Nové metodické přístupy ke konstruování nemají za účel vymýtit intuici, ale nadále s ní počítají a snaží se ji urychlit.

Dělení konstrukcí je možné provádět z různých hledisek. V dnešní době z hlediska obecnosti se ustálilo toto rozdělení:

1. nové konstrukce;
2. přizpůsobené konstrukce;
3. obměňované konstrukce.

Nové konstrukce se vyznačují použitím nových principů řešení při stejném nebo novém zadání úkolu pro daný systém, tj. pro zařízení, přístroje, stroje nebo strojní skupinu.

Přizpůsobené konstrukce přizpůsobují známý systém řešení na nové zadání za účelem překročení limitních parametrů daného systému. Při tomto řešení úkolu se předpokládá vývoj nových principů jen jednotlivých stavebních skupin nebo dílců.

Obměňované konstrukce řeší různé obměny konstrukcí buď co do velikosti, nebo co do uspořádání vnitřního, již vyřešeného systému. Dané meze systému se nepřekračují. Funkce a princip řešení zůstává nezměněn. U těchto konstrukcí nevznikají žádné vážné problémy materiálové, napěťových vztahů, technologické apod. Do těchto konstrukcí počítáme i ty konstrukce, kde se mění jen rozměry jednotlivých dílců a kde mohou být použity i kopie předcházejících výrobků.

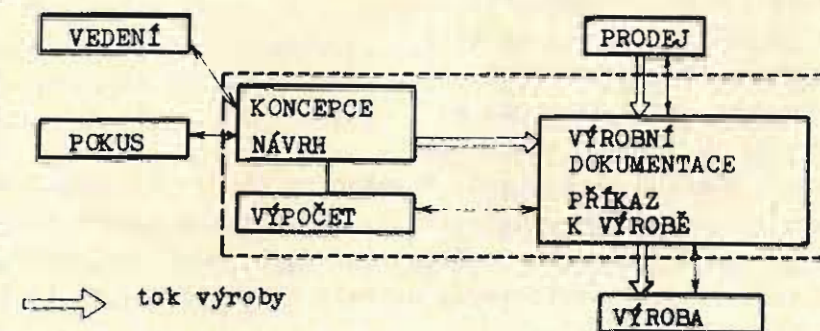
Největší podíl konstrukcí tvoří konstrukce přizpůsobené (asi 50 %), ostatní skupiny konstrukcí jsou přibližně stejné (konstrukce nové asi 25 %, obměňované konstrukce asi 20 %).

Podle typu konstrukcí je účelné provést rozdílná zařazení druhů konstruktérské činnosti v organizační struktuře podniku.

U nových konstrukcí je vhodné z hlediska nerušeného vývoje nového výrobku oddělit koncipování a návrh od běžných konstrukcí na zakázku. Jedná se v podstatě o rozvojová oddělení podniku nebo závodu, resp. výzkumné ústavy. Tato konstrukční činnost dostává pro koncipování a návrh informace z výpočtového oddělení. Schválený návrh nového výrobku předává do oddělení pro vypracování výrobní dokumentace a příkazu pro výrobu. Organizační schema uspořádání konstrukční činnosti je na obr. 5.1.

Pro vývoj nového výrobku je třeba vyčlenit skupinu konstruktérů, kteří mají pracovat pouze na vývoji. Doporučuje se cílevědomá výměna kádrů, vždy s vývojem nového výrobku. Zpětnou vazbu mezi vývojem a normálním konstrukčním oddělením tvoří konstruktéři z vlastní konstrukce, a to jako zdroj informací a jako korekční faktor.

U přizpůsobených konstrukcí, které se vyskytují u velkých a více či méně častých zařízení a strojů, se mají na dalším vývoji účastnit prakticky všichni konstruktéři a to počínaje od koncepce až po výrobní dokumentaci. Tyto konstrukce vyžadují podporu jednak ze strany vedení, jednak od výpočtové skupiny. Příslušné organizační schema udává obr. 5.2.



Obr. 5.1

Uvedená konstrukce je obvykle dána zakázkou a proto je termínovaná. Z toho plyne, že nové principy mohou být vyvinuty jen v malé míře, aby nevzniklo příliš velké riziko ve spolehlivosti a funkčnosti.

Jedná-li se o konstrukci malých strojů a přístrojů, je vhodné do koncipování a návrhu začlenit současně výpočet a laboratoř. Toto spojení je účelné, protože mnoho nejasných problémů mezi teorií a prováděním lze snázeji odstranit přímo pokusem, než výpočtem a rozvahami nad výkresem. Po vývoji se ověřený návrh předá k vypracování výrobní dokumentace a k přípravě výroby. Navrhované organizační schema by mělo vypadat dle obr. 5.3.

5.2. KONSTRUKČNÍ METODY

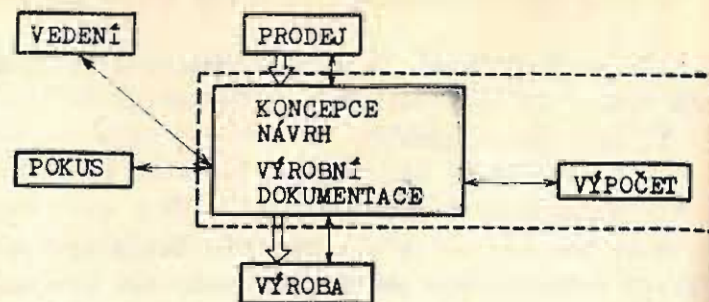
Ve sféře výroby existují různé zkušenosti z konstrukční praxe, včetně konstrukce speciálních výrob. Všem těmto praxím jsou vlastní určitá obecná pravidla, podle kterých lze konstrukční činnost organizovat. Cílem vytýpování obecných společných pravidel je usnadnění práce konstruktéra, aby si vytvořil podmínky pro správný přístup k řešení daného úkolu a nečekal na náhlý nápad, čili intuici.

K vypracování metodik konstruování se mohlo přistoupit, až byly získány dlouholeté zkušenosti z konstruktérské praxe. První náznak metodického přístupu ke konstruování lze vytýpovat již u Leonarda da Vinciho, a to svými variacemi řešení různých mechanismů. S rozvojem přírodních věd a získáním nových poznatků, zavedených do konstruktérské činnosti, vznikly nové požadavky a hlediska pro stavbu strojů, přístrojů a zařízení. Jsou to např. požadavky na správné dimenzování, na tuhost, malé opotřebení, na malý třecí odpor, na technologičnost konstrukce, na tok sil apod.

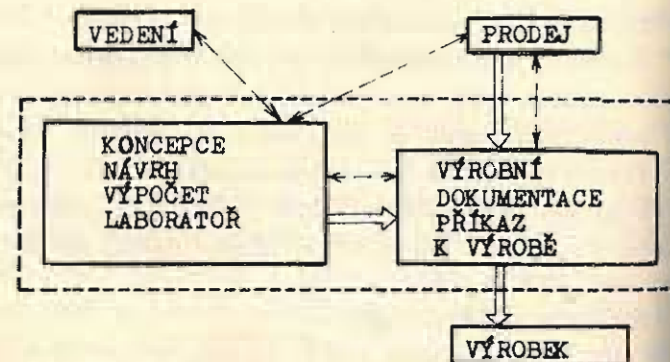
Vlastní metodický přístup ke konstruování lze najít až ve 20. letech našeho století. Rozvojem techniky a s požadavky na urychlení konstrukčního procesu se začal hlavní úkol dělit na jednotlivé kroky. Tyto se pak podrobily zkoumání a hodnocení protikladných požadavků, a to na základě již poznatých vlivů, různých vlnílostí. I když řešení technického úkolu bylo ovlivněno intuicí, začaly se navrhovat různé varianty základního řešení s ohledem na materiál a technologii. Tyto varianty se zkoušely a zvažovaly s ohledem na výrobní náklady.

Dalšími postupně zaváděnými kroky v časovém sledu byly:

- zavedení kritérií pro tvarování strojních dílců s ohledem na: minimální



Obr. 5.2



Obr. 5.3

klady, minimální požadavky na prostor, minimální hmotnost, minimální ztráty a nejvhodnější obsluhu;

- zavedení funkčního principu, kterému měl být podroben materiál a tvar;
- požadavek přesné formulace úkolu;
- systematické řešení variant z rozměrového náčrtu, rozděleného na podsestavy a dílčí skupiny;
- vytvoření nauky o tvarování s ohledem na technologii a seriovost výroby;
- rozdělení konstrukce na tři fáze, a to na stanovení principu ať vymyšleného nebo převzatého, na vlastní konstrukci a na konečné provedení;
- zavedení požadavků na konstantní tloušťku stěn, na vylehčené konstrukce;
- vytvoření fenoménu silového toku;
- zavedení principu homogenity, kterému se má podrobit tvarování součásti či výrobku.

Bez posledních kroků nejsou možné moderní konstrukce.

Systematické uspořádání všech obecně platných principů a požadavků vytváří různé metodiky konstruování. Sestavení metodik konstruování umožňuje:

- lepší a hospodárnější výrobu;
- racionalizovat práci a vytvářet předpoklady k automatizaci konstrukčních prací;
- urychlovat vzdělávání konstruktérů;
- nalezení optimálního řešení bez ohledu na speciální zaměření konstrukce;
- dodání řešení nepodléhajícího náhodě;
- snadné převedení na příbuzné úkoly;
- snížit pracnost, šetřit časem, vymýtit chyby a zvýšit zájem o konstruování;
- členění konstrukce na jednotlivé, přehledné a korigovatelné kroky;
- zvýšení úrovně konstruktérské práce.

Zavedení dobrých konstrukčních metod do praxe vede k racionalizaci práce, která se promítne do zhodnocení nákladů, umožňuje rozšíření konstrukčních struktur a dává podklady pro správnou předkalkulaci v časovém předstihu.

V následujících konstrukčních metodách jsou promítnuty dlouholeté zkušenosti konstruktérské praxe ze strojírenských oborů, a to především z těch, které měly uspokojovat potřeby spotřebitelů jak co do množství, tak co do variant. Na prvním místě to byly zkušenosti z konstrukcí přesné a jemné mechaniky, ze stavby převodů a z konstrukce elektromechanických přístrojů, protože v těchto oborech se daly nalézt jednoznačné a systematické souvislosti. Dále to byly zkušenosti z fyzikálně technické řídicí techniky a naposled praxe ze stavby velkých strojů a zařízení.

Prvou navrženou systematickou konstrukční činností, položenou na obecné a spíše teoretické rovině, byla systematika Hansenova. Hansen ve své metodice rozděluje konstrukční činnost na čtyři fáze a to na:

- stanovení základního principu;
- hledání a kombinování prvků řešení - pracovní princip;
- kritiku chyb;
- hodnocení srovnáním.

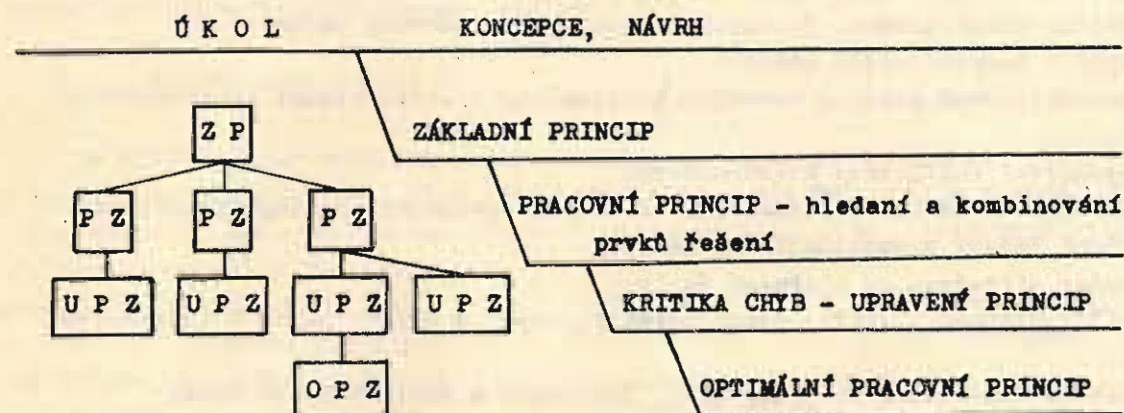
Před stanovením základního principu řešení musí předcházet analýza, kritika a upřesnění úkolu. Výsledkem této činnosti mají být vytýpovaná uspořádaná hlediska, čili podstata úkolu, tj. celková funkce se vstupními a omezujícími podmínkami. Toto tvoří tzv. základní princip. Základní princip musí být formulován tak, aby obsahoval všechna možná řešení včetně řešení zatím nerealizovatelných.

Druhá fáze spočívá v hledání a získání rozhodujících poznatků pro stanovení pracovního principu nebo způsobu. Tohoto docílíme vhodnou a účelnou kombinací dí-

čích funkcí a stavebních prvků. Na základě kombinací dostaneme různé varianty řešení základního principu, do něhož se mohou promítat i jiná kritéria, jako jsou např. druh pohybu, způsob přenosu energie, tvar ozubení, poloha os apod.

Třetí fází je kritika chyb. Pomocí kritického rozboru navržených pracovních principů, resp. způsobů, chceme zjistit jejich nedostatky, tyto buď odstranit nebo jejich vliv zmenšit na únosnou míru. Tímto postupem vznikne tzv. upravený nebo zlepšený pracovní princip, resp. způsob.

Poslední fází je hodnotové srovnání upravených pracovních principů, resp. způsobů. Hodnotovým srovnáním má být nalezen takový pracovní princip nebo způsob, který bude optimálně vyhovovat všem kladeným požadavkům. Vytváří se tak optimální pracovní princip nebo způsob. Tento optimální pracovní princip (způsob) tvoří vstup - úkol - do další konstruktérské činnosti, kde se postupuje výše uvedenou metodou. Schematicky je výše popsaná metoda, aplikovaná na proces koncipování, navrhování, znázorněna na obr. 5.4.



Obr. 5.4

Rodenaacker [3] použil ve své konstrukční metodě zkušeností ze stavby přístrojů a strojů. Podle Rodenaackera se daný úkol musí nejprve abstrahovat na polotovár, kterým je buď energie, látka nebo signál. Pro zpracování daného polotovaru se hledá fyzikální princip, jehož realizací, tj. konstrukcí se převede polotovár na hotový výrobek. V metodice jsou navrženy tyto postupné kroky:

- vyjasnění úkolu, tj. hledání všech činných souvislostí pro konkrétní formulování úkolu;
- stanovení funkční struktury, tj. hledání logických vazeb pro realizaci úkolu na základě dvouhodnotové logiky jako např. dělení - spojování;
- stanovení fyzikálních principů (jevů), tj. hledání fyzikálních souvislostí, kterými se dají uskutečnit logické vazby;
- stanovení místa působení, tj. hledání konstrukčních cest pro realizaci fyzikálních principů a jejich prostorové umístění, jako jsou činné plochy, látky, pohyby apod.
- matematické určení logických, fyzikálních a konstrukčních souvislostí, tj. např. určení návaznosti logických postupů, matematické vyjádření fyzikálních jevů pro daný úkol, rozměrové stanovení dílů;
- potlačení rušivých vlivů a vyloučení nebo omezení chyb na nejmenší míru;
- provedení celkové konstrukce, tj. návrh přístroje, resp. stroje, včetně variant řešení;
- kritická volba řešení, tj. nalezení optimálního řešení, varianty.



Obr. 5.5

Uvedená metoda by měla být podepřena pokusem již ve fázi hledání fyzikálních souvislostí. Vývojový diagram této metody udává obr. 5.5.

Tato metoda má své uplatnění nejen v normální konstrukci, ale je vhodná i pro vynalézání nových přístrojů nebo strojů.

Roth [5] dělí konstrukční proces do čtyř hlavních vývojových kroků.

První hlavní vývojový krok se zabývá formulováním úkolu, které má stanovit přesné znění na základě:

- provedení rozboru současného stavu obecně formulovaného úkolu (literární, patentová rešerše);
- vytypování jmenovité funkce, technických požadavků a jmenovitých nákladů, podle kritérií výběru, které se mají vybrat z připravených katalogů.

Druhý hlavní vývojový krok spočívá v získání funkční struktury, která má splňovat jmenovitou funkci. Zde se postupuje ve dvou krocích, a to ve stanovení

- obecné funkční struktury,
- speciální funkční struktury.

Obecná funkční struktura obsahuje obecné charakteristiky, které mají dávat základní technický obraz, tj. látku, energii, signál, spojení, změnu, akumulaci a vedení. Tyto obecné charakteristiky se postupně spojují buď seriově nebo paralelně, a to podle každé věty upřesněného úkolu. Tímto způsobem můžeme dostat více řešení, více variant řešení. Pro různá zapojení můžeme opět použít různých katalogů základních spojení.

Speciální funkční struktura hledá v každém svém kroku fyzikální princip (efekt), pokud možno v matematické formulaci, pro realizaci obecné funkční struktury. Kombinací různých fyzikálních principů vznikají varianty.

Třetí hlavní vývojový krok má za úkol provést tvarování výrobku. Zde se vychází nejdříve s geometrickou a materiálovou realizací dílčích funkčních kroků. Tímto tvarováním vznikají varianty řešení zadaného úkolu. Z těchto variant řešení se vyberou ta nejlepší, a ta se podrobí technologickému rozboru. Výsledkem má být to řešení, které nejlépe vyhoví výrobně technickým hlediskům.

Poslední hlavní krok tvoří vypracování výrobní dokumentace podle běžných zvyklostí.

Informace ke všem jednotlivým krokům by měly být získány z katalogů. Příkladem takového katalogu může být např. řešení konstrukčních uzlů uvedených v Základních konstruování od Volkova [9] nebo katalogy valivých ložisek s příklady ukládání ložiskových uzlů apod.

Tato metoda nalezla uplatnění ve stavbě elektronických přístrojů. Vývojový diagram je na obr. 5.6.

U Kollera [4] dochází ke členění konstrukčního procesu na jednotlivé kroky, které jsou podmíněny příslušnými činnostmi a rozhodnutími nebo zkouškami. Cílem navržené metody je převedení konstrukční činnosti buď částečně nebo úplně na počítač. Náplň práce jednotlivých kroků umožňuje tyto sloučit a vytvořit tak ucelenou oblast. Tyto oblasti máme v konstrukčním procesu celkem čtyři. Jsou to:

- funkční syntéza,
- kvalitativní syntéza,
- kvantitativní syntéza,
- vlastní výroba.

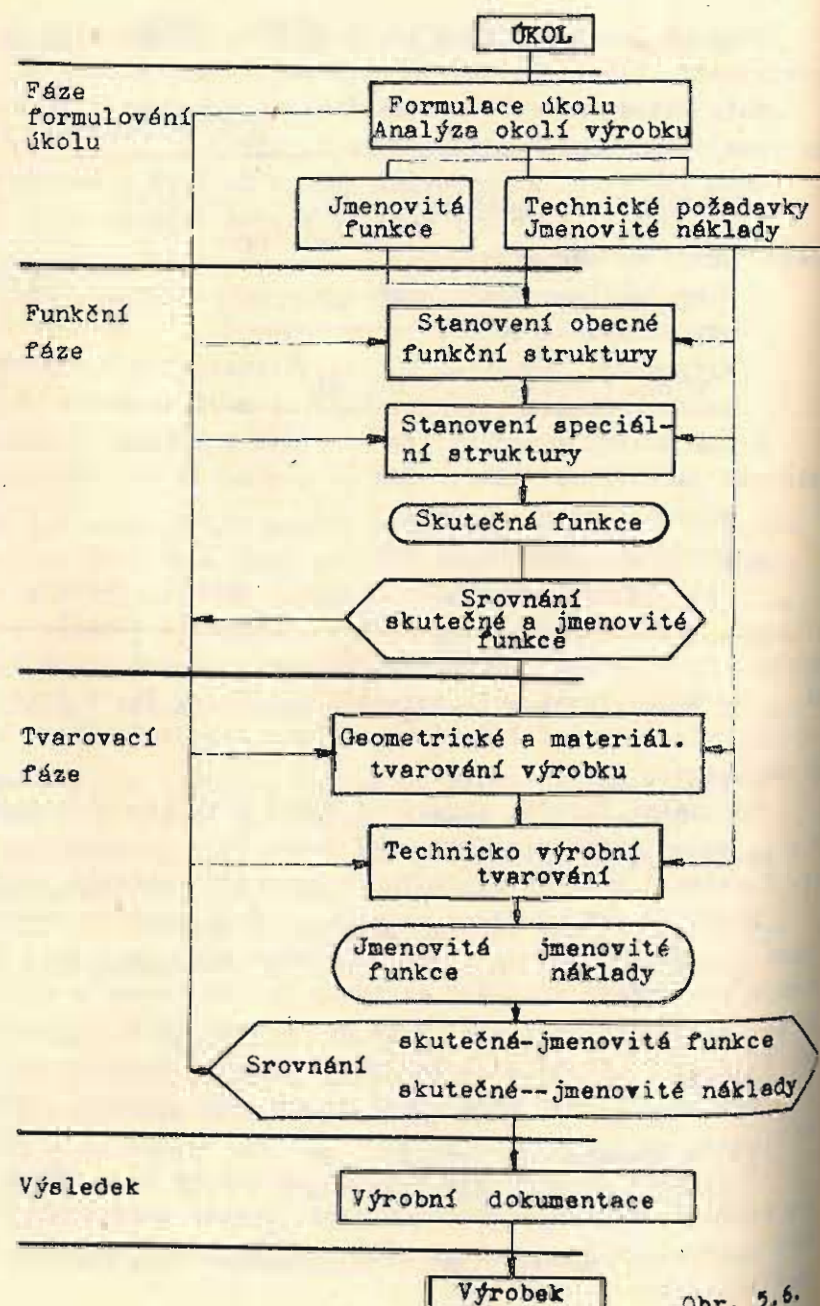
Funkční syntéza má, na základě stanoveného úkolu a celkové funkce, určit základní operační strukturu. Z ní se pak vyberou nosné varianty řešení, které postupují do kvalitativní syntézy. Při odvozování funkcí se vychází z toho, že v technickém systému se

mohou měnit pouze energie, materiály a signály, a jejich příslušné toky podle velikosti a směru. Pro změny uvedených veličin je stanoveno celkem 12 funkcí a jejich inverzí, které jsou nazývány základními operacemi, jako např. vedení - izolace, zvětšení-zmenšení, spojení - přerušování atd. V technickém systému se mimo fyzikální vazby uplatňují i vazby logické. Tyto logické vazby musí být proto zahrnuty do výsledné funkční syntézy.

Kvalitativní syntéza má za úkol podat kvalitativní návrh. K návrhu jsou zapotřebí stavební prvky, jejichž kombinací vznikají komplexní systémy podrobené výběru pro výsledný návrh.

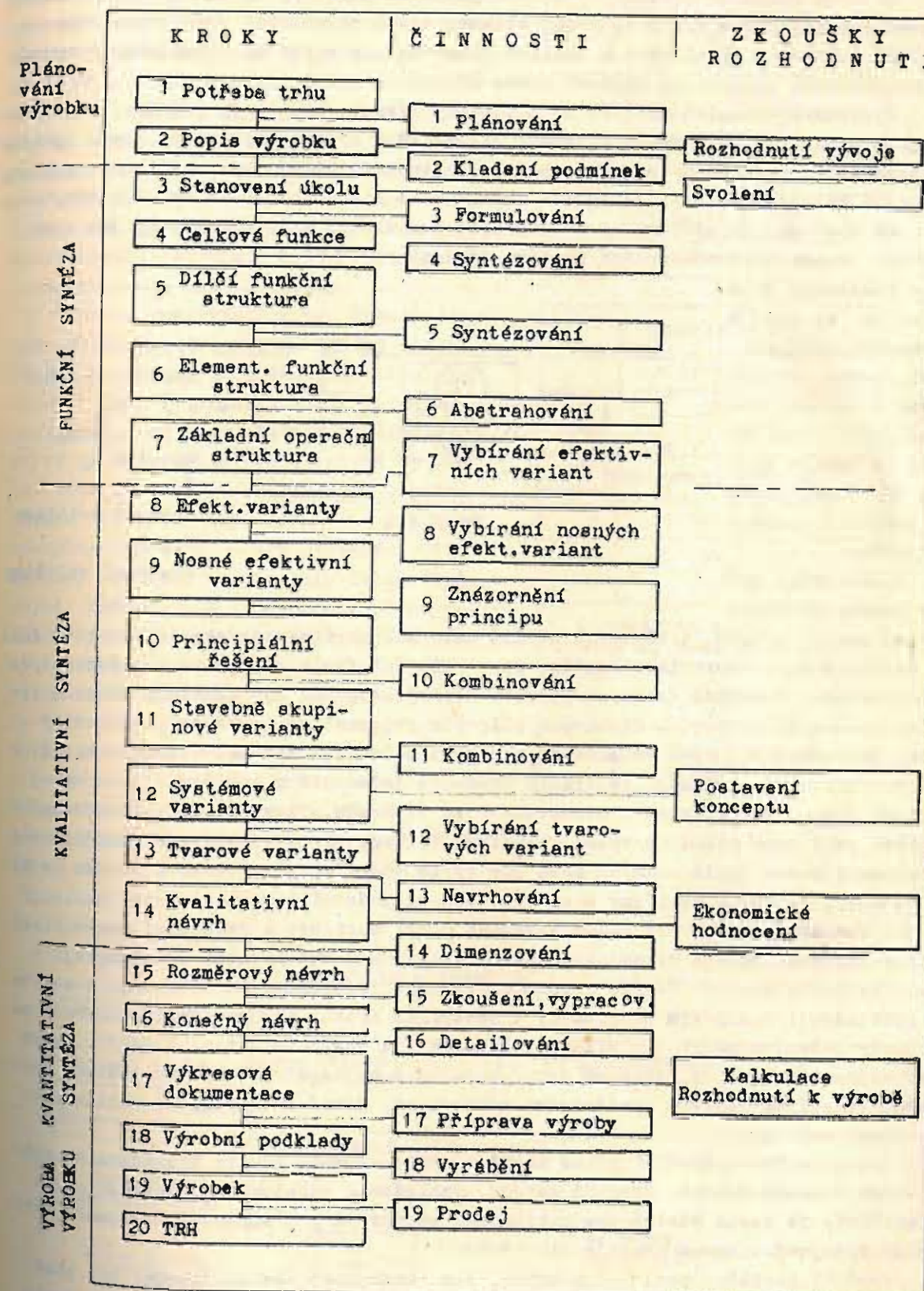
Kvantitativní syntéza odpovídá klasické konstrukční a výpočtové práci.

Kvalitativní a kvantitativní syntéza realizuje pouze fyzi-



Obr. 5.6.

kální, chemické a biologické principy. Pro nasazení počítačů musí být mimo členění na jednotlivé kroky udána také přesná pravidla pro jejich provádění. U všech dílčích kroků se provádí kritické hodnocení dle různých kritérií. Rovněž kritio-



Obr. 5.7

kému hodnocení jsou podrobeny i varianty řešení, např. s ohledem na volbu materiálu, tvarování funkčních ploch apod.

Vývojové schéma této metody je udáno na obr. 5.7.

Do konstrukčního procesu se mohou aplikovat i metody systémové techniky. Pod systémovou technikou rozumíme vědní oblast, která má za úkol připravovat metody, postupy a pomocné prostředky k analýze plánování, k volbě a optimálnímu tvarování komplexních systémů na základě práce různých vědních oborů.

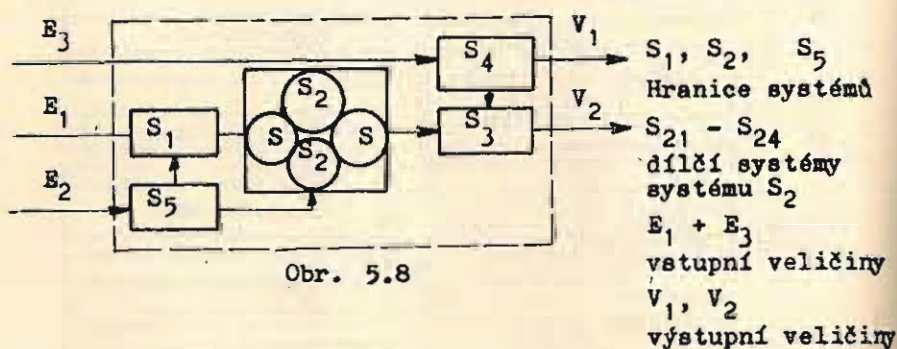
Systémová technika pohlíží na technický výkres, na stroj, přístroj a zařízení jako na určité, konkrétní systémy, hlavně však systémy dynamické. Tyto systémy se skládají z uspořádaných prvků daných vlastností, které jsou mezi sebou spojeny určitými relacemi. Systém je omezen svým okolím a spojení s ním se děje vždy mimo hranice systému. Do systému se dá vstoupit jen zvenčí a rovněž výstup jde mimo systém. Schematické znázornění systému dává obr. 5.8.

Převodění problému na systém a podsystem dává možnost tento účelně řešit v pevných postupných krocích. Tyto se musí v každém vývojovém stupni podrobit analýze a syntéze.

Konstrukční proces daného problému začíná analýzou trhu, trendových studií nebo z konkrétní zakázky. Cílem této fáze je dosažení jasné formulace daného, resp. dílčích úkolů za účelem naplánování daného systému. V druhém kroku se stanoví cílový program, tj. zaměření úkolu a vypracuje se plán kritérií. Stanovení cílového programu se považuje za důležitý krok, protože podle něho se provádí pozdější hodnocení variant řešení a slouží k výběru optimální varianty. Ve třetím kroku se jedná již o syntézu, tj. o vývoj variant řešení dle informací stanovených ve 2. kroku. Tato funkčně orientovaná syntéza je v této metodice velmi důležitým krokem, protože navrhuje funkční nebo strukturní model podle známých nebo již vyvinutých řešení. U tohoto modelu se mění vstupní, výstupní veličiny a spojení pomocí početních variací a optimalizují se dle zadaného úkolu. Pro každý navržený model musí být k dispozici matematické vztahy pro statickou a dynamickou charakteristiku prvků. Těmito se získávají v kvantitativním postupu řešení přechodové, resp. frekvenčně závislé funkce a tyto se porovnávají s cílovým programem. V následném kroku, tj. analýze, podrobují se varianty řešení rozboru pro získání vlastností a charakteristik. V dalším kroku následuje hodnocení, z něhož má vyjít relativně nejlepší řešení. Na základě nalezeného řešení se dojde k systémovému rozhodnutí, které má sloužit k naplánování provedení systému.

Vývoj nejde po ideální přímé cestě a proto se musí použít iterativních způsobů pro vlastní řešení. Uvedená metoda, vzhledem k požadovanému matematickému zpracování, je dosud vhodná pro navrhování přístrojů pro zpracování signálů. Příslušný vývojový diagram ukazuje obr. 5.9.

Použití zavádění postupných kroků, tzv. diskurzí postup, nemusí být plně vyhovující pro konstrukční proces, protože přibývají stále nové poznatky. Proto se objevila snaha chápat konstrukční proces jako proces "učení". Podstata tohoto

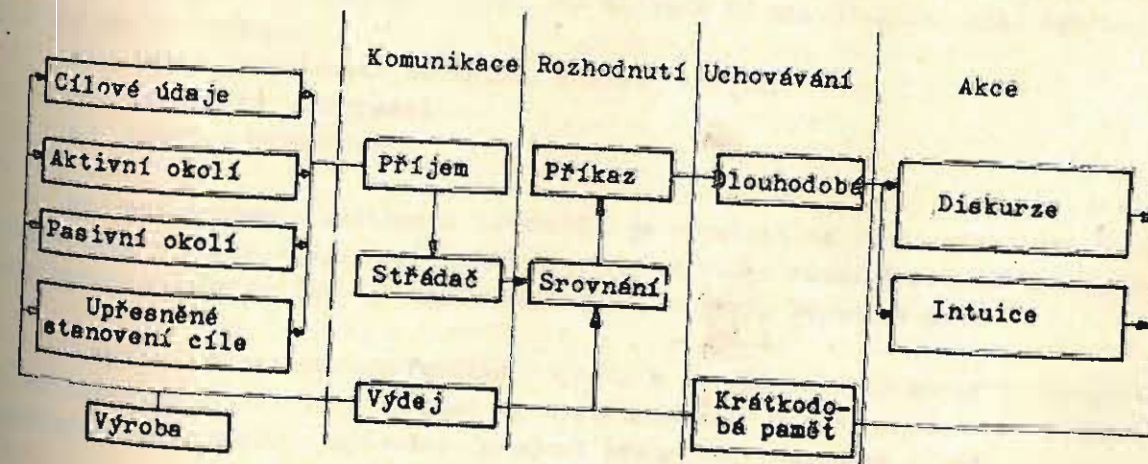


Obr. 5.8

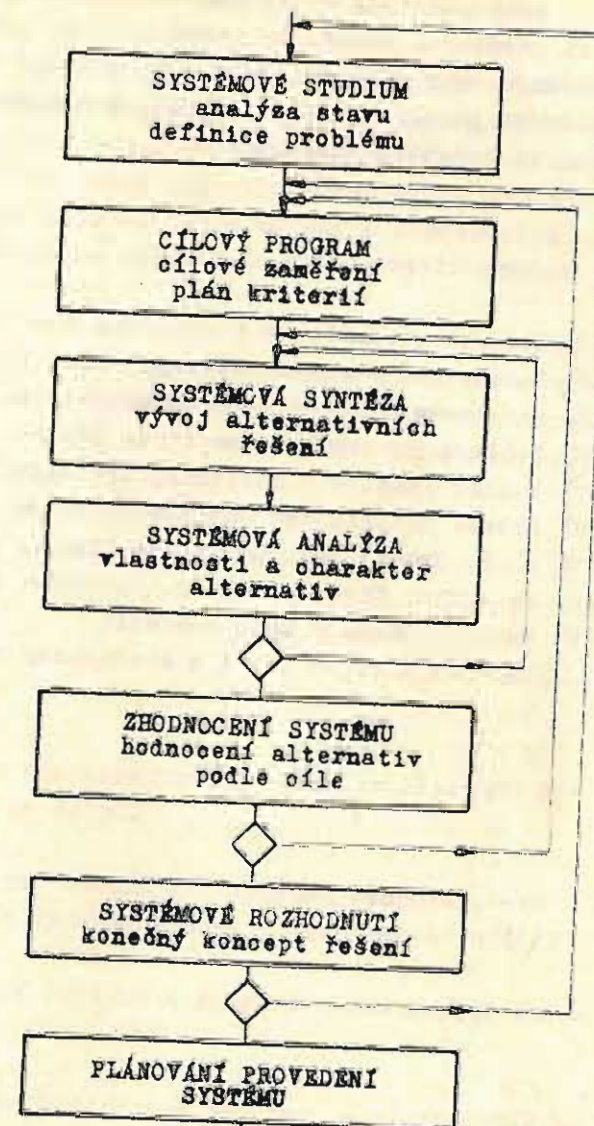
procesu spočívá ve využití zpětné vazby z konstruování, která je korelována konstruktérem, aktivním a pasivním okolím a možnostmi lidského myšlení. Dalšími prvky, které mají vstoupit do tohoto procesu, jsou poznatky z kybernetických systémů a to hlavně z oblasti napájení, řízení a učení. Pod učením máme chápat vyšší formu pravidel, které při konstantní kvalitě mají z kvantitativních variací měnit kvalitu konstrukční činnosti. Je to opodstatněno tím, že při konstruování se mění nejen technické parametry, ale také principy.

Postup konstruktéra při řešení daného úkolu spočívá v tom, že jej sdělí, včetně navrhovaného řešení, učícímu systému. Pomocí diskurzí a intuitivních akcí vznikají řešení (ideje), které se uchovávají v krátkodobé paměti. Tato řešení se srovnávají s požadavkem okolí (zadaným úkolem) a vzniklé odchylky vedou k novým řešením, tak dlouho, až budou minimální. Okolí úkol nejen zadává, ale současně se přímo účastní jeho řešení. Aktivním okolím rozumíme takové okolí, které reaguje na přicházející informace a přímo zasahuje do řešení. Pasivní okolí připravuje pouze požadavky na řešení.

Tímto "učícím se" procesem se zvyšuje stále tok informací a zlepšují se tak vstupy pro aktivní děj. Vývojový diagram této metody je na obr. 5.10.



Obr. 5.10.



Obr. 5.9.

Byly navrženy další konstrukční metody. Svou podstatou však zůstávají v mezích uvedených metod, od nichž se liší jen zvětšováním počtu postupných kroků. Výhodným se v poslední době jeví zřízení DATABANKY pro konstrukční proces, která uchovává patentovou dokumentaci, programy pro výpočty a kontrolu a pro zhotovování technické dokumentace.

Literatura:

- [1] Sborník přednášek z konference konstruktérů. Praha 1976.
- [2] Hansen: Konstruktionwissenschaft. VT Berlin.
- [3] Rodenacker: Methodisches Konstruieren. Springer, Berlin 1970.
- [4] Koller: Konstruktionsmethode für den Maschinengeräte und Apparatenbau.
- [5] Beitz: Konstruktionslehre. Springer, Berlin 1976.
- [6] Hubka: Theorie der Maschinensysteme. Springer, Berlin 1976.
- [7] N. I. Orlov: Základy konstrukce.
- [8] Kolektiv: Části strojů I. Skriptum VUT Brno 1980.
- [9] Volkov: Základy konstruování.
- [10] Boháček a kol.: Části a mechanismy strojů I. Skriptum VUT Brno.

6. SPOJOVACÍ METODY A PRVKY

Ve stavbě přístrojů, přesných strojů a zařízení vznikají mezi uzly a součástmi vzájemné vazby. Tyto vazby jsou charakterizovány buď vzájemnou pohyblivostí nebo nepohyblivostí. Vzájemná pohyblivost uzlů a dílců je dána požadovanou funkcí a vyplývá z kinematického schématu. Nepohyblivé vazby zaručují neměnnou polohu uzlů a dílců. Nepohyblivých vazeb docílujeme spojováním. Volba metody a spojovacích prvků je podmíněna požadovanou přesností, výrobními možnostmi, požadavky na montáž a nákladovostí na výrobu.

Spojovací metody a prvky mají zaručit dostatečnou pevnost a požadovanou přesnost vzájemné polohy dílců a uzlů přístroje, stroje. Vlastní spojení se má uskutečňovat, pokud je to možné, bez dalších součástí a přípravků, které jednak zvyšují náklady na výrobu, jednak mají vliv na přesnost spojení.

Spojovací metody můžeme s ohledem na požadavek případné demontáže rozdělit do tří skupin, a to na

1. nerozebíratelné
2. podmíněně rozebíratelné
3. rozebíratelné

Nerozebíratelné spojovací metody jsou charakterizovány tím, že případná demontáž je možná jen porušením jednoho či více dílců.

Podmíněně rozebíratelné spojovací metody umožňují případnou demontáž, ale jen s obtížemi, a někdy může opětovná montáž vyžadovat úpravy spojovaných dílců.

Spojovací metody rozebíratelné umožňují snadnou a opakovatelnou montáž a demontáž dílců a uzlů.

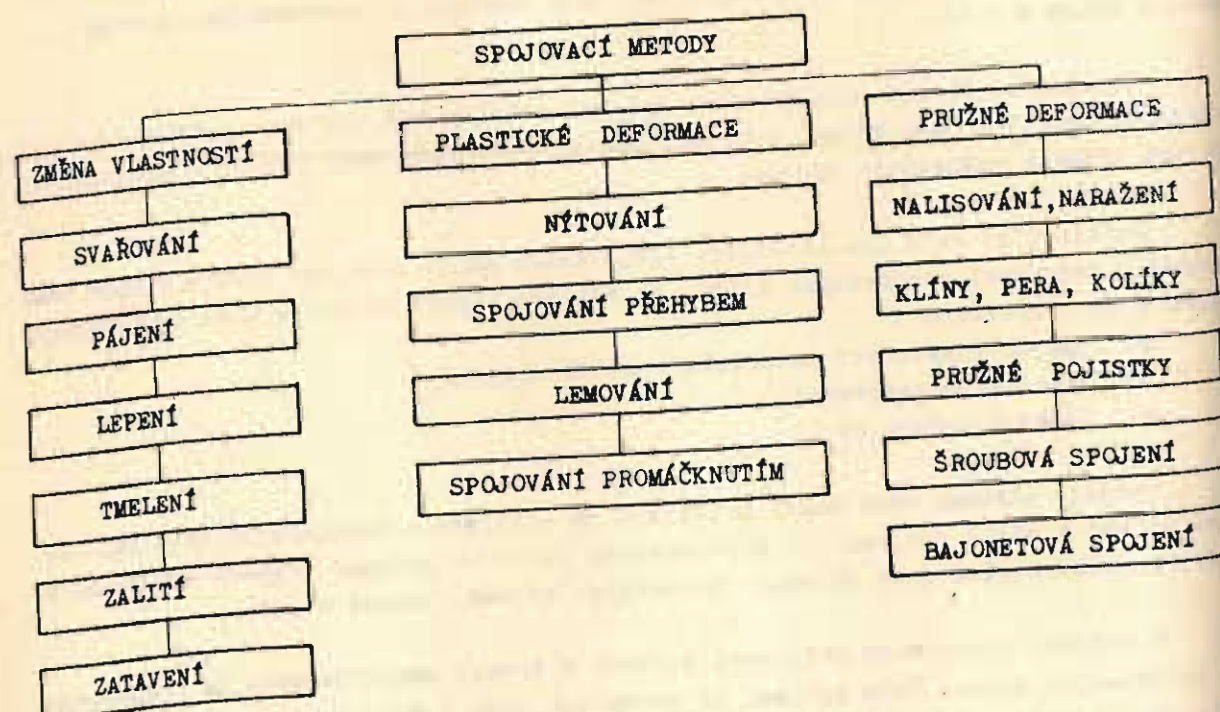
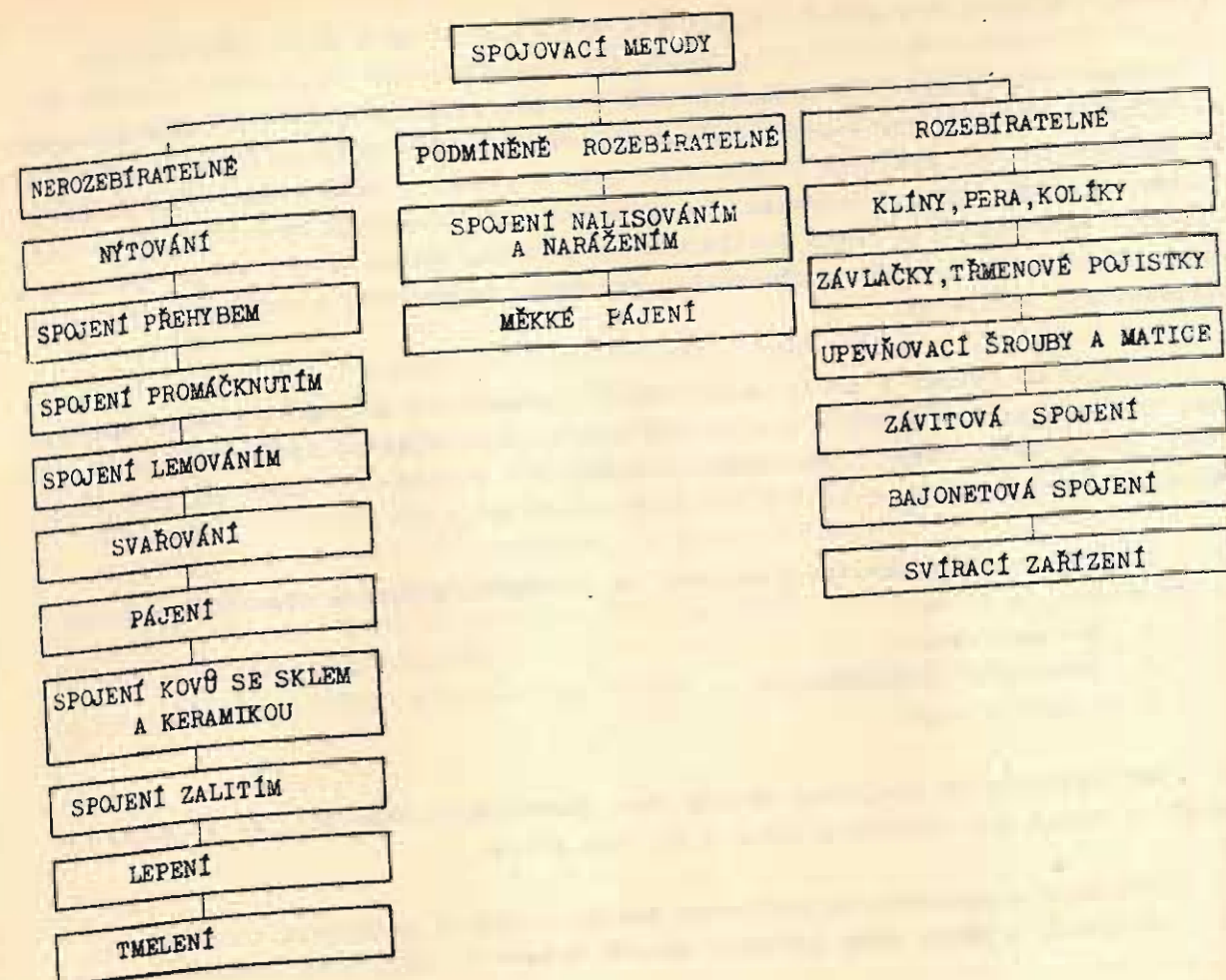
Uvedené spojovací metody mohou být uskutečněny buď nepřímo, použitím delšího spojovacího dílce nebo přímo, kdy příslušným tvarováním spojovaných dílců docílíme jejich přímého vzájemného spojení.

Dalším hlediskem pro rozdělení spojovacích metod může být druh a stupeň změn, případně deformací spojovaných dílců. Na základě tohoto hlediska může být spojení dílců a uzlů docíleno

- a) změnou vlastností materiálu v místě spojení
- b) plastickou deformací
- c) pružnou deformací

Spojení změnami vlastností materiálu je vyvoláno molekulárními nebo kapilárními silami v místě spojení. Do této skupiny patří ve většině případů spojovací metody nerozebíratelné jako je např. svařování, pájení, lepení a pod.

U spojení plastickou deformací dochází k trvalé změně jednoho ze spojovaných či spojovacího dílce. Toto spojení se vyskytuje opět u spojovacích metod nerozebíratelných jako např. u nýtování, spojení přehybem, lemováním a pod.



Spojení pružnou deformací jednoho či více dílců vyvolává jejich vratnou změnu tvaru při demontáži. Tento druh spojení je charakteristický pro spojení rozebratelná a i pro některé podmíněně rozebratelná spojení. K tomuto druhu spojení patří spojení šroubová, svěrná, kolíky, nalisováním ap..

Někdy se přistupuje k rozdělení spojovacích metod podle účinku, jakým se spojení uskutečňuje. Dle tohoto hlediska jsou spojovací metody

- α) se silovým účinkem
- β) s tvarovým účinkem
- γ) s materiálovým účinkem

U spojení se silovým účinkem se jedná o vyvození třecích sil nebo pružných deformací, jak je tomu např. u nalisovaného spojení, šroubového spojení, svěrného spojení ap..

Spojení s tvarovým účinkem je vyvoláváno tvarem nebo změnou tvaru spojovaného nebo spojovacího dílce, jako je tomu např. u spojení s klíny, pery, nýtování, spojení s přehybem ap..

V některých případech spojení se mohou účinky spojovat jako je u nýtování za tepla se přenosu sil účastní nejen tvar, ale i silový účinek tj. tření mezi spojovanými dílci.

Uvedená obecná hlediska, kterými je možné docílit vzájemného spojení uzlů a dílců přístrojů, strojů a zařízení se mohou realizovat různými způsoby. Tím vznikají jednotlivé druhy spojení, která jsou charakterizována použitými technologiemi.

Počet druhů spojovacích metod v přesné mechanice je větší než ve všeobecném strojírenství. Zvětšení počtu druhů spojení a jejich užití je ovlivněno silovými a deformačními poměry, požadavky na snadnou a urychlenou montáž a demontáž, požadavky na přesnost, použitím různorodých materiálů, materiálů ve všeobecném strojírenství neobvyklých, požadavky na sériovost a hromadnost výroby a tím spojené ekonomické náklady a požadavky na vzhled. Při volbě spojovací metody se musí tyto aspekty brát v úvahu, aby byly ve vzájemném optimálním souladu funkčnost, vzhled, technologie a ekonomika.

Přehled v přesné mechanice nejčastěji užívaných spojovacích metod a druhu spojení udává přehled na str. 118.

Vezmeme-li v úvahu stupeň a druh změn vlastností a deformací materiálů spojovaných dílců, pak lze použít rozdělení spojovacích metod uvedené na str. 118.

6.1. NÝTOVÁNÍ

Nýtování je tvarové popř. i silové nerozebíratelné spojení dvou, či více dílců, kterého se docílí plastickou deformací nýtového dřívku procházejícího příslušnými otvory spojovaných dílců, tak, že se vytvoří závěrná hlava. Nýtování je buď nepřímé, kde ke spojení dvou či více dílců se použije samostatného spojovacího prvku - nýtu, nebo přímé, kde se nýtový dřív vyrobí na některém ze spojovaných dílců.

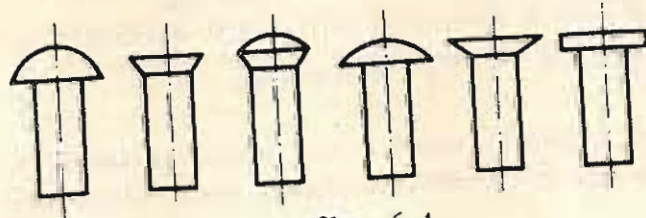
Nýtování do průměru nýtu $d = 10 \text{ mm}$ se provádí za studena, nad tento průměr obvykle za tepla. Při nýtování za studena se materiál nýtového dřívku rozpěchuje do nýtové díry a vytvoří se závěrná hlava. V tomto případě se síly působící na nýtový spoj přenášejí smykem. Při nýtování za tepla dochází po rozpěchování dřívku k jeho smrštění a tím i k vyvození tlakových sil na spojované dílce, které se zúčastní přenosu zátěžných sil.

V přesné mechanice je použití nýtového spojení omezeno, protože k rozpěchování a k vytvoření závěrné hlavy jsou nutné relativně velké síly, které vyvolávají ve spojovaných částech plastické a i nestálé deformace. Nýtových spojů se proto užívá hlavně při konstrukci skříní a nosných prvků přístrojů, strojů a zařízení. V nynější době je nýtování vytlačováno svařováním. Vzhledem ke svařování má nýtování v některých případech výhodu v jednodušší výrobě a v nutných případech je možná demontáž odstraněním závěrné hlavy. Spojení lze snadno kontrolovat a dále se nýtováním dají spojovat nesvařitelné materiály. Vzhledem ke svařování mají nýtovací konstrukce větší hmotnost. Při sériové či hromadné výrobě lze použít nýtování za tepla i pro nýty menších průměrů než $d = 10 \text{ mm}$. Rovněž nýtování za tepla při malých průměrech používáme ke spojování křehkých materiálů. Zde se ohřev ve většině případů provádí elektricky.

6.1.1. Nepřímé nýtové spojení

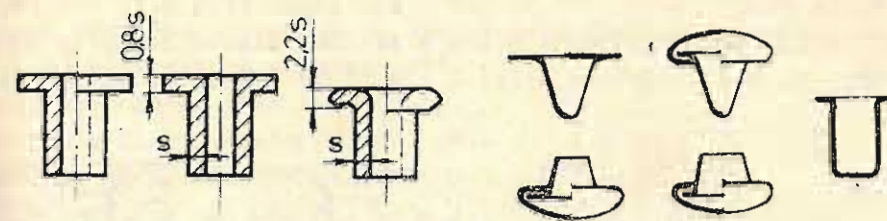
Nepřímé nýtové spojení používá nýty ke spojování dílců. V přesné mechanice se používá obvykle nýtů malých průměrů, někdy volíme nýty trubkové za účelem zmenšení nýtovacích sil a deformací spojovaných dílců. Velmi časté je použití nýtů zapuštěných, nýtů s čokovitými hlavami a nýtů plochých. O použití různých tvarů hlav rozhodují nejen silové poměry a konstrukční důvody, ale i požadavky na estetický vzhled konstrukce. Přehled nejčastěji užívaných nýtů udává obr. 6.1

Materiál
nýtů bývá měkká
ocel, hliník,
slitiny hliníku
(Al Cu Mg) mosaz,
měď.



Obr. 6.1

Trubkové nýty jsou buď slabostěnné nebo silnostěnné, mohou být jednodílné nebo dvoudílné. Tvary těchto nýtů jsou znázorněny na obr. 6.1.2. Tyto nýty se vyrábějí z měkké oceli nebo mosazi.



Obr. 6.2

Obr. 6.3

Při sériové výrobě lze použít přímo válcových dřívků a jak hlava přípěrná, tak i závěrná se vytvoří současně. Při menších zátěžných silách a při požadavku na velkou délku dřívku lze místo nýtu užít válcových kolíků k roznýtování (obr. 6.3).

Výpočet nýtového spojení na únosnost na střih a otlačení u jedno i vícestržných nýtů, včetně kontroly spojovaných dílců a měrného tlaku ve stykových plochách se provádí dle vztahů uvedených v předmětu Části strojů.

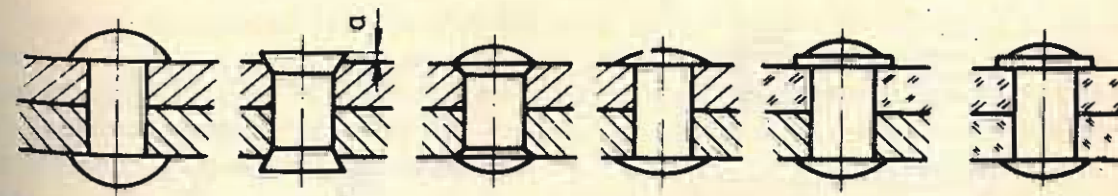
Dovolené napětí v nýtových spojích v závislosti na druhu namáhání a mezi kluzů $\sigma_{0,2}$ udává tabulka obr. 6.4

Druh namáhání	Dovolené napětí	σ_{dov}	charakter zatížení
Střih spoj. dílců	$\tau_{dov} = 0,8 \sigma_{dov}$	$\sigma_{dov} = \frac{\sigma_{0,2}}{1,7}$	statický
Střih nýtů	$\tau_{dov} = 0,7 \sigma_{dov}$	$\sigma_{dov} = \frac{\sigma_{0,2}}{2,2}$	pulzující
Měrný tlak mezi stěnami	$p_{dov} = 2 \tau_{dov}$	$\sigma_{dov} = \frac{\sigma_{0,2}}{2,7}$	střídavý
Pro Al slitiny $\sigma_{dov} = (0,4 + 0,5) \sigma_{0,2}$			

Obr. 6.4

6.1.1.1. Konstrukce nýtového spojení

Pro spojování kovových součástí se nejčastěji používá plných nýtů. Přednostně se užívá nýtů s půlkulovou hlavou (obr. 6.5). Hlavy zapuštěné dle obr. 6.6 se mají provádět pokud možno s převýšením $a = 0,3 \text{ mm}$. Podmínkou pro použití zapuštěných nýtů je dostatečná tloušťka plechu. Při nýtování přeplátování u plechů tenších se doporučuje použití nýtů s hlavou čokovitou (obr. 6.7) nebo se sníženou kulovou hlavou (obr. 6.8). Použití těchto hlav dává konstrukci lepší vzhled. Při nýtování součástí z měkkých materiálů se vkládá pod závěrnou hlavu podložka (obr. 6.9, 6.10), která slouží ke zmírnění dosedacího tlaku.



Obr. 6.5

Obr. 6.6

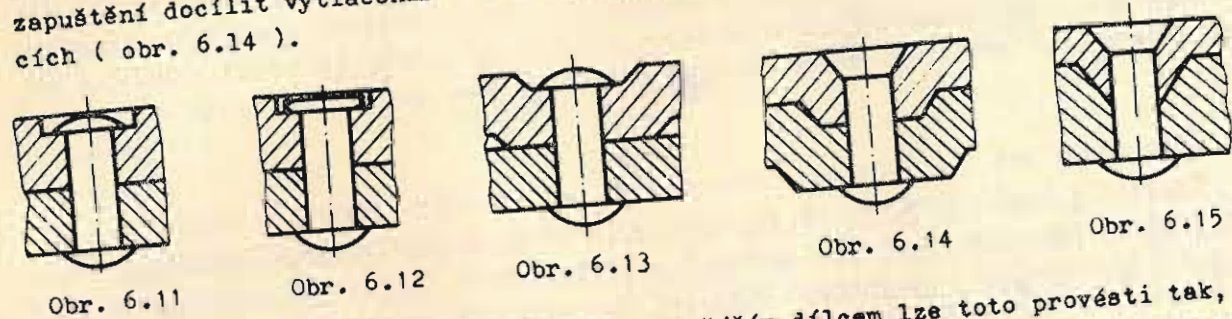
Obr. 6.7

Obr. 6.8

Obr. 6.9

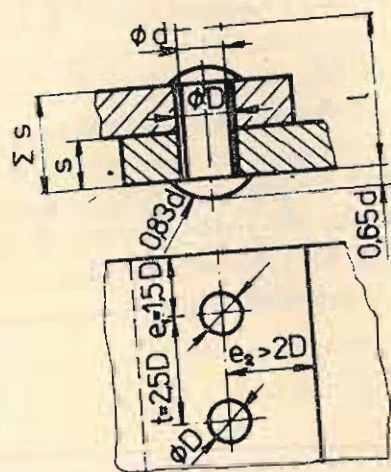
Obr. 6.10

Při požadavku na jednostranné zapuštění nýtu, zasazuje se tento do zahluubení v příslušném spojovaném dílci dle obr. 6.11 pro hlavu půlkulovou nebo dle obr. 6.12 pro hlavu plochou. Pokud jsou spojované dílce z tažného plechu lze příslušné zapuštění docílit vytlačením buď na jednom dílci (obr. 6.13) nebo na obou dílcích (obr. 6.14).



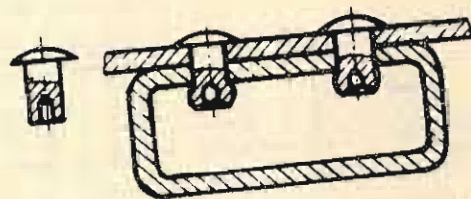
Při spojení tenkého plechového dílce se silnějším dílcem lze toto provést tak, že v silnějším dílci se vyvrtá kuželový vývrt a vložení nýtu s kuželovou hlavou se tenký dílec vytvaruje samočinně (obr. 6.15).

Návrh nýtového spoje se provádí podle empirických vztahů, vztažených na průměr nýtu resp. díry pro nýty podle obr. 6.16.

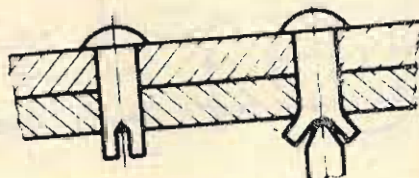


Obr. 6.16

Pro nýtové spojení dílců jednostranně přístupných používáme nýtů výbušných nebo nýtu rozštěpených. Nýty výbušné jsou opatřeny vývrtem, v němž je umístěna výbušná nálož. Zahřátím nýtu, např. pájedlem, dojde k zápalu nálože, která vytvoří závěrnou hlavu (obr. 6.17). U nýtů s rozštěpeným dříkem se závěrná hlava vytvoří roztažením rozštěpů do stran při úderech na nýt podložený na straně speciálně tvarovaným nástrojem (obr. 6.18). Je-li zapotřebí ke spojení dílců dlouhých dříků, nahrazujeme nýty kolíky k roznýtování. Nýtové spojení se provede podle obr. 6.19.



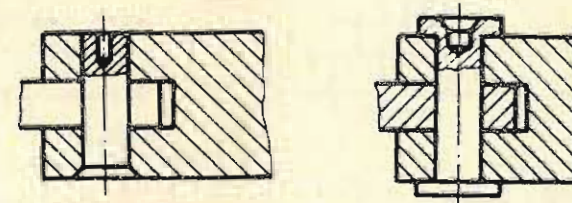
Obr. 6.17



Obr. 6.18

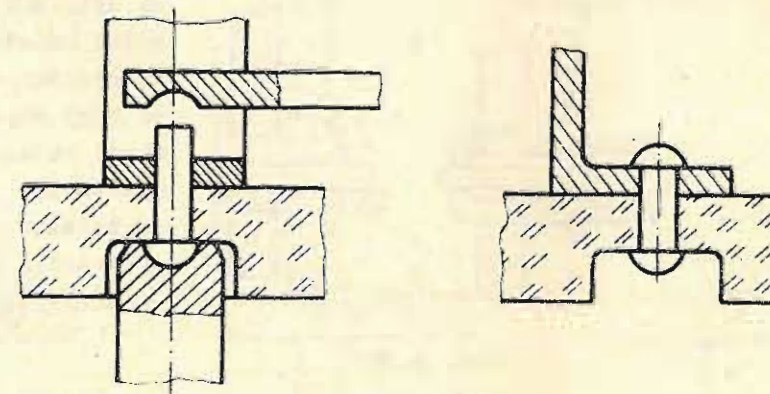
Při nýtování dílců z křehkých materiálů např. keramických, nebo kovových dílců s dílci keramickými, je nýtování za studena nevhodné pro křehkost keramiky, resp. jiného křehkého materiálu. V těchto případech se doporučuje nýtování za tepla, a to nejlépe elektrickým ohřevem nýtů.

Elektrický ohřev nýtu se provede průchodem elektrického proudu, přiváděného dvěma měděnými elektrodami přiloženými na nýt. Po docílení příslušné teploty ohřátí se elektrody k době přitlačí a tím se vytvoří závěrná hlava (obr. 6.20). Při větších průměrech nýtů se doporučuje provést na straně závěrné hlavy vývrt,

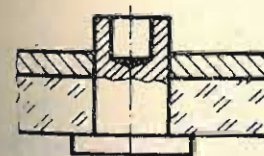


Obr. 6.19

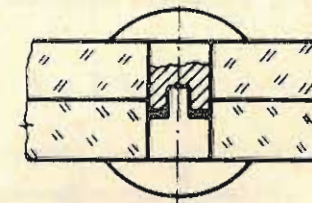
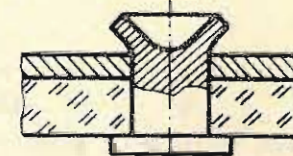
kterým se zeslabí stěny nýtů a pak plynulým tlakem se provede snýtování (obr. 6.21) bez rázů. Při spojení křehkých skleněných dílců nebo spojení skla s kovovými dílci se doporučuje nahradit nýtování pájením nebo tmelením. Spojovací dílec je složen



Obr. 6.20



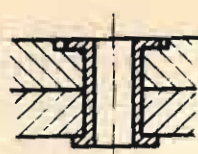
Obr. 6.21



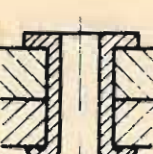
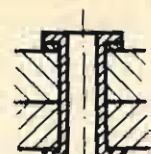
Obr. 6.22

ze dvou částí, z nichž jeden je opatřen dutinou a druhý odpovídajícím výstupkem, který se zasune do dutiny a tím se buď zapájí nebo zatmelí (obr. 6.22). Toto spojení vzhledově odpovídá nýtování.

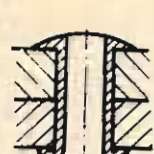
Použití trubkových nýtů je obdobné jako nýtů z plného materiálu, jen únosnost těchto nýtů je menší. Použití menších sil při vytváření závěrných hlav dovoluje spojovat téměř všechny materiály včetně izolačních materiálů. Závěrná hlava má obvykle menší tloušťku než hlava přípěrná. Pro vytvoření závěrné hlavy převyšuje dřík nýtu spojované dílce o hodnotu 0,9 d. Nýtový spoj se dělá buď s hlavou zapuštěnou (obr. 6.23) nebo s plochými převyšnými hlavami závěrnými (obr. 6.24). U měkkých materiálů se hlava podkládá podložkou (obr. 6.25). Pro plastické materiály se doporučuje vytváření hlav podle provedení na obr. 6.26 speciálním hlavičkářem.



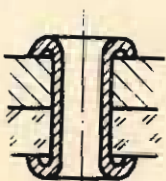
Obr. 6.23



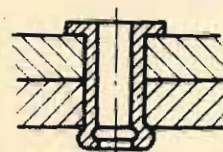
Obr. 6.24



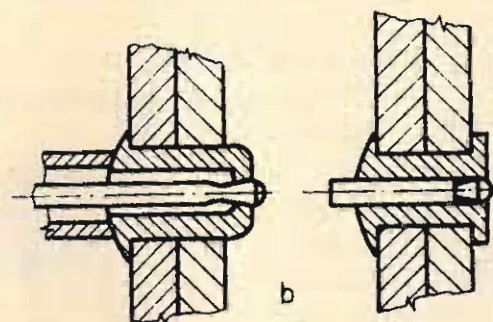
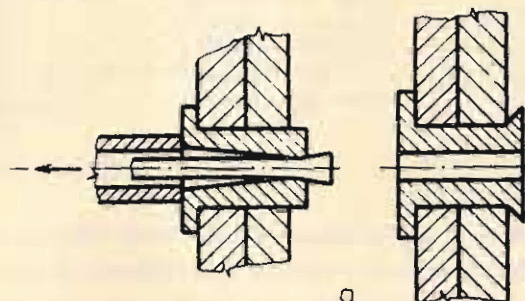
Obr. 6.25



Obr. 6.26



Obr. 6.27



Obr. 6.28

Výhoda tohoto spojení spočívá v tom, že ostré hrany hlav se zatlačí do materiálu a tím zvýší únosnost spoje. Dutých nýtů lze s výhodou použít i pro jednostranné nýtování s použitím výbušné nálož (obr. 6.27), nebo rozpěchováním materiálu do boků plynulým tahem na konci kužele vytvarovaného nýtovacího nástroje. Nýt sám má kuželovou díru. Způsob nýtování a tvar spoje ukazuje obr. 6.28 a, b.

Použití nýtů dvoudílných je omezeno pro spojení měkkých materiálů jako kůže, textil, papírová lepenka a pod.

6.1.2. Přímé nýtové spojení

Přímé nýtové spojení má v přesné mechanice širší použití než spojení nepřímé.

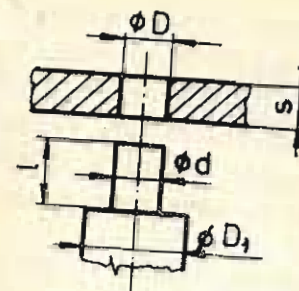
Přímého nýtového spojení se docílí tak, že jeden ze spojovaných dílců má vytvořený buď kruhový nebo pravouhelníkový čep, který prochází příslušnou dírou v druhém dílci a při nýtování se zdeformuje na požadovaný tvar. Kruhový čep je buď plný nebo je opatřen vývrtem. Pro návrh se volí (obr. 6.29) $\frac{d}{D} = \frac{2}{3}$, uložení

čepu v díře se volí $\frac{D-11}{h-9}$ nebo $\frac{H-11}{d-9}$ a délka $l = s + d$. Závěrné hlavy se vytvá-

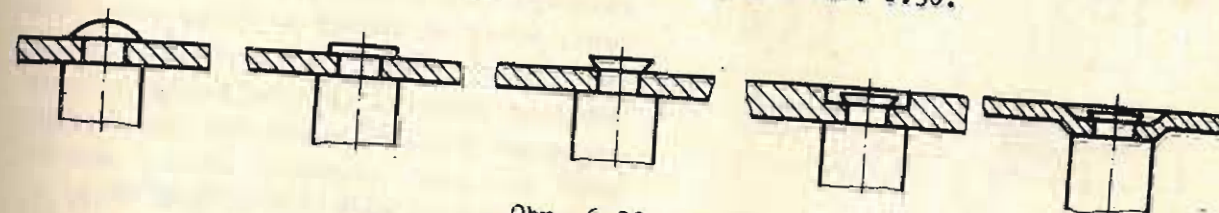
ří jako u nýtů. Běžná provedení závěrných hlav jsou na obr. 6.30. U zapuštěných hlav se doporučuje provést převýšení a pro spojení silnějšího dílce bývá úhel $\alpha = 75^\circ$ u slabšího dílce $\alpha = 90^\circ$ (obr. 6.31), a pro lepší vzhled u silnějšího dílce lze hlavu vytvarovat podle obr. 6.31.

Nýtové spojení, které má přenášet malé síly, nemusí mít závěrné hlavy. Nýtový čep mírně převyšuje spojovaný díl a spojení se docílí buď záseky pomocí sekáče nebo se materiál rozpěchuje místně důlčikem, tupým sekáčem do boků. Různá provedení těchto spojení jsou uvedeny na obr. 6.32.

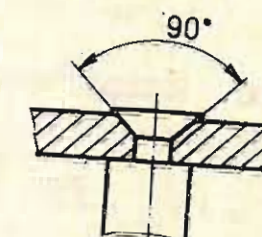
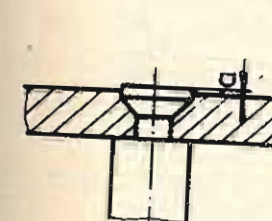
Větší průměry dřívků potřebují k roznýtování závěrných hlav velkých sil, které mohou vyvolat velké deformace ve spojovaných dílcích. Pro zmenšení sil a také pro využití rotačního nýtování opatřují se dřívky válcovými nebo kuželovými vývrtky. Délka dřívku se volí v rozmezí $l = s + (1+1,5)$ mm. Nejjednodušší provedení mává kuželové zapuštění s úhlem kužele 90° (obr. 6.33). Pro větší průměry se provede vybrání do hloubky $1 + 1,2$ mm se silou stěny 0,5 mm (obr. 6.34). Provedení dřívku podle obr. 6.35, s vnitřním průměrem slepé díry o 1 - 2 mm menší než je vnější průměr dřívku s případným kuželovým rozšířením usnadňuje technologii. Pro připojení slabostěnných trubek se použije konstrukce podle obr. 6.36.



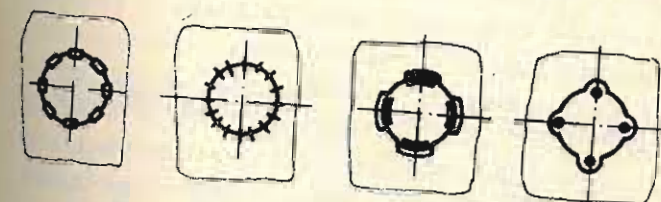
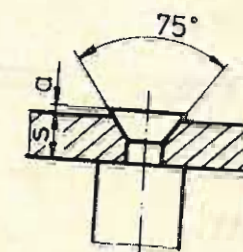
Obr. 6.29



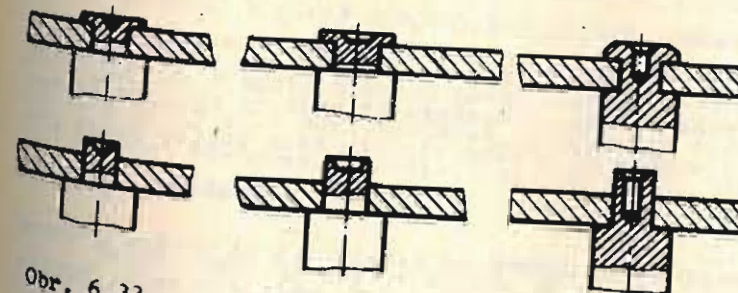
Obr. 6.30



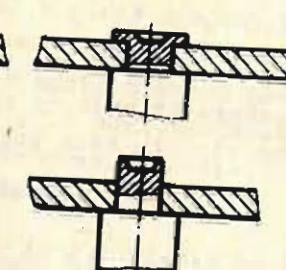
Obr. 6.31



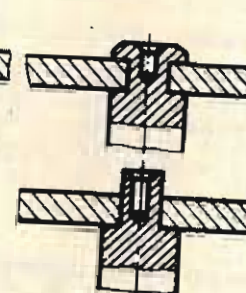
Obr. 6.32



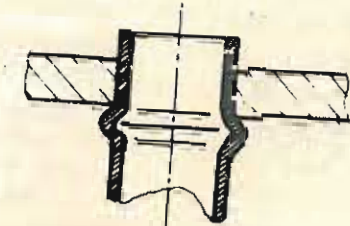
Obr. 6.33



Obr. 6.34

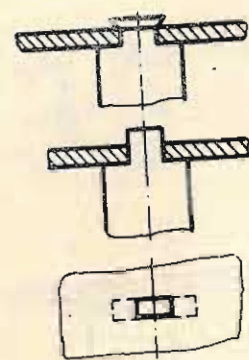


Obr. 6.35

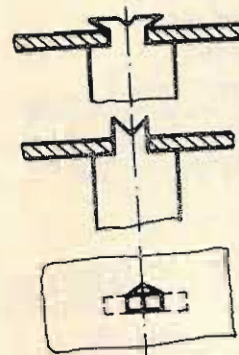


Obr. 6.36

Přímé nýtové spojení umožňuje spojovat i ploché dílce na kolmo. Zde se používá hranolovitých čepů, které se dají vyrobít vystřihováním či vyražením. Závěrné hlavy se provádějí rozpěchováním čepu na všechny strany, obr. 6.37, deformací okrajových hran obr. 6.38, příčnými či podélnými záseky (obr. 6.39a) příslušně tvarovanými nástroji. Technologie nýtování může být v těchto případech i strojově (lisování, odvalování nástroje a pod.). Na plocho spojované dílce lze provést podle obr. 6.39, kde nýtový dřík se vyrobí nastřížením jednoho plechu a vzniklý jazýček se vyhne o 90° . Při nýtování křehkých dílců se doporučuje používat podložek (obr. 6.40).

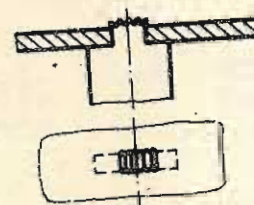
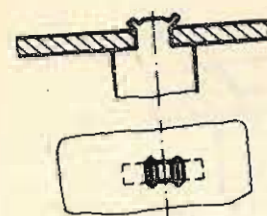


Obr. 6.37

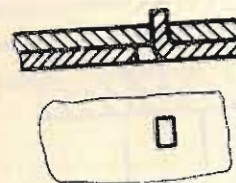
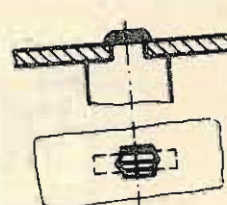


Obr. 6.38

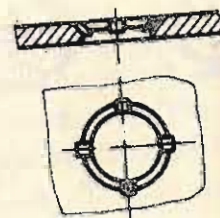
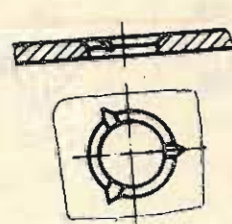
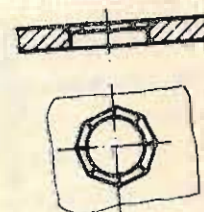
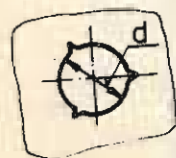
Nýtový spoj tvořený jedním kruhovým válcovým dříkem není pojištěn proti otáčení. Má-li se takový nýtovaný dílec otáčet nebo přenášet krouticí momenty, musí se zabránit pootočení. Při malých krouticích momentech postačí jednoduché prostředky, jako jsou např. provedení důlků, radiálních záseků na okrajích závěrné hlavy a díry (obr. 6.41).



Obr. 6.39



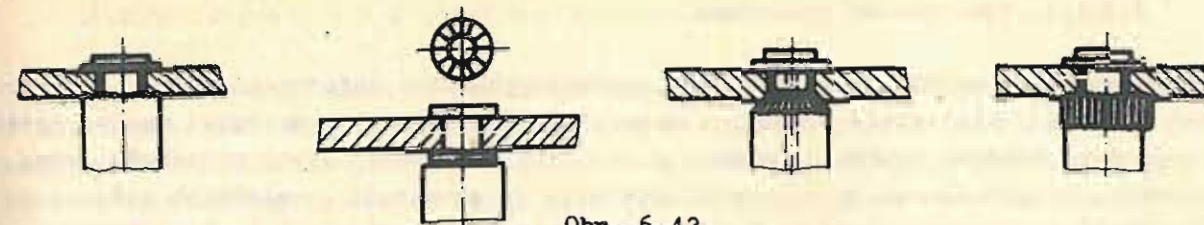
Obr. 6.40



Obr. 6.41

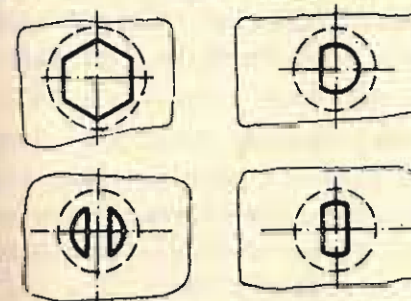
Je-li připojovaný dílec z měkčího materiálu než dřík, pak můžeme použít radiálního vroubkování na čelech na dosedací ploše dříku, v opačném případě na spojovaném materiálu, kuželového vroubkovaného přechodu do plného sloupku nebo použít čelně rýhované podložky (obr. 6.42).

Při větších krouticích momentech tyto úpravy nestačí a zajištění přenosu se provádí tvarováním dřer nebo i čepů do nekrouhlých tvarů jaké jsou např. šestihranné díry, jednostranným či vícestranným zfrézováním čepu, použitím podložek se čtyřhrannou dírou při patřičně vytvarovaných dřerách. U tažných plechů lze patřičně

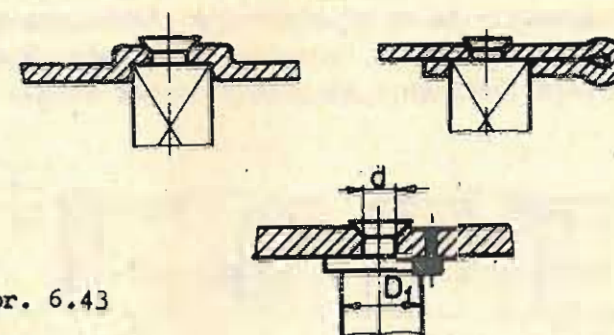


Obr. 6.42

tvarů získat také vylisováním, proražením a pod. Dále se dá pojištění provést pomocí válcových kolíků, které se vkládají do společného vývrtu v obou spojovaných dílcích. Varianty řešení tohoto pojištění ukazuje obr. 6.43.



Obr. 6.43



Normy ČSN související s nýtováním :

ČSN 01 3028, 01 4260, 02 1726, 02 2031, 02 2300 + 02 2304, 02 2311, 02 2313, 02 2315, 02 2317, 02 2320, 02 2330, 02 2331, 02 2379 + 02 2385, 02 2387, 02 2388 + 0,22391.

6.2. SPOJENÍ PŘEHYBEM, PROMÁČKNUTÍM A LEMOVÁNÍM

6.2.1. Spojení přehybem

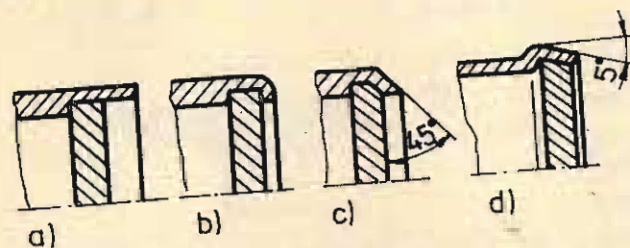
Spojení přehybem používáme nejčastěji ke spojování dutých válcových nebo v místě spojení do válce vytvarovaných součástí s kotoučovými deskami nebo do tvaru kotouče v místě spojení vyrobenými součástmi. Připojovaná součást se vloží do válcové součásti nebo se nasune na ni, opře se o předem vytvořenou dosedací plochu a přesahující okraj součásti se přehne okolo okrajů připojované součásti. Vzniká tím pevné a nerozebíratelné spojení s tvarovým účinkem. Součásti jsou zajištěny jak proti axiálnímu, tak i radiálnímu posunutí. Vlivem silového účinku mohou být součásti pojištěny i proti otáčení.

V místě přehybu okraje jedné součásti přes druhou dochází k plastické deformaci. Při vnějším přehybu t.j. při přehybu z vnitřní strany směrem ke straně vnější se materiál v místě spojení natahuje a zeslabuje. V opačném případě t.j. při přehybu vnitřním dochází v uvedeném místě ke stlačování materiálu a tím jeho zesílení. Aby se v místě přehybu neobjevovaly trhliny v materiálu, musí být tento dostatečně měkký nebo musí změkknout předepsaným tepelným zpracováním např. žháním. Pro spojení přehybem se užívají nejčastěji hlubokotažné plechy ocelové, mosazné, hliníkové, měděné a pod.

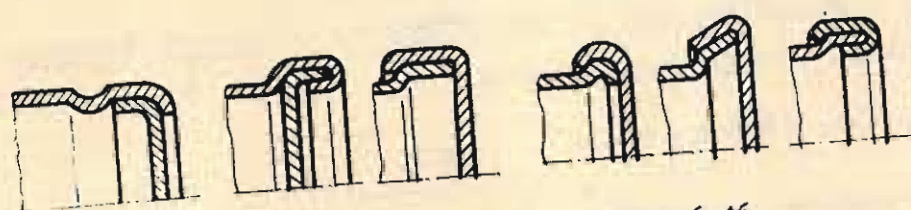
Technologie spojení přehybem je založena u větších součástí na zaválcování tvarovanými kladíčkami, u menších součástí použitím speciálních nástrojů. Tvarování kladíček a nástrojů musí odpovídat tloušťce plechu, neboť jinak mohou vznikat záhyby v místě přehybu.

6.2.1.1. Konstrukční provedení

Tvarování součástí pro spojení přehybem vychází z požadované funkce spojovacích dílců a z vlastností použitých materiálů. Při vlastní konstrukci musíme vytvořit na duté válcové součásti opěrnou plochu pro zajištění polohy protikusu před spojením. Opěrná plocha u silnostěnných dílců se soustruží, u slabších stěn se dá vytvarovat vytlačení tvarovaným nástrojem nebo vylisovat. Pro vlastní přehyb musí být k dispozici dostatečná délka dílce, přesahující spojovanou součást. Délka přehývacího konce je závislá na materiálu a síle stěny a nejlépe se určí pokusem. Konstrukční provedení spojení přehybem vnějšího dílce ukazuje obr. 6.44. Zobrazení a představuje dílce před pohybem. Zobrazení b představuje přehyb o 90° použitelný u měkkých materiálů. Provedení c pak přehyb o 45° resp. 5° , které se používají u materiálů tvrdších a větších tloušťek stěn.

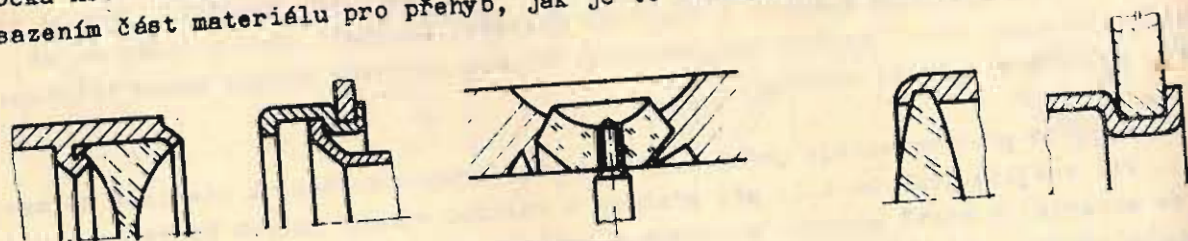


Obr. 6.44



Obr. 6.45

Spojení přehybem se užívá dosti často v optickém a hodinářském průmyslu pro uchycování čoček, optických průzorů, kamenných lůžek pro ložiska a pod. Má-li např. čočka nebo kamenné lůžko uchytit do tělesa, musí se v tělesu vydělit zápichem nebo osazením část materiálu pro přehyb, jak je to znázorněno na obr. 6.47.



Obr. 6.47

Provedení vnějšího přehybu ukazuje obr. 6.48. Tohoto přehybu se dá užít pro připojení trubkových součástí do stěn a desek nebo kotouče na trubky, resp. na válcové pláště. K tomuto spojení lze počítat i nýtové spojení s trubkovými nýty.

Spojení přehybem není těsné. Chceme-li vytvořit těsné spojení musíme vložit do místa spojení těsnicí kroužky.

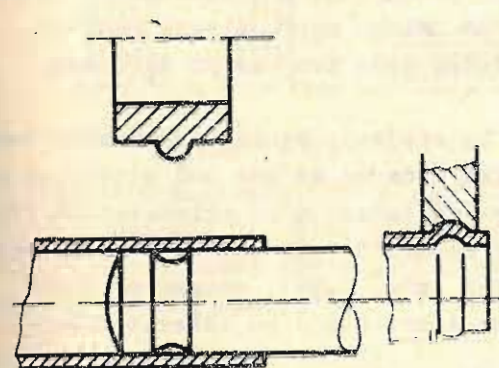
U tenkostěnných dílců resp. válcových plášťů i připojovaných dílců lze konstrukce provést podle obr. 6.45. Přehyb se nemusí provádět jen na plášťové části, ale lze jej vyvodit i na uzavírací části, jak je znázorněno na obr. 6.46, přitom poslední provedení můžeme řadit mezi spojení nepřímé, provedené samostatným dílcem.

Obr. 6.46

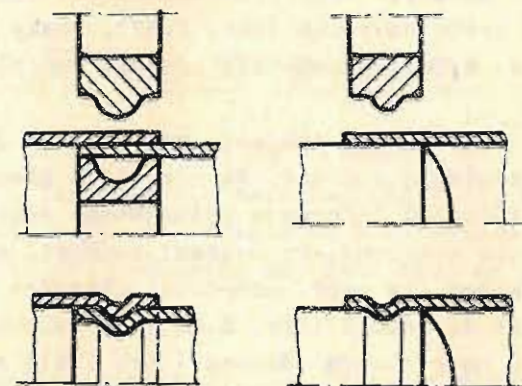
Obr. 6.48

6.2.2. Spojení promáčknutím

Spojení promáčknutím se používá k pevnému a nerozebíratelnému spojení dvou dílců, které jsou do sebe nasunuty. Spojení se provede plastickou deformací, vytvořenou buď zaválcováním nasunutých součástí do profilované drážky, nebo prostě jen zásekem pomocí tupého sekáče resp. důlčíkem. Součást, která se má deformovat musí být z měkkého materiálu. Vložená součást může být pak z různého materiálu. Podle vlastností materiálu se volí také příslušná technologie. Je-li vložený resp. nasunutý materiál tvrdší než materiál nasunutý, musí se profilová drážka vyrobít předem (obr. 6.49). Jsou-li oba materiály součástí měkké, pak plastickou deformaci lze vyvodit současně. U nasunutých trubkových součástí na plnou součást se zaválcování provede jen tvarovanou kladíčkou, pro spojení trubkových součástí se musí použít ještě podpěrné kladíčky. Provedení spojení včetně technologie ukazuje obr. 6.50.



Obr. 6.49

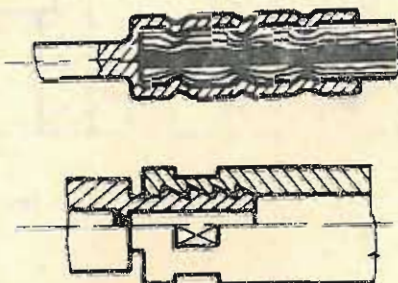


Obr. 6.50

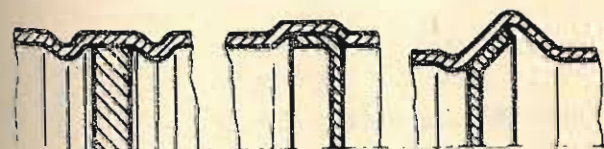
Uvedený způsob spojení se hodí pro vylehčování konstrukcí jako např. u pák, vidlic, dále pro kabelové přípojky, uchycení fittingů na hadice a pod. Příslušná konstrukční provedení jsou znázorněna na obr. 6.51, 6.52.



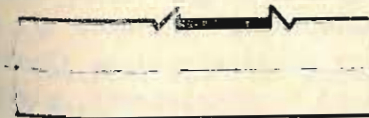
Obr. 6.51



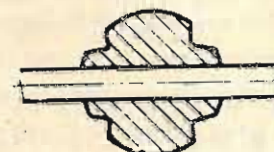
Obr. 6.52



Obr. 6.53

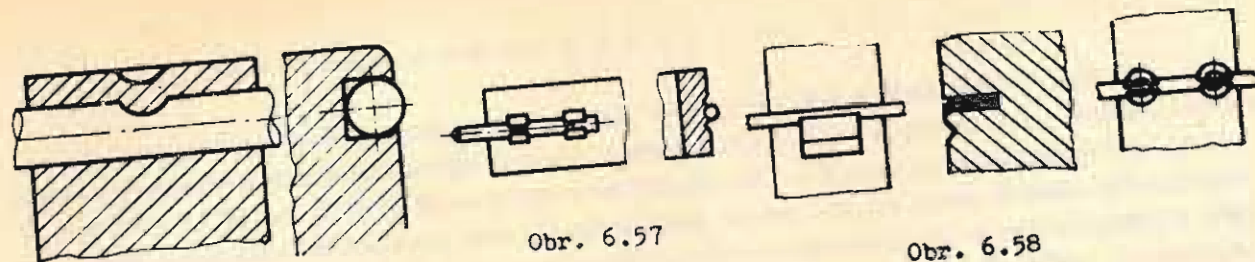


Obr. 6.54



Obr. 6.55

Pomocí tohoto spojení můžeme do tenkostěnných trubek zachycovat kruhové zaslepovací vložky pro oddělování prostorů, zabudovávat jednoduché clony a pod. Konstrukční řešení uvádějí příklady na obr. 6.53.



Obr. 6.56

Obr. 6.57

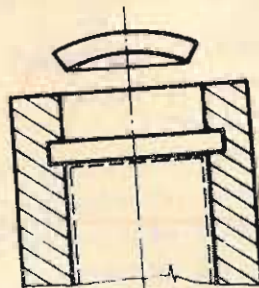
Obr. 6.58

U málo namáhaných součástí můžeme upustit od deformací po obvodě spojovaných dílců a nahradit je pouhými záseky v jednom dílci. Tak na obr. 6.54 je znázorněno připevnění plochého pásu do frezované části hřídelky. U obr. 6.55 je záseky připevnění drátů do kruhové tyčky. I u masivních dílců schopných deformace je možno tohoto způsobu spojení použít pro přichycení kruhové tyčky podle konstrukce uvedeně na obr. 6.56 vyražením důlků. Analogicky se přichycují u jednoduchých kružitek hroty do ramen (obr. 6.57), pásy do kovových držáků např. ploché pružiny (obr. 6.58). Záseky lze provést buď plochým sekáčem nebo tvarovaným důlkem.

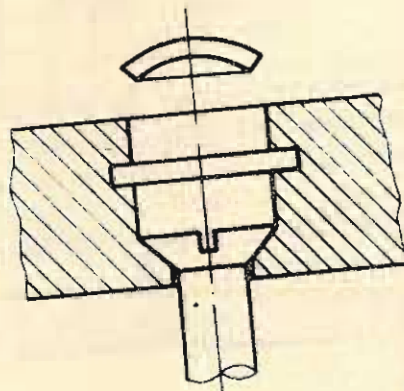
Další typ spojení, využívající deformací ke spojení, vzniká zapříčením jedné součásti v druhé. Na rozdíl od předcházejícího způsobu se zde buď plasticky nebo i pružně deformuje připojovaná součást, která se zasazuje do připraveného tvarového uchycení. Po usazení součásti se tato vyrovnává do původního tvaru. Tímto způsobem lze např. uchycovat stupnice do pravítek (obr. 6.59), zasazovat krycí víčka do tubusů (obr. 6.60), do zalévaných matic (obr. 6.93) pojišťovat šrouby před nedovoleným zásahem (obr. 6.61) ap.



Obr. 6.59



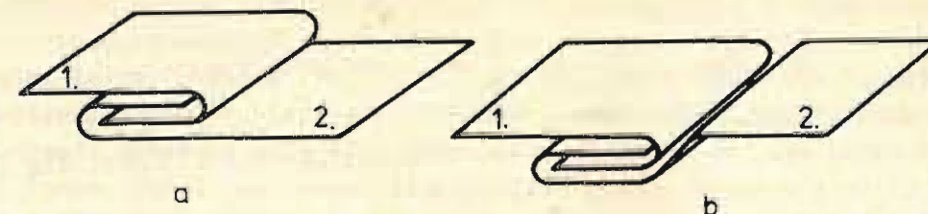
Obr. 6.60



Obr. 6.61

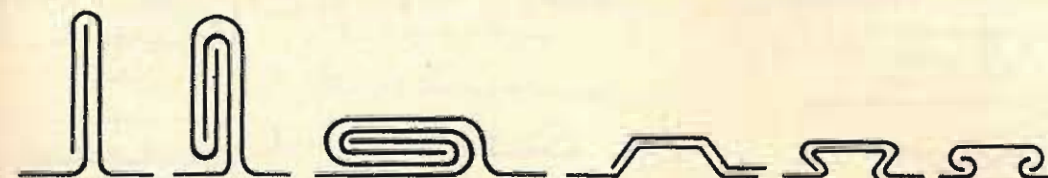
6.2.3. Spojení lemováním

Spojení lemováním nachází užití hlavně pro spojování plechových dílců. Před spojením se plechové dílce vytvarují ohýbáním na takový tvar, aby dílce do sebe zapadly (obr. 6.62a) a pak stlačením a následným přehybem spoj dotvarujeme (obr. 6.62b). Vzniká tak pevné a nerozebíratelné spojení. Materiál plechů musí být tažný a při ohýbání se musí respektovat minimální poloměry v závislosti na tloušťce a druhu materiálu. Používá se především ocelových plechů hlubokotažných, plechů mosazných, měděných, olověných a někdy také plechů z hliníku a hliníkových slitin. Ohýbání plechů se provádí většinou strojně.



Obr. 6.62

Lemované spoje mohou být buď jednoduché jak jsou znázorněny na obr. 6.62 nebo jsou spoje dvojité uvedené na obr. 6.63, kde je současně naznačen i technologický postup. Pro docílení větší tuhosti spoje se používá provedení dle obr. 6.64



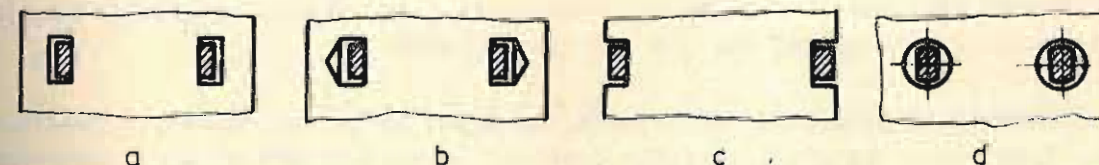
Obr. 6.63

Obr. 6.64

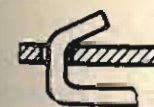
Obr. 6.65

s příslušným postupem výroby spoje. Lemováním lze vytvořit také nepřímý spoj, kde do vytvarovaných dílců se nasune spojovací díl a pak dotlačením se spoj dotvoří (obr. 6.65). Lemové spoje nejsou těsné a proto při požadavku na těsný spoj se provede zaletování spáry.

Nenáročný pevný, někdy i podmíněně rozebíratelný spoj, lze vytvořit pomocí ohýbaných nebo zkrucovaných jazýčků. Spoj se vytvoří tak, že na jednom spojovaném dílci se vystřihnou jazýčky a na druhém dílci se vyrazí odpovídající díry. Dílce se do sebe zasunou a jazýček se buď ohne nebo zkroutí. Ohybu se užívá u tenkých plechů, zkroutení je vhodné z technologických důvodů pro silnější plechy. Spojení ohybem jazýčku je znázorněno na obr. 6.66. Jak je z obr. patrné, jazýček vlivem



Obr. 6.67

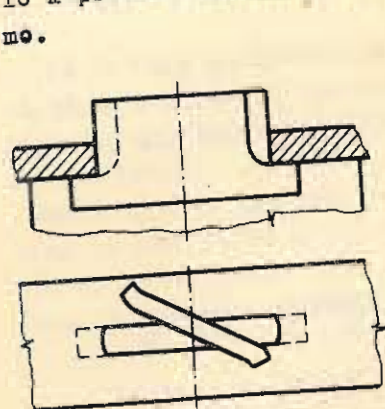


Obr. 6.66

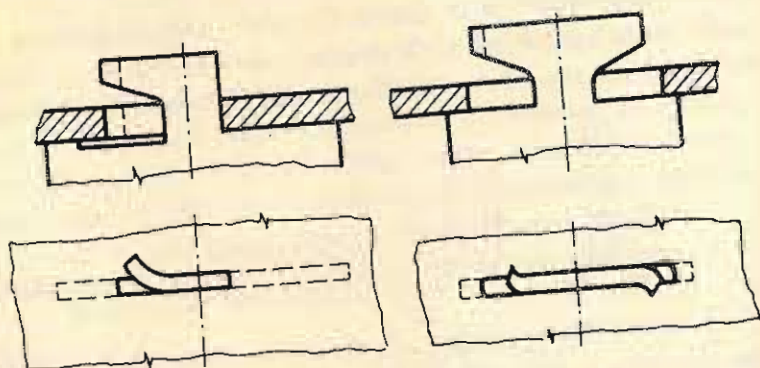
pružnosti materiálu se nedá ohnout o 90° , nýbrž vždy se jazýček odchýlí od 90° o úhel α . Úhel α je závislý na materiálu a tloušťce plechu. Tvarování otvorů pro jazýčky je znázorněno na obr. 6.67 a je závislé na tloušťce materiálu, a řídí se i požadavkem na životnost razicího nástroje. Z tohoto hlediska je výhodnější provedení b, c, d než provedení a. Ohýbanými jazýčky lze spojovat dílce jak na plocho tak i na kolmo.

Pevnější spoj dostaneme pomocí zkrutovaných jazýčků, které jsou jediné vhodné pro silnější plechy, protože tyto nelze náležitě ohnout. Zkrutovaný jazýček může mít jednoduchý obdélníkový tvar nebo bývá jednostranně či oboustranně podříznut

úkosovou plochou. U jednoduchého tvaru (obr. 6.68) se jazýček prostrčí otvorem a pak se zkrutí. Pevnost spoje zde závisí na síle a hloubce zařiznutí okrajů jazýčků do stěny otvoru. Podříznuté jazýčky (obr. 6.69) umožňují větší zkrut a ke spojení napomáhá silový účinek úkosu, který připojovanou plochu dotlačí na dosedací plochu. Správný spoj je podmíněn požadavkem, aby úkos částečně přesahoval nad připojovaný dílec a krajová plocha jazýčku byla dostatečně silná, neboť jinak by došlo k příliš velkému zkrutu. Zkrutované jazýčky se hodí pro spojování dílců na kolmo.



Obr. 6.68



Obr. 6.69

6.3. SPOJENÍ NALISOVÁNÍM A NARÁŽENÍM

6.3.1. Spojení nalisováním

Spojení nalisováním tvoří jednoduché, hospodárné a přitom pevné spojení. Svým účinkem patří mezi spojení silové. Vlastního spojení se dosáhne natažením jedné součásti na druhou. Podmínkou správného spojení je vytvoření dostatečně velkého přesahu mezi spojovanými dílci, který však nesmí vyvolit ve funkčních plochách plastické deformace, ale jen deformace pružné.

Přednostně se spojení nalisováním užívá pro spojování válcových funkčních ploch. Tyto plochy zaručují snadného dosažení přesahu a zároveň i rovnoměrného rozložení tlaku po celé ploše.

Vzhledem k tomu, že v přesné mechanice se vzájemně spojují dílce s materiály rozdílných pevnostních charakteristik, vznikají tak ve funkčních plochách rozdílné deformace, s nimiž je nutno při návrhu spojení počítat. Je-li např. čep značně tvrdší než nasazený kotouč (obr. 6.70), bude se deformovat převážně kotouč. U dílců s opačnými vlastnostmi, přechází větší deformace na čep. (obr. 6.71) Teprve u dílců se stejnými pevnostními charakteristikami, můžeme očekávat stejnou deformaci u obou dílců (obr. 6.72).

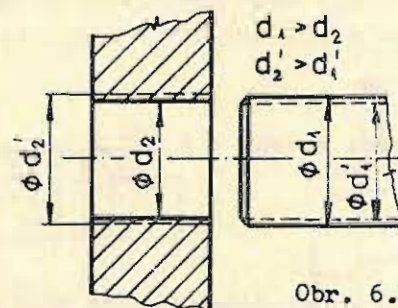
Nalisované spojení jsou určena pro přenos axiálních sil, obvodových sil, kroutících momentů i při jejich současném působení. Vlastní přenos vnějších sil se děje třením mezi funkčními plochami (obr. 6.73) a určí se ze vztahů:

$$\begin{aligned} \text{axiální síla : } F_a &= S \cdot p \cdot f_a & [N] \\ \text{obvodová síla : } F_o &= S \cdot p \cdot f_o & [N] \end{aligned}$$

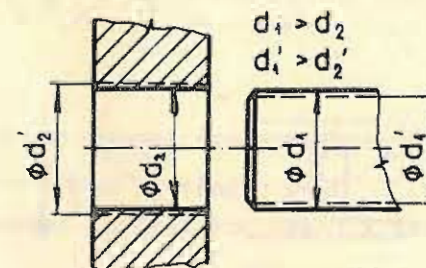
$$\text{krouticí moment : } M_k = F_o \cdot r = S \cdot p \cdot f_o \cdot r \quad [N \cdot mm]$$

kde $S = \pi d l$ je činná funkční plocha $[mm^2]$; $d = 2 r$, průměr čepu $[mm]$;

l je činná délka $[mm]$; p je měrný tlak $[MPa = N \cdot mm^{-2}]$; f_a, f_o jsou součinitelé tření v axiálním a obvodovém směru.



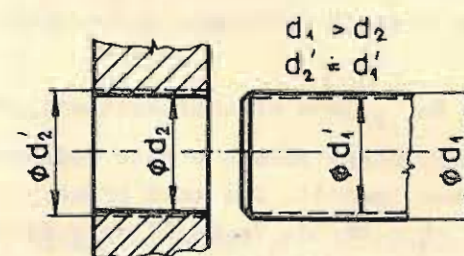
Obr. 6.70



Obr. 6.71

Hodnoty součinitelů tření při spojení ocelového čepu (11500) s kotouči různých materiálů s uvažováním montáže se volí z níže uvedené tabulky.

Výpočet napětových poměrů a přesahů se provádí pomocí vzorců odvozených v předmětech pružnosti a pevnosti a v částech strojů.



Obr. 6.72

lisování za studena	11500 s mazáním	242420 za sucha	Ma Al za sucha	mosaz za sucha
f_a	0,05 + 0,17	0,07 + 0,12	0,021 + 0,05	0,03 + 0,07
f_o	0,086 + 0,25	0,09 + 0,17	0,03 + 0,09	0,04 + 0,1
lisování za tepla				
f_a	0,08 + 0,12	0,07 + 0,09	0,05 + 0,06	0,05 + 0,14
f_o	0,13 + 0,36	0,13 + 0,18	0,10 + 0,15	0,17 + 0,25

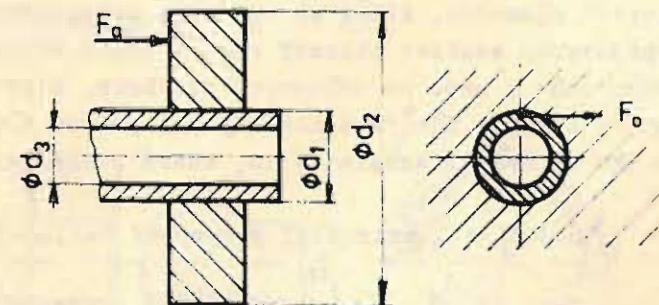
Měrný tlak ve funkčních plochách (obr. 6.73).

$$p = \frac{\Delta d}{(K_2 + K_1) d_1} \quad [MPa; N \cdot mm^{-2}]$$

kde Δd je přesah $[mm]$

d_1 je vtažný průměr $[mm]$

K_2 a K_1 jsou deformační konstanty, charakterující rozměry a materiál.



Obr. 6.73

$$K_2 = \frac{(\mu_2 + 1) + (\mu_2 - 1) C_2^2}{\mu_2 \cdot E_2 (1 - C_2^2)} \quad C_2 = \frac{d_1}{d_2} \quad (6.2)$$

$$K_1 = \frac{(\mu_1 - 1) + (\mu_1 + 1) C_1^2}{\mu_1 \cdot E_1 (1 - C_1^2)} \quad C_1 = \frac{d_2}{d_1}$$

$\mu_{1,2}$ - Poissonova konstanta, $E_{1,2}$ modul pružnosti v tahu [N mm^{-2}], $d_{1,2}$ jsou průměry [mm]
(indexy 2 platí pro kotouč, indexy 1 pro čep).

V přesné mechanice dáváme přednost nalisování za studena, zvláště když se jedná o menší a malé průměry. Při nalisování za studena dochází ke ztrátě vypočteného přesahu sedíráním nerovnosti povrchu. Ztráta přesahu činí přibližně

$$\Delta \Delta d = 2 (Ra_1 + Ra_2)$$

kde $Ra_{1,2}$ jsou střední aritmetické úchytky drsnosti funkčních ploch. Proto je nutno vypočtený přesah o tuto hodnotu zvětšit, nebo při kontrolním výpočtu únosnosti přesah zmenšit. Pro malé průměry $d = 3 + 6 \text{ mm}$ se osvědčila tato uložení H 7/r 6, H 7/s 6 a H 8/u 8. Vezme-li se v úvahu maximální a minimální přesah, pak je někdy třeba zjistit zpětným výpočtem, zda nedojde ve funkčních plochách k plastické deformaci (při max. přesahu) nebo při minimálním přesahu k prokluzu.

Pro průměry nad 50 mm provádíme obvykle nasazování za tepla, a to, buď ohřevem nebo zmrazením jedné součásti, po případě kombinací ohřevu a zmrazení. Ohřevem nebo zmrazením se musí docílit vůle pro nasazení dílce ve velikosti $v = (0,5 \div 1) \Delta d$ nad hodnotu max. přesahu daného uložení. Max. teplota ohřátí dílců je omezena strukturálními změnami materiálu (t.j. důležité zvláště při nasazování kalených součástí). Když by ohřátí nevyhovovalo výše uvedených důvodů, pak součásti zmrazujeme buď na sublimační teplotu CO_2 (-72°C) nebo na teplotu bodu varu tekutého vzduchu (-190°C), resp. použijeme kombinace ohřátí a zmrazení.

Máme-li docílit podmíněně rozebíratelného nalisovaného spojení pak provádíme montáž tlakovým olejem. Tohoto způsobu se často používá při nalisování valivých ložisek a kotoučů pevných spojek na hřídele. Tato montáž se provádí: buď na kuželových plochách, které se opatřují obvodovými drážkami, do nichž se zavádí přes spojovanou součást tlakový olej o tlaku odpovídajícímu měrnému tlaku v dosedacích plochách; nebo na válcových plochách, které se osadí tak, aby vytvořily mezi nábojem a čepem uzavřené komůrky pro přívod tlakového oleje. Současně se zavedením tlaku se vyvodí axiální síla, která dílce nasune na sebe.

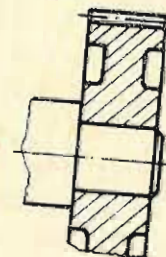
6.3.1.1. Konstrukční provedení nalisovaných spojení

Nalisované spoje se používají v přesné mechanice všude tam, kde se žádá dodržení přesné souososti, dynamicky vyváženého chodu kotoučů ozubených kol, setrvačnicků, hospodárné montáže při seriové výrobě a pod. Podmínka správné funkce je dána správným přesahem, příslušnou délkou a hlavně dodržením tolerancí, válcovitostí

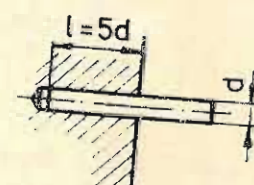
či kruhovitostí funkčních ploch. Příkladem použití nalisovaného spoje jsou např. nalisovaná ložisková a vodící pouzdra (obr. 6.74), nalisované ozubené kolečko (obr. 6.75). Při nalisování kolíků se žádá, aby délka zalisování kolíků $l = 5d$ (obr. 6.76). Ekonomicky je výhodné použití nalisování pro zabudování plechových clon, přepážek a pod. do trubkových součástí. Abychom dostali pevné spojení, dáváme zalisovaným součástem kuželovitý tvar pro vytvoření dostatečné délky zalisování a pro vyvození příčného měrného tlaku (obr. 6.77).



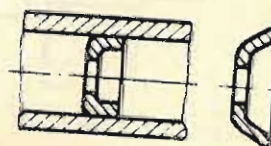
Obr. 6.74



Obr. 6.75



Obr. 6.76

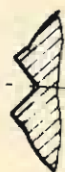


Obr. 6.77

6.3.2. Spojení narážením

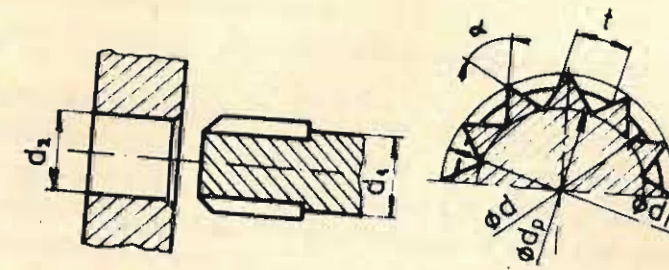
Dodržení úzkých tolerancí a přesného tvaru funkčních ploch při nalisovaném spojení činí někdy výrobní potíže, zvláště když se hřídelíky vyrábějí z taženého drátu. Proto tam, kde je to možné a kde funkce součásti nevyžaduje nutnost přesného centrického vedení, používáme spojení narážením. Princip spojení spočívá v tom, že se na funkční plochu hřídele vytlačí podélné rýhy. Vytlačením rýh materiál vystoupne nad původní průměr (obr. 6.78) a tím vznikne mezi dírou a čepem příčný přesah. Nasazovaná součást má hladký povrch díry, narazí se na čep, výstupky se zatlačí do stěn otvoru a tím vznikne požadované spojení. Zásadně se musí vytlačovat rýhy do tvrdšího materiálu, neboť jinak by se výstupky sedřely. Princip spojení je naznačen na obr. 6.79. Výška výstupků nad původní průměr d_1 má být několik setin milimetrů, aby vznikl příčný přesah. Průměr díry d_2 se má volit o něco větší než je patní průměr rýh d_r , a to proto, aby se ulehčilo narážení. Vrcholový úhel rýh α závisí na materiálu, z něhož je vyráběn hřídel. Volí se:

pro mosaz $\alpha = 90^\circ$	pro ocel $\alpha = 70^\circ$
pro litinu $\alpha = 80^\circ$	pro přesně tažené dráty $\alpha = 60^\circ$



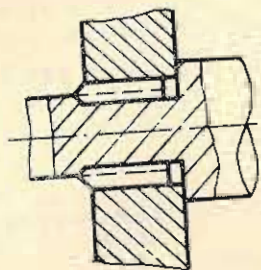
Obr. 6.78

Takto provedený spoj nevyžaduje úzké tolerance jako spojení nalisování a je možno použít pouze vrtaných děr. Centricita spojení je ovšem částečně porušena.

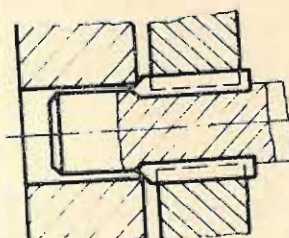


Obr. 6.79

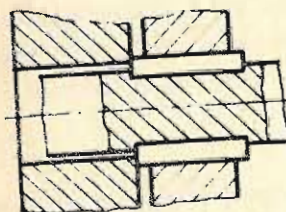
Konstrukční provedení narážených spojení se řídí účelem a funkcí spojení. Podélné vroubkování provádíme na osazeném čepu (obr. 6.80). Vytvořením osazení docílíme lepšího středění.



Obr. 6.80

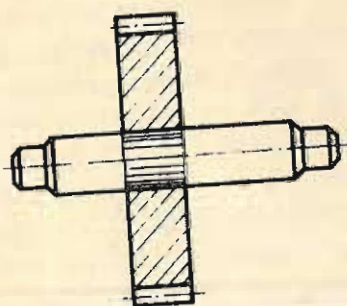


Obr. 6.81

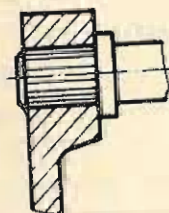


Obr. 6.82

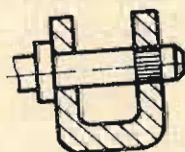
Má-li vroubkovaný čep přecházet na čep ložiskový, osazuje se ložiskový čep přibližně na patní průměr rýh (obr. 6.81), aby se zajistila správná funkce ložiska. S výhodou se narážení používá pro umístění součástek např. ozubeného kolečka na hladký hřídelík z přesně taženého drátu. Pro uchycení náboje není třeba vytvářet osazení, protože přesah vytvořený vytlačení rýh je dostatečný pro přenos malých krouticích momentů (obr. 6.82, 6.83). Dostatečné je použití tohoto spojení pro uchycení nábojů pák na čepy (obr. 6.84). Je-li páka provedena z plechu, dosáhne se zvýšení její tuhosti v místě spojení tvarováním náboje do tvaru písmene U (obr. 6.85).



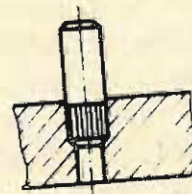
Obr. 6.83



Obr. 6.84



Obr. 6.85



Obr. 6.86

Také se používá rýhování na kolících, pro jejich uchycení v průchozích vrtaných děrách. Na tomto spojení je založeno vůbec použití všech druhů rýhovaných kolíků ať válcových či kuželových.

6.4. SPOJENÍ ZALITÍM

Spojení zalitím patří mezi nerozebíratelné spojení s tvarovým účinkem. Princip spojení spočívá v zalití pevných kovových součástek do součástek z umělých hmot nebo z kovů a slitin nízkých pevností. Úkolem tohoto spojení je vytvoření funkčních ploch s požadovanými vlastnostmi, které by součásti vyrobené jen z umělých hmot nebo z kovů a slitin malých pevností neměly nebo jejich výroba hlavně z

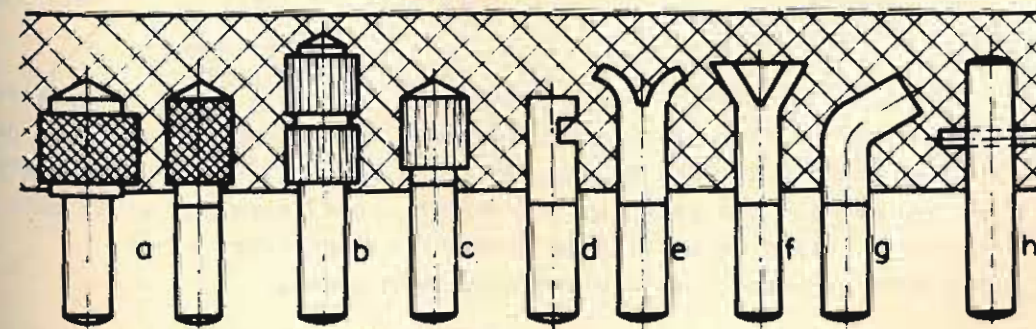
kovů deficitních by byla neekonomická. Zalévané součásti se umísťují do funkčních míst (jako jsou např. místa spojení s jinými součástmi, místa pro vedení elektr. proudu, místa s maximálním opotřebením, místa s dobrými kluznými vlastnostmi). Proto při navrhování součásti je nutno znát předem její dílčí funkci v sestavě. Spojení zalitím je určeno především pro součástky vyráběné litím nebo u umělých hmot i lisováním s následným vytvrzováním a u kovů vstřikovým litím. Zalévaná součástka musí mít vyšší pevnost a teplotu tavení než je základní materiál.

6.4.1. Tvarování spojení zalitím u umělých hmot

Součásti z umělých hmot jsou ve většině případů vyráběny v horkém stavu a proto při nesprávném tvarování může docházet při chladnutí materiálu ke vzniku vnitřních pnutí. Vnitřní pnutí mohou vyvolat tahová i ohybová napětí, které pak snižují pevnostní vlastnosti, mění tvar a tím i spolehlivost dílců. Pokud se týká zalévaných dílců, které mají hlavně zvyšovat pevnost ve funkčním místě, jsou tyto obvykle namáhány po zalití tlakem a proto nejsou ve své budoucí funkci ohroženy. Aby nevznikala vnitřní pnutí, musíme se řídit technologickými předpisy, stanovenými pro jednotlivé umělé hmoty. Vstřikovací a lisovací technologie může vyvodit dodatečné síly na zalévané dílce uchycené ve formě, a to hlavně poruchou toku látky, který může v některých případech, při špatné konstrukci formy, porušit i oblití zalévaného dílce. Zalévaná součástka musí být do formy pevně uchycena, forma musí být pevná a správně tvarovaná z hlediska použité technologie. Z uvedených důvodů se proto nehodí pro tento způsob spojení technologie lití do pískové formy.

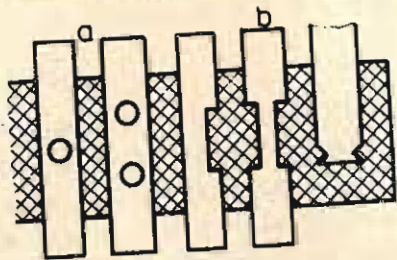
Tvarování zalévaných dílců se řídí silovými poměry, kterým je součástka vystavena jednak při zalévání, jednak při funkci k níž byla určena. Vnitřní síly, které jsou vyvozeny smrštěním hmoty, postačují pouze pro zajištění polohy, ale ne již pro přenos vnějších sil. Z uvedeného důvodu je nutno zalévanou součástku zabezpečit proti vytažení a proti pootočení vnějšími silami. Toho se docílí patřičným tvarováním součásti, které musí být schopno přenést všechny vnější síly na materiál nosného tělesa.

Tvarování zalévaných závitových dříků nebo kolíků např. křížovým rýhováním (obr. 6.87a) je schopno přenést jak takové síly, tak zabránit i pootočení. Pouhé podélné rýhování brání jen pootočení. Proto proti vytažení se součástka musí opatřit zápichem (b) nebo osadit vzhledem k vyčnívajícímu dříku a zapustit do umělé hmoty (c). Čistě válcové zapuštěné konce lze opatřit příčným zářezem (d), podélným zářezem a rozštěpením (e), rozpěchováním konce na plocho (f), zahnutím konce (g), provrtáním a prostrčením příčného kolíku (h) ap.

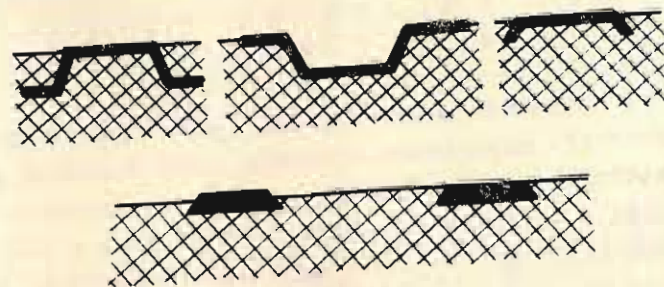


Obr. 6.87

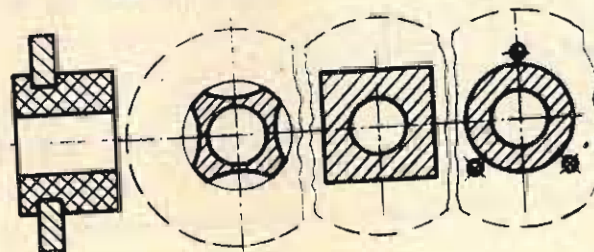
Ploché součásti stačí zajistit pouze proti vytažení, protože proti pootočení jsou zabezpečeny svým tvarem. Pojištění proti vytažení se provádí (obr. 6.88) buď jednou nebo dvěma děrami (a), jednostranným nebo oboustranným plochým nebo kosým zásekem (b). Má-li tvořit plochá součást povrchový kontakt, musí se její konce zahnout a tyto pak zalít do hmoty, nebo se její hrany srazí, jak to ukazuje obr. 6.89. Náboje nebo pouzdra z umělých hmot, kterými se opatřují kovové kotouče, se pojišťují obvykle proti otáčení tvarováním díry v kotouči do neokrouhlého tvaru popř. se kotouč opatří dalšími děrami (obr. 6.90). Pojištění proti vytažení tvoří nákrůžek.



Obr. 6.88

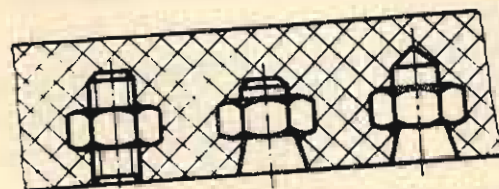


Obr. 6.89

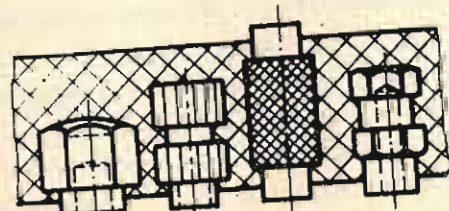


Obr. 6.90

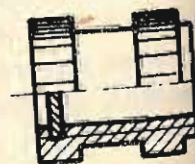
Maticový závit vyřezaný v tělese z umělé hmoty má malou únosnost buď pro její křehkost nebo velkou poddajnost. Proto se do funkčních míst, kde je požadován závit, zalévají závitové vložky. Zalévané závitové vložky mohou tvořit normalizované šestihranné matice nebo se speciálně tvarují. Normalizované šestihranné matice jsou pojištěny proti otáčení šestihranem, proti vytažení však musí být matice zapuštěny do tělesa. Hloubka zapuštění se řídí pevností materiálu tělesa a vnější tahovou silou, snažící se ustříhnout na vnějším průměru matice základní materiál. Uchycení matic v požadované poloze při lití či lisování se provádí pomocí závitového nebo hladkého trnu, který je součástí formy. Konstrukci uvedeného způsobu spojení ukazuje obr. 6.91.



Obr. 6.91



Obr. 6.92



Obr. 6.93

Má-li se zabránit otláčení tělesa protikusem, pak se provede přímý kovový styk tím, že se kovová vložka převyší nad základnu tělesa (obr. 6.92). Pokud je délka uchycovacího trnu menší než výška matice, je třeba zabránit vniku umělé hmoty do závitové díry. To se dělá buď použitím uzavřených normalizovaných matic nebo se použije krycího víčka, které se zapříčí do drážky v matici (obr. 6.93). Materiál matic bývá nejčastěji automatová ocel nebo mosaz.

6.4.2. Tvarování spojení zalitím u součástek z litých kovů

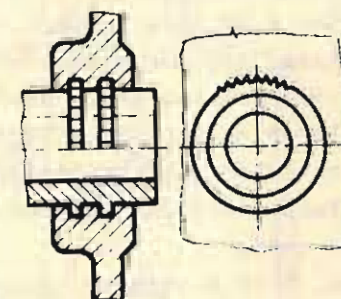
Účelem tohoto spojení, je vytvoření funkčních litých součástek s lepšími vlastnostmi než má základní materiál. Jedná se hlavně o zvýšení pevnosti v oblasti závitových spojů, nebo zlepšení kluzných vlastností materiálů a o zvýšení odolnosti proti opotřebení.

Zalévané dílce mohou být vyrobeny z ocele, mosazi, bronzu resp. i z jiných pevnějších materiálů. Volba materiálů pro zalévané dílce se řídí jejich dílčí funkcí a dále konstrukčními požadavky.

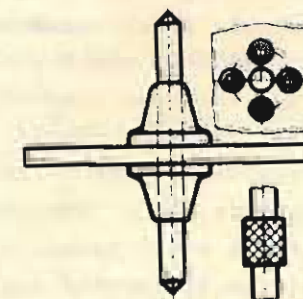
Tvarování zalévaných dílců je analogické jako při odlévání dílců z umělých hmot, tj. požadavkem na jejich pojištění proti vytažení a pootočení vnějšími silami. Kovy lité pod tlakem mají vyšší tekutost než umělé hmoty, lepší zatékavost a vyšší pevnost. Proto je možné volit menší osazení resp. rýhování s menší hloubkou rýh. Toto vyhovuje současně i požadavku na malou tloušťku stěn součástek, kterou je možno docílit právě litím pod tlakem. Jako příklad tvarování může sloužit spojení ložiskového pouzdra s odlévaným kotoučem (obr. 6.94). Zalitím je možné spojovat také více dílců z různých materiálů a vytvářet tak samostatné funkční součásti. Takto byla navržena konstrukce počítadla elektroměru (obr. 6.95). Rotující kotouč 2 je z hliníkového plechu, hřídelík 1 z mosazi. Spojovací prvek obou dílců tvoří náboj 3 ze zinkové slitiny, litý pod tlakem ve formě. V detailech je znázorněno tvarování součástí pro spojení zalitím.

Tvarování těles odlévaných z kovů a slitin kovů malých pevností (a také i z umělých hmot) má být provedeno tak, aby nedocházelo ke hromadění materiálu na jednom místě, protože by tam mohlo vzniknout vnitřní prnutí, změna tvaru a nedokonalé zatečení. Pokud je to možné, má být dodržována konstantní tloušťka stěn s přechody velkých poloměrů.

Spojení zalitím je ekonomicky zdůvodněné pouze pro velké série a pro hromadnou výrobu. Pro kusovou výrobu a malé série je méně vhodné, protože náklady na výrobu formy s úchytkami pro trny jsou velmi vysoké. V tomto případě je lépe volit jiné ekonomicky zdůvodněné spojení.



Obr. 6.94



Obr. 6.95

6.5. SVAŘOVÁNÍ V PŘESNÉ MECHANICE

Svařování vytváří pevné a nerozebíratelné spojení dvou a více dílců za působení tepla popř. i tlaku. Zahřátím materiálů spojovaných dílců v místě styku dojde buď k jejich roztavení a slití (tavné svařování) nebo se teplem materiál uvede do plastického stavu a tlakem se materiály spojí (svařování tlakem). Spojování dílců může být prováděno přímým svařením nebo se použije přídavného materiálu, a to holé nebo obalené elektrody.

Přestože spojení svařováním je ekonomicky výhodné a téměř vytlačilo spojení nýtováním, je jeho použití v přesné mechanice omezeno. Svařování nemůžeme použít při výrobě přesných a zvláště velmi přesných přístrojů, protože vlivem vysokých teplot a poměrně rychle následujícím ochlazením dochází ke vzniku vnitřních pnutí a tím i nestabilních deformací. Současně při svařování může dojít ke změně vlastností materiálu jako je např. ztráta tvrdosti, změna struktury, jakosti povrchu, odolnosti vůči korozi ap., což může ovlivnit dílčí funkci součásti. Přes tyto nedostatky je možné spojení svařováním navrhnout všude tam, kde se nežadá velká přesnost a stabilita vlastností, které by mohly ovlivnit funkční způsobilost přístroje či stroje.

Jakost a pevnost svaru ovlivňuje především materiál dílců. Běžným způsobem svařovací technologie se mohou svařovat zásadně dílce, které jsou vyrobeny z materiálů navzájem svařitelných. Protože se v přesné mechanice používá různorodých materiálů, je třeba vždy pečlivě zvážit druh navrhovaných materiálů s ohledem na vzájemnou svařitelnost. Přehled nejužívanějších materiálů a jejich vzájemnou svařitelnost udává tabulka (obr. 6.96).

V přesné mechanice se používá jak svařování tavného, tak svařování tlakového odporového. Vzhledem k tomu, že přístroje se skládají ze součástí menších rozměrů a ze slabších plechů dáváme přednost odporovému svařování přeplátováním, kde zvláštním tvarováním elektrod lze docílit různého vzhledu svařovaných míst, zvláště při svařování těles skříní resp. nosných konstrukcí.

Mimo běžných svařovacích metod používaných ve všeobecném strojnictví používá se zde při svařování velmi jemných dílců a pro běžným způsobem nesvařitelné materiály speciálních svařovacích technik.

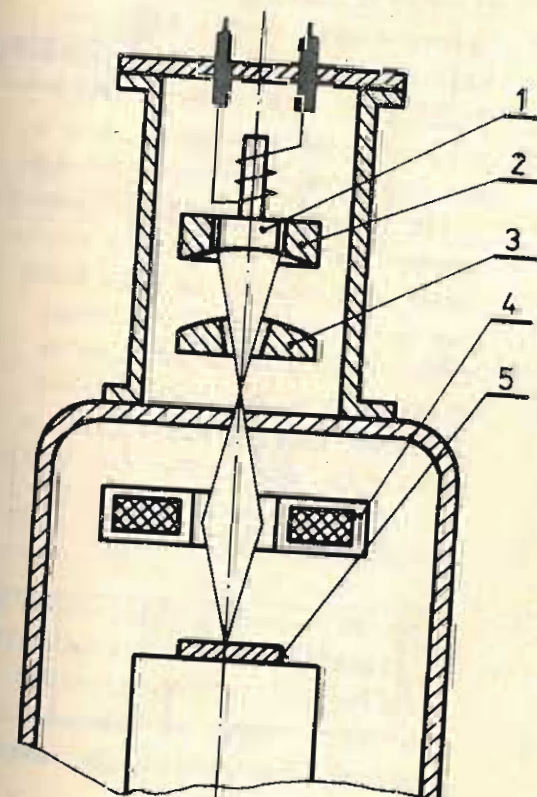
Ze speciálních technik se používá pro tavné svařování svazků elektronů a svařování laserem. Elektronové svařování (obr. 6.97) se provádí ve vysokém vakuu, bodově zaostřeným svazkem elektronů vycházejícím z katody. Tento způsob svařování zaručuje vakuovou těsnost a tepelně stálé svarové švy. Tímto způsobem lze svařovat titan, zirkon a grafit, molybden, wolfram, nerezocely, hliník, hořčík. Dále umožňuje svařovat tenké folie z libovolných materiálů, rovněž sklo i keramiku. V tomto případě se užije impulsního svazku. Toto svařování je vhodné pro součástky malých rozměrů a pro hermetizaci vakuových zařízení.

Svařování laserem, znázorněné schématem na obr. 6.98, využívá monochromatického světelného paprsku vybuzeného buď impulsním laserem nebo CO₂ laserem. Touto technologií se dají svařovat součásti z mědi, niklu, zlata, tantalu, bronzu, mosazi a z různých slitin o tloušťce 0,05 až 0,5 mm. Lze jimi svařovat i součásti silnější, pokud pro spojení stačí šev do průřezu 0,5 mm.

Železo	ŽELEZO
nerez. ocel	NEREZ OCEL
kobalt. ocel	KOBALT OCEL
nikl	NIKL
nikl - chrom	NIKL-CHROM
monel	MONEL
mosaz	MOSAZ
bronz	BRONZ
manganin	MANGANIN
měď	MĚD
hliník	HLINÍK
hořčík	HORČÍK
molybden	MOLYBDEN
olovo	OLOVO
cín	CÍN
kadmium	KADMIUM
zinek	ZINEK
pozink. železo	POZINKOVANÉ ŽELEZO
pochrom. ocel	POCHROMOVANÁ OCEL
ponikl. mosaz	PONIKLOVANÁ MOSAZ

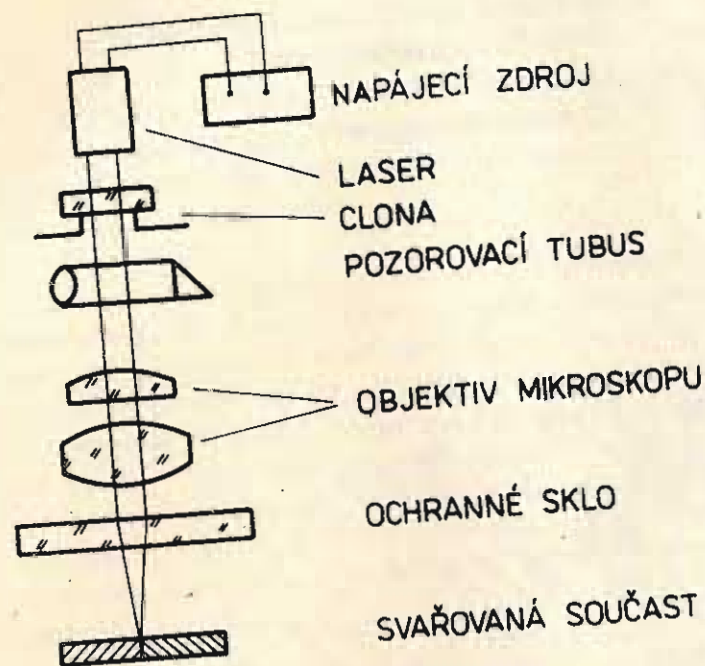
- DOBRÁ SVAŘITELNOST
- ⊙ DOBRÁ SVAŘITELNOST- KŘEHKÝ SPOJ
- ⊗ ŠPATNÁ SVAŘITELNOST
- NESVAŘITELNOST
- SVAŘITELNOST NEPROZKOUMÁNA

Obr. 6.96



- 1 katoda
- 2 zaostřující nástavec
- 3 anoda
- 4 zaostřující cívka elmagetická
- 5 svařenec

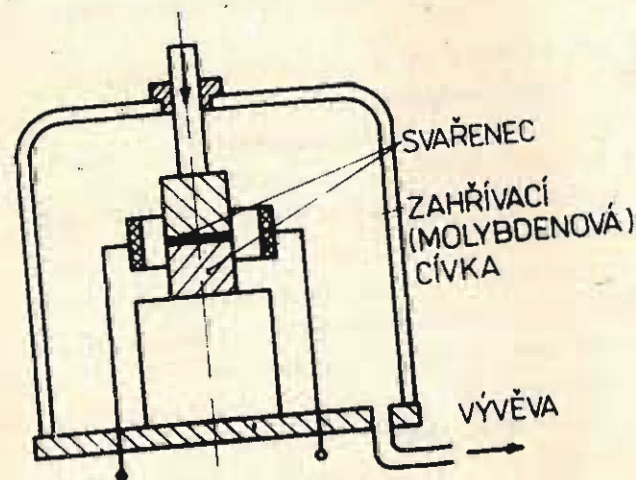
Obr. 6.97



Obr. 6.98



Obr. 6.99



Obr. 6.100

Z metod svařování tlakem má v přesné mechanice široké použití elektrické odporové impulsní svařování. Jde v podstatě o impulsní elektrického proudu v délce trvání několik tisíců sekund vybuze-
néním nabitého kondenzátoru přes svařované dílce. Svar může být bodový i švový. Toto svařování má široké použití při výrobě optických přístrojů, přístrojů časoměrných, v elektrotechnice. Tímto způsobem se svařují součásti z hliníku, hliníkových slitin, slitin mědi, niklu a jejich slitin, stříbra a jeho slitin, wolframu, molybdenu atd. Maximální tloušťka dílců má být 2 mm. Nejlepší výsledky však dává svařování dílců o tloušťce pod 0,1 mm.

Pro svařování mikrovodičů, platinoiridia k pružinám z beryliového bronzu, mikrosítek z nerezové ocele, kovalu s niklem, hliníkem, nerezové oceli s jinými druhy kovů, ale i těžko tavitelných kovů jako je titan, molybden, wolfram, keramických materiálů s kovy se používá ultrazvukové svařování. Princip svařování je znázorněn na obr. 6.99, kde magnetostrikční převodník rozkmitá ultrazvukovými kmity pružnou dotekovou páku, která silovými impulzy místo zahřeje a materiál spojí. Tak lze spojovat bodově či švově materiály tloušťky 1,5 + 10 mm.

Pro spojení dílců velmi malé tloušťky se součástkami velké tloušťky se používá difuzního svařování tlakem ve vakuu. Princip svařovací technologie je znázorněn na obr. 6.100.

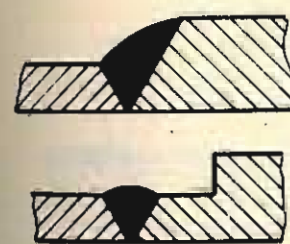
Svařované dílce se vloží do vakuové komory, zahřejí se na svařovací teplotu a tlakem spojí. Tímto způsobem se dají spojovat jak obecné, tak i barevné kovy resp. jejich slitiny, dále kovy s keramikou, grafitem ap.

Výpočet svarů provádíme jen v těch případech, kdy se jedná o silově namáhané spoje, a to podle metodiky uvedené v Částech strojů a kontrola podle normy ČSN 05 0120. Úprava svařovaných ploch se řídí normou ČSN 05 0025. Značení svaru se provádí podle zásad uvedených v technickém kreslení.

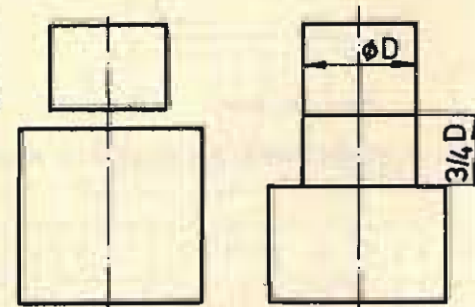
6.5.1. Tvarování svarových spojů

6.5.1.1. Tvarování tupých a koutových svarů

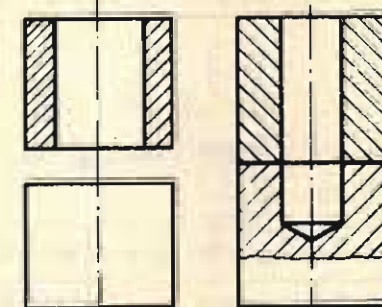
Konstrukce svarových spojů na tupo při stejných tloušťkách materiálu se provádí analogicky jako ve všeobecném strojnictví a podle zásad pro konstrukci uvedených v předmětu části strojů. Bližší pozornosti však zasluhuje konstrukce svařovaných dílců s nestejnými tloušťkami stěn. Zde platí zásada dodržení stejných tlouštěk materiálů dílců v místě spojení, kde má být dosaženo ohřátí dílců na stejnou teplotu. Jentím způsobem lze zajistit dobrou jakost svaru. Stejně tloušťky stěn dosáhneme osazením, vývrtem, drážkami, svařením atd. Příklady těchto konstrukcí jsou uvedeny na obr. 6.101 + 6.105, kde je zakreslen záměr a provedení. Na obr. 6.106 je znázorněna technologie přivaření elektr. kontaktu na tupo. Obr. a představuje základní uchycení válcového kontaktu do elektrod a přivaření, b je uříznutí kontaktu s přídatkem na tvarování, c je konečný vzhled.



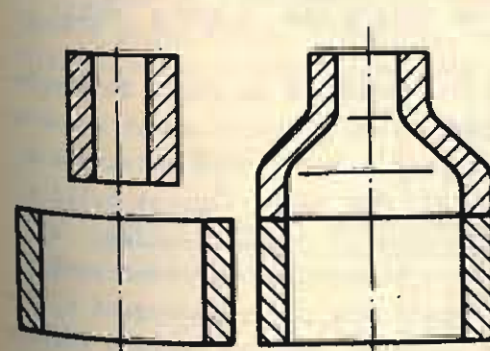
Obr. 6.101



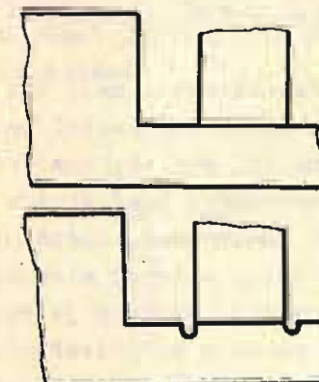
Obr. 6.102



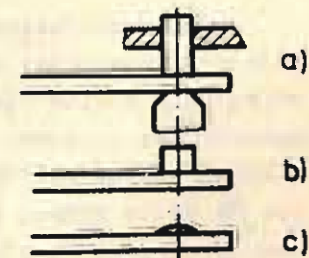
Obr. 6.103



Obr. 6.104



Obr. 6.105

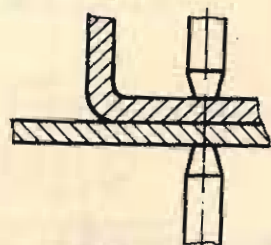


Obr. 6.106

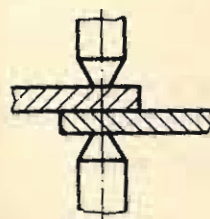
6.5.1.2. Tvarování přeplátovaných spojů

Svařování přeplátováním, a to hlavně odporové bodové, bradavkové a švové, nachází v přesné mechanice většího uplatnění než svařování na tupo.

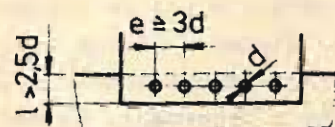
U bodového svařování přeplátováním je nutno brát v úvahu rozměr elektrody, její minimální vzdálenost od kolmé stěny (obr. 6.107) a šířka přeplátování (obr. 6.108). Při svařování dlouhých dílců řadíme bodové svary buď do jedné řady (obr. 6.109) nebo do dvou řad, a to buď s body protilehlými (obr. 6.110) nebo vystřídavými (obr. 6.111).



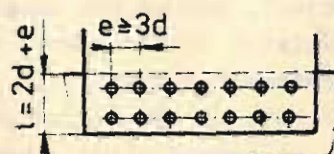
Obr. 6.107



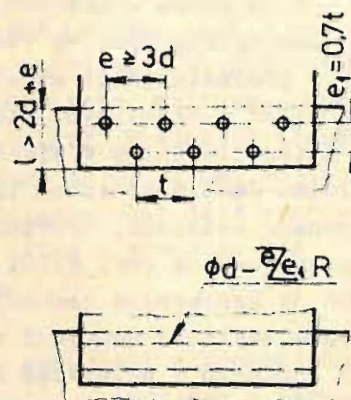
Obr. 6.108



Obr. 6.109



Obr. 6.110



Obr. 6.111

Průměr svaru ϕ se určuje v závislosti na tloušťce svařovaných plechů (obr. 6.112)

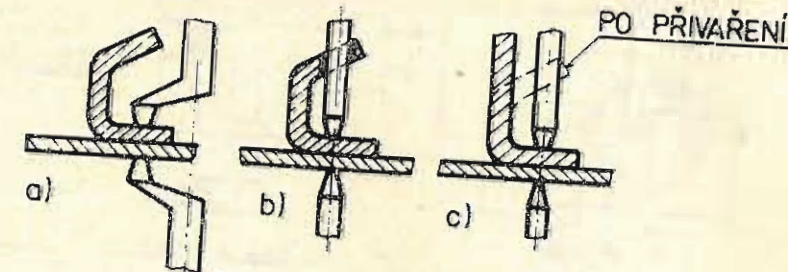
Tloušťka plechu s	mm	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Průměr svaru d	mm	3,7	5	6	6,7	7	8	8,6	9	9,6	10

Obr. 6.112

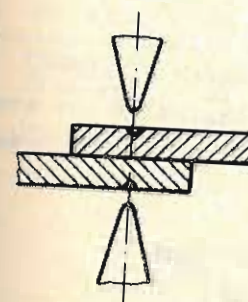
Šířka přeplátování, rozteč svarů, vzdálenost řad se určí z obr. 6.109 + 6.111.

Spoje svařované přeplátováním mají být převážně namáhané na smyk. Toto vyžaduje při konstrukci brát ohled na vlastní uspořádání dílců v podsestavách a sestavách. Dále musíme dbát na to, aby všechna svařovaná místa byla volně přístupná a nemuselo se používat tvarovaných speciálních elektrod. Tak např. obrázek 6.113 a ukazuje špatně navrženou konstrukci. Zlepšení konstrukce je již u provedení b, kde je užito výřezu pro volný průchod elektrody. Této konstrukce je možné použít tam, kde výřez funkčně nevádí. Nejlépe je řešena konstrukce podle provedení c, kde ohyb přivařené součásti se děje po přivaření. Pro dosažení lepšího vzhledu svařované konstrukce se předepisuje buď očištění nebo přebroušení svarů. Elektrodám lze dát speciálně upravené tvary doteků a tím docílit různého vzhledu svařenců.

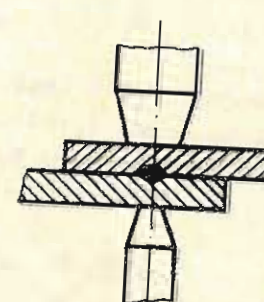
Tak např. na obr. 6.114 jsou zaoblené konce elektrod, které vytvářejí důlky. Pro docílení hladkého povrchu se užívá širokých plochých elektrod (obr. 6.115). Je možné dát konstrukcím vzhled i nýtového spoje tvarovanou elektrodou dle obr. 6.115.



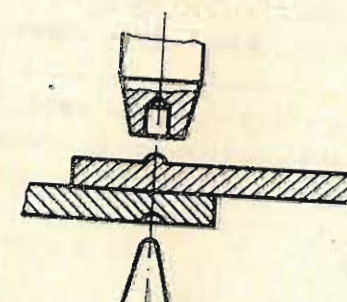
Obr. 6.113



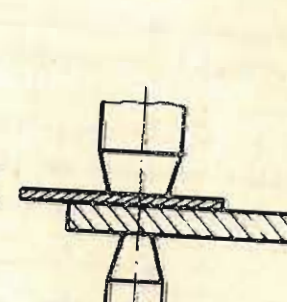
Obr. 6.114



Obr. 6.115

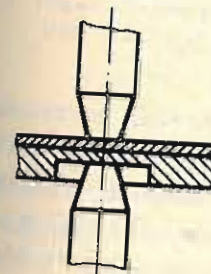


Obr. 6.116

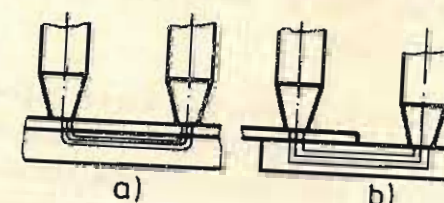


Obr. 6.117

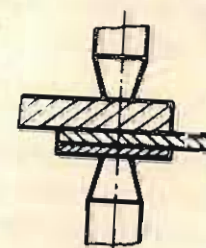
Při svařování nestejně tlustých plechů přeplátováním se má zajistit stejné ohřátí plechů. Toho se dá docílit: a - různými průměry elektrod (obr. 6.117) b - zeslabením silnějšího materiálu v místě svaru (obr. 6.118), c - použitím dvou bodového svařování (obr. 6.119 a, b) d - vložením třetího plechu na doplnění tloušťky (obr. 6.120); e - vytlačení výstupku na tenším dílci (obr. 6.121).



Obr. 6.118

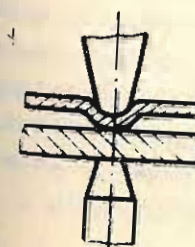


Obr. 6.119

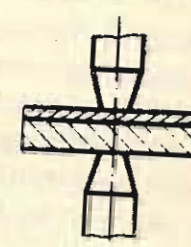


Obr. 6.120

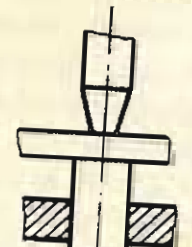
Bodovým svařováním lze spojovat plechy k válcům, a to buď kolmo k podélné ose nebo v jejím směru. Příslušné variace konstrukčních řešení jsou znázorněny na obr. 6.122 - 6.124 s naznačeným způsobem svařování.



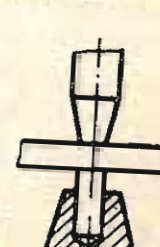
Obr. 6.121

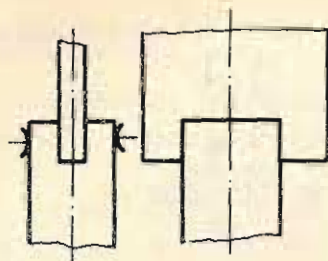


Obr. 6.122

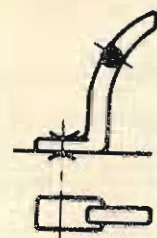


6.123

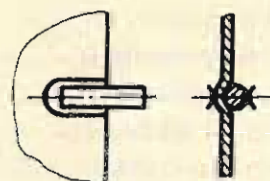




Obr. 6.124



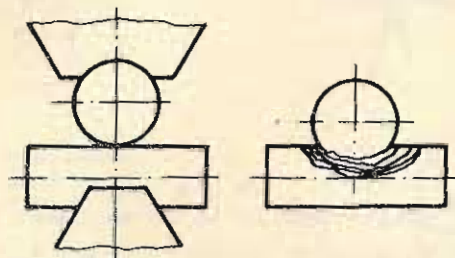
Obr. 6.125



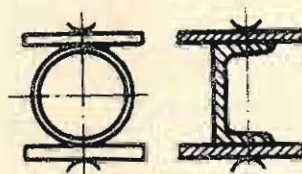
Obr. 6.126

Má-li se válec přivařit na plochý dílec ve směru své podélné osy, pak se přivařený konec buď sploští (obr. 6.125) nebo se vytvaruje plech do válcového lůžka (obr. 6.126), které současně zajišťuje jeho polohu.

Pro svaření dvou válců kolmo na sebe, musíme použít tvarovaných elektrod, které pomáhají zajišťovat jejich vzájemnou polohu (obr. 6.127). Maximálně lze svařit současně tři součásti např. způsobem znázorněným na obr. 6.128. I při bodovém



Obr. 6.127



Obr. 6.128

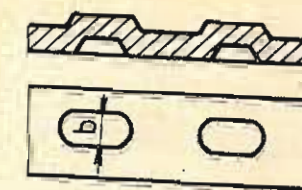
svařování by nemělo docházet k vedlejším odvodům tepla, které by bránilo k dokonalému prohřátí spojového místa. Tomu se dá čelit konstrukčními úpravami např. ve formě zářezů ap.

Pro velkoseriovou a hromadnou výrobu lze místo bodového svařování navrhnout svařování bradavkové, které je z ekonomického hlediska výhodné, zvláště při velkoplošném svařování. Princip tohoto způsobu svařování spočívá ve vytlačení výstupků (bradavek) na jednom ze svařovaných dílců, který se plochou elektrodou přitlačí na dílec druhý. Bradavky při spojení se teplem uvedou do těstovitého stavu a tlakem vyrovnají do roviny. Výstupky umožňují přívod elektrického proudu pouze do místa styku a tím současně omezují i oblast zahřátí.

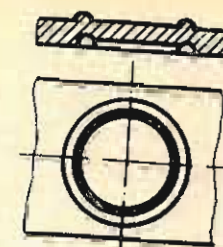
Tvarování dílců a uspořádání bradavek se řídí tloušťkou plechu a rozměrem přeplátování. Zkušenosti ukazují, že maximální počet bradavek na plochu 200 x 200 mm činí 12. U tenkých plechů mají bradavky tvar kulové úseče (obr. 6.129). U silnějších plechů je výhodnější použít tvar žlábkový (obr. 6.130) nebo tvar vytlačeného mezikruží. Převýšení všech bradavek nad základní rovinu má být stejné, protože jen při splnění této podmínky je zaručena stejná jakost svarů. Když tuto podmínku nelze splnit je lépe použít bradavek žlábkových nebo ve tvaru mezikruží, kde je možnost přivařovat je samostatně jako u bodového svařování. Rozměry bradavek ϕd a h se řídí tloušťkou plechu a udává je tabulka (obr. 6.132).



Obr. 6.129



Obr. 6.130

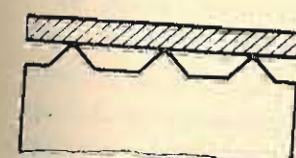


Obr. 6.131

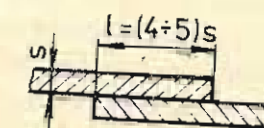
Tloušťka plechu	s mm	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	2,5	3	> 3
Min. rozteč	t mm	9	12	12	12	15	15	15	15+18	18+22,5
Průměr bradavky	ϕd mm	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Převýšení	h mm	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8

Obr. 6.132

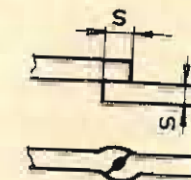
Bradavkovým svařováním lze spojovat i dílce kolmé na sebe, jak je znázorněno na obr. 6.133. Uvedené spojení však nemá takovou pevnost jako při užití koutových svarů.



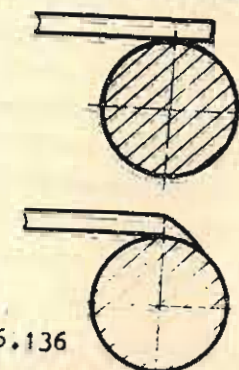
Obr. 6.133



Obr. 6.134



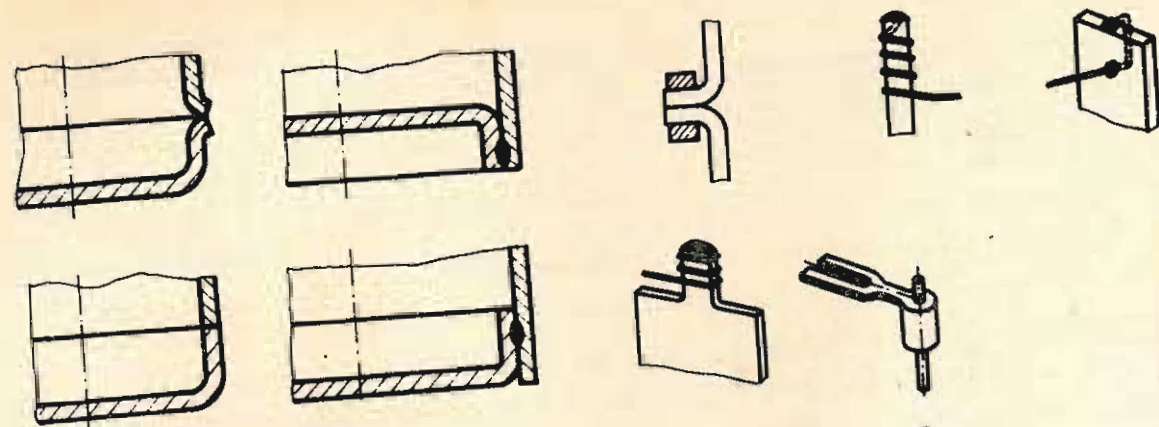
Obr. 6.135



Obr. 6.136

Pro vytváření dlouhých přeplátovaných nebo i tupých spojů používáme švového odporového svařování. Navrhování přeplátovaných švových svarů se řídí týmiž zásadami jako svařování bodové, délka přeplátování je udána na obr. 6.134. Švové svařování vyžaduje dodržení stejné tloušťky materiálu po celé délce svaru. Nemá-li splněna tato podmínka, mění se ohřev a tím pevnost a jakost spojení. Švovým swarem lze vytvořit i tupý svar, a to způsobem na obr. 6.135, kde spodní obraz ukazuje vzhled svaru. Rovněž je možné švově přivařovat plech na kulatou tyčku (obr. 6.136). Příklady užití švového svaru pro přivaření tenkostěnných ukazuje v různých variantách obr. 6.138.

Ve stavbě přístrojů se nevyhneme požadavku na svařování drátů, přivařování kontaktů a svorek. Vzhledem k malé stykové ploše a křehkosti vlastního svaru, který nesnese ohybové a větší tahové namáhání, musíme vnější síly zachytit mechanicky tvarovým přizpůsobením drátů a kontaktů nebo použitím svorek, jak to ukazují příklady na obr. 6.139. Svar slouží pouze k vytvoření vodivého spoje. Pro přivaření kontaktů na silnější dílec používáme speciálních technologií uvedených dříve.

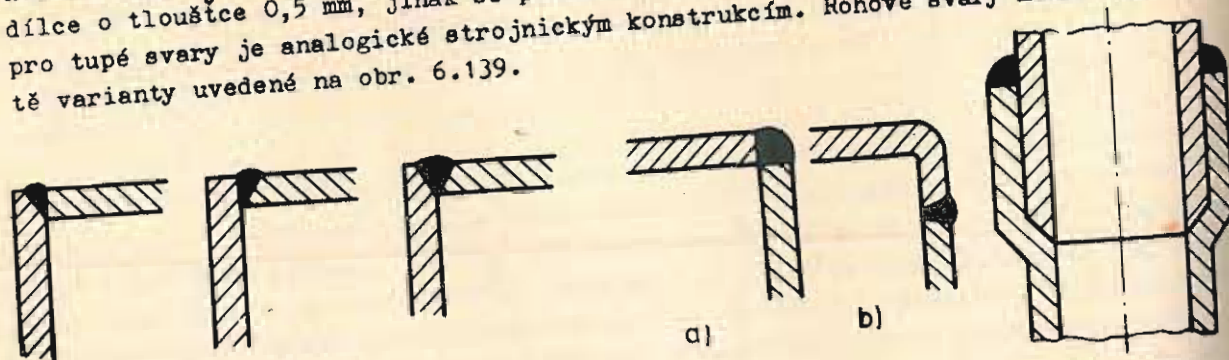


Obr. 6.137

Obr. 6.138

6.5.2. Svařování plastických hmot a skla

Rozšířené použití umělých hmot v konstrukci přístrojů a zařízení v přesné mechanice vyvolalo problém spojování dílců v jednotný celek. Pro nerozebíratelné spojení dílců je svařování zvláště vhodné. Svařováním lze spojovat jen termoplasty. Pokud se týká přípravy dílců z umělých hmot pro svařování je postup zásadně shodný jako u kovových dílců. Pro tupé svary se používá svaru I (jen pro dílce slabší než 1 mm) svaru V a svaru X s úhly sražení hran $60^\circ + 70^\circ$. Při svařování tlustých desek je nutno do svarové spáry pokládat více housenek. Svary se mají dávat do nejméně zatížených míst. Svařování se provádí horkým vzduchem, jehož teplota se řídí druhem umělé hmoty použité na svařence. Svařovat lze přímo dílce o tloušťce 0,5 mm, jinak se používá přídavného materiálu. Tvarování dílců pro tupé svary je analogické strojnickým konstrukcím. Rohové svary mohou mít ještě varianty uvedené na obr. 6.139.



Obr. 6.139

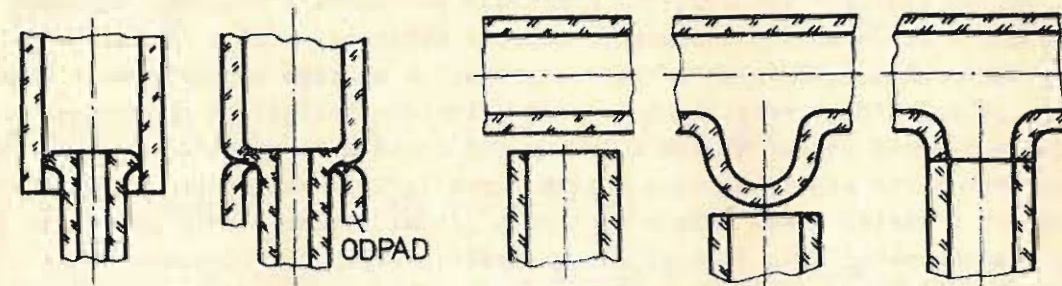
Obr. 6.140

Obr. 6.141

Rohový svar v provedení obr. 6.140a se nemá používat, protože jeho pevnost a únosnost je nízká. Lépe je použít pak varianty b) Obr. 6.141 ukazuje přeplátování spoj při spojení trubek.

Svařování skleněných dílců je hlavním druhem nerozebíratelného spojení konstrukcí ze skla. Podmínkou kvalitního svaru je stejná tepelná roztažnost svařovaných dílců. Pokud tato podmínka není splněna, musí se postupovat tak, že se mezi svařované dílce vkládají postupně tvarované vložky s rozdílnými součiniteli tepelné roztažnosti. Tyto postupně přenášejí tepelnou roztažnost z jedné vložky na druhou. Počet vložek je závislý na roztažnostech hlavních spojovaných dílců. Technologie svařování skla má zvláštní specifiku. Na obr. 6.142 je naznačeno svařování trubek rozdílných průměrů na tupo. Při zahřátí na svařovací teplotu dojde ke

tvarovému spojení a přebytečný materiál se pak odřízne. Obr. 6.143 představuje postup při vytváření T kusu.



Obr. 6.142

Obr. 6.143

NORMY ČSN související se svařováním :

ČSN 1235, ČSN 05 000, 05 0002, 05 0003, 05 0024 + 05 0028, 05 0031, 05 0032, 05 0120, 05 1120 + 05 1125; Elektrody 05 5010 + 05 5293; Dráty a tyčinky 05 310 + 05 5690; Svařování plastů : ON 05 5810, 05 6810, 05 6812, 05 6814, 05 6815.

6.6. TVRDÉ A MĚKKÉ PÁJENÍ

Pájené je tuhé, nerozebíratelné popř. podmíněně rozebíratelné spojení dvou nebo více součástí s materiálovým účinkem. Spojení je vyvoláno strukturálními změnami, adhezními silami a difuzí mezi spojovanými dílci a použitým spojovacím materiálem - pájkou. Pájením můžeme spojovat téměř všechny kovy a i nekovové látky, pokud jsou opatřeny metalickým povlakem.

Důležitým kritériem pájení je teplota tavení pájky. Touto rozumíme nejnižší teplotu, při níž dojde u pájky k tečení, samovolnému rozšiřování a spojování. Podle teploty tavení pájky rozeznáváme tvrdé pájení s teplotou vyšší než 450°C a měkké pájení s teplotou nižší 450°C .

Tvrdé pájení používáme všude tam, kde je pájený spoj vystaven vyšším provozním teplotám a většímu namáhání. Pájená místa můžeme povrchově upravovat pro získání lepšího vzhledu, který pak připomíná švový svar.

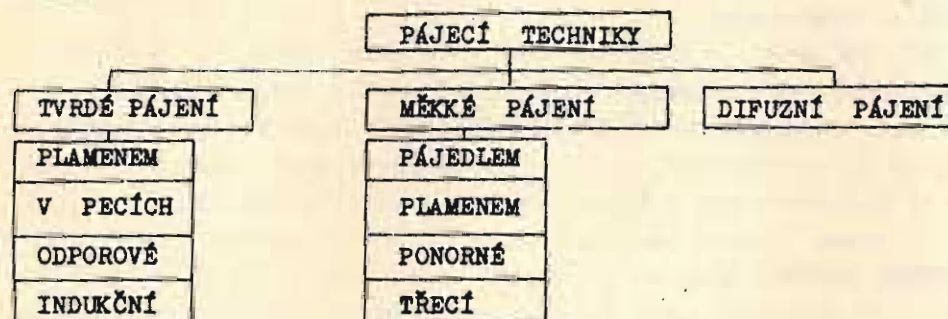
Užití měkkého pájení je podmíněno menšími provozními teplotami, menším zatížením, požadavkem na snadné provedení spoje, na menší ohřev a na následnou potřebnou demontáž. Pájené spoje nelze povrchově upravovat vypalovacími laky a při galvanickém pokovení se musí přesně zachovat předepsané postupy.

Pájení má ve srovnání se svařováním v přesné mechanice tyto výhody :

- možnost spojování téměř všech kovových materiálů
- možnost spojování nekovových materiálů opatřených metalickým povlakem
- možnost podmíněné demontáže
- nižší teploty při pájení a tím zabránění změn struktury, menší pnutí
- snadnější a rychlejší výrobní postupy
- použitelnost různých technologií pájení dle požadavků spojení pro kusovou

velkosériovou i hromadnou výrobu při dobrých ekonomických parametrech. Pájení se nepoužívá jen pro spojení, ale také pro utěsňování a zvýšení mechanické pevnosti spoje. Jakost pájeného spoje závisí především na dokonalé přípravě pájených míst. Dílce v místě spoje musí být dokonale zbaveny nečistot, tuků a hlavně oxidačních vrstev. Odstranění oxidačních vrstev se provádí u měkkého pájení pomocí kapalných roztoků, pájecích past resp. tuků na bázi chloridu zinečnatého pro pájení hrubé a střední, pro jemné pájení hlavně kalafuny buď čisté nebo ve směsi s organickými látkami. Pro tvrdé pájení užíváme hlavně borax (zvláště vhodný pro mosaz), kyselinou bórovou v čistém stavu nebo v roztoku s jinými látkami, dále speciální látky, skelný prach a vodní sklo (pro pájení za vyšších teplot). Příslušné látky - tavidla - plní ještě úkol bránit dalším oxidacím při procesu pájení.

Přehled pájecích technik používaných v přesné mechanice udává tabulka obr. 6.144.

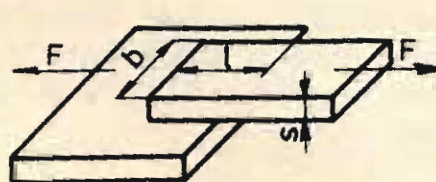


Obr. 6.144

Volba druhu pájky závisí na funkci spoje, jeho pevnostním namáháním a na druhu materiálu spojovaných dílců. Výběr a složení pájky provádíme podle norem ČSN, v nichž jsou uvedeny příslušné mechanické vlastnosti a technologie.

6.6.1. Výpočet pájených spojů

Výpočet pájených spojů provádíme jen v těch případech, kdy je tento vystaven vnějším působícím silám a momentům. Konstrukčně máme pájené spoje uspořádat tak, aby většina spojů, zvláště u měkkého pájení, byla namáhána smykem. Jen u pájení tvrdého můžeme připustit ještě namáhání tahem či tlakem. Protože při namáhání smykem se jedná o přeplátovaný spoj (obr. 6.145), je vztah mezi silou a napětím vyjádřen vztahem.



Obr. 6.145

$$F = S \cdot \tau_{\text{dov}} = l \cdot b \cdot \frac{\tau_k}{k} \quad [\text{N}]$$

kde $S = l \cdot b$ je plocha přeplátování $[\text{mm}^2]$

l je délka přeplátování $[\text{mm}]$

b je šířka spojovaného dílce $[\text{mm}]$

τ_{dov} - dovolené namáhání smykem $[\text{MPa} = \text{Nmm}^{-2}]$

τ_k - je mez kluzu pájky ve smyku $[\text{Nmm}^{-2}]$

k je součinitel bezpečnosti spoje.

Délka přeplátování bývá $l = (4 + 6)s$, kde s je tloušťka slabšího dílce.

Součinitel bezpečnosti $k = 2 + 4$. Meze kluzu pro jednotlivé druhy pájek jsou uvedeny níže.

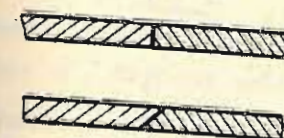
Cínové pájky podle složení
Mosazné pájky
Stříbrné pájky
Měděné pájky

$$\begin{aligned} \tau_k &= 20 + 120 \text{ Nmm}^{-2} \\ \tau_k &= 200 \text{ Nmm}^{-2} \\ \tau_k &= 220 \text{ Nmm}^{-2} \\ \tau_k &= 140 + 200 \text{ Nmm}^{-2} \end{aligned}$$

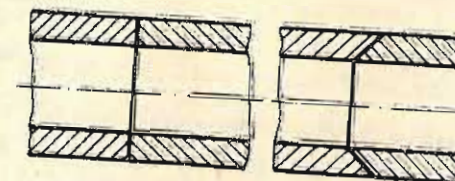
6.6.2. Tvarování pájených spojů

6.6.2.1. Tvarování spojů při tvrdém pájení

Únosnost tvrdě pájených spojů je větší než spojů pájených na měkko, proto vycházejí rozměry spojů menší a je možno připustit i tahové namáhání. Rovněž je možné mimo spojení přeplátováním použít i spojení na tupo. Provedení spojů na tupo u plochých dílců ukazuje obr. 6.146, u trubkových součástí obr. 6.147. Připájení na sebe vyžaduje jejich zasunutí do sebe a zapájení po celé šířce obvodové spáry. (obr. 6.149).



Obr. 6.146

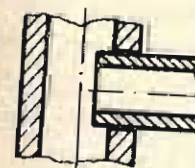


Obr. 6.147

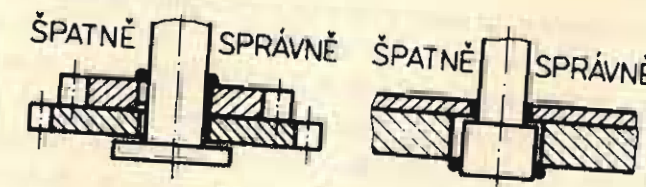


Obr. 6.148

Pro hromadnou a sériovou výrobu je vhodné využít kapilárních vlastností měděné pájky, která v tekutém stavu vzlíná a tím zateká do spáry mezi spojovanými dílci. Spára má být hladká, bez zaoblení nebo sražení na náběhových hranách, které brání vzlínavosti; vůle mezi všemi spojovanými dílci má být stejná, úměrná velikosti dílců, ale ne větší než 0,5 mm. Jinak by došlo ke špatnému zatečení a tím ke zmenšení pevnosti spoje resp. k porušení těsnosti. Špatnou a správnou konstrukcí spár ukazuje obr. 6.150.



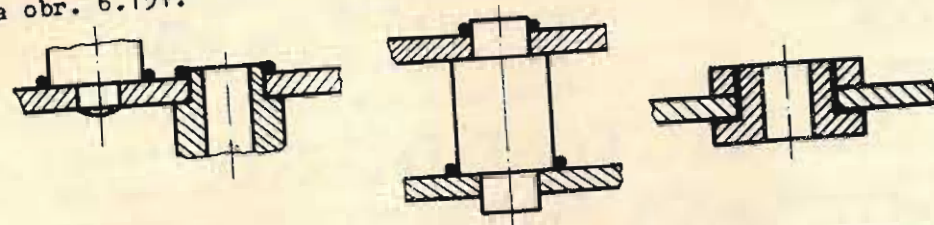
Obr. 6.149



Obr. 6.150

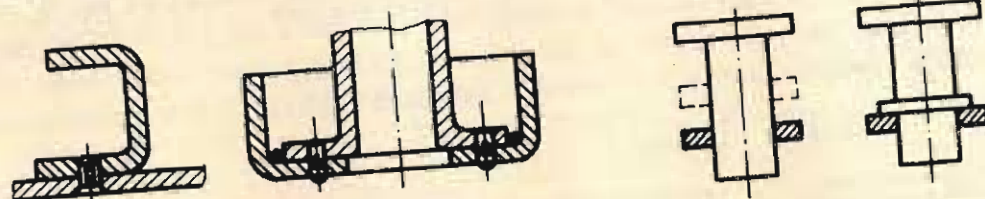
Provádí-li se kapilární pájení v pecích pod ochrannou atmosférou, je nutné pamatovat na takové zajištění vzájemné plochy dílců, aby spára byla po celém obvodu stejně široká. Uložení pro rotační dílce se volí v lícovací soustavě druhů H9/h8, H7/h6 popř. i přechodné nebo s přesahem. V tomto případě slouží pájení ke zvýšení únosnosti a k těsnosti.

Zajištění vzájemné polohy rotačních dílců docílujeme osazením, jak je tomu např. na obr. 6.151.



Obr. 6.151

U dílců kde nelze plně využít tolerování v lícovací soustavě se vzájemná poloha zajišťuje např. pomocí nýtů, šroubů, kolíků ap. (obr. 6.152).



Obr. 6.152

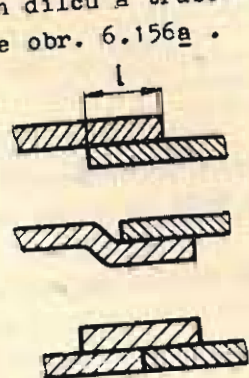
Obr. 6.153

Současně tyto užité elementy zvyšují únosnost spoje. Zvláště je tohoto způsobu vhodné použít v těch případech, kdy pájený spoj není schopen sám přenést celé zatížení. Na obr. 6.153 je v provedení *a* ukázána špatná konstrukce, kde kroužek nemá zajištěnou polohu. Provedení *b* udává možnou variantu správného konstrukčního řešení.

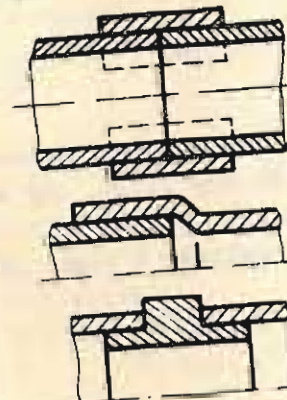
U kapilárního pájení se jako pájky používá především měď ve formě drátů, folií, prášku a galvanických povlaků. Vzhled těchto spojů je čistý a nepotřebuje dalšího opracování.

6.6.2.2. Tvarování spojů při měkkém pájení

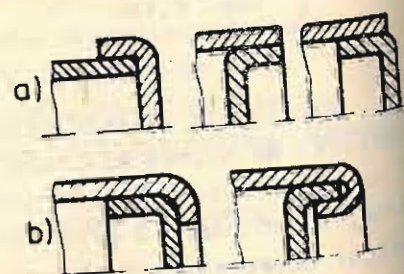
U měkkého pájení převažuje spojení přeplátováním, protože jen tímto způsobem je možno docílit patřičné únosnosti. Při větších zatíženích je nutno síly mechanicky zajistit a pájení má v tomto případě sloužit k zajištění polohy, těsnosti a částečně přispět ke zvýšení únosnosti. Pojištění dílců při vlastním pájení jsou analogické jako při pájení tvrdém. Příklady správně řešených pájených spojů plochých dílců a trubek ukazují obr. 6.154 a 6.155. Záslepování trubek se provádí podle obr. 6.156a.



Obr. 6.154

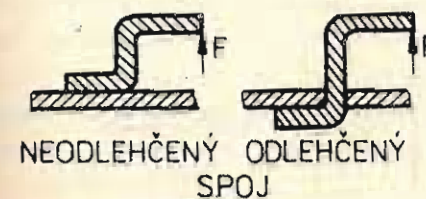


Obr. 6.155

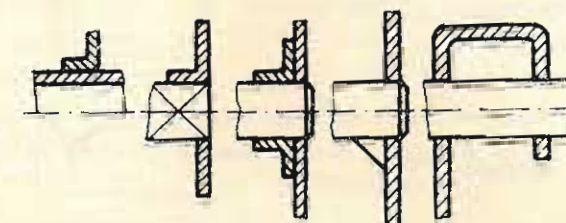


Obr. 6.156

Větší a velké síly zachytíme přehybem a pájení slouží k zajištění těsnosti a ke zvýšení únosnosti (obr. 6.156 b). Jiná varianta mechanického zajištění sil je zakreslena na obr. 6.157, kde provedení *a* představuje zachycení držáku pouze pájením s nevýhodou brzkého odloupení spoje tahovou silou; správné provedení má být podle *b*. Při pájení tenkých dílců z plechu na kruhové nebo jinak profilované tyče musíme vytvořit dostatečně velkou nosnou plochu. U přímého pájeného spoje lze zvětšení nosné plochy docílit protlačením, nastřížením a vyhnutím, pomocí dalšího kroužku s nábojem, pomocí výstuh resp. zdvojením provedené ohybem plechu do tvaru písmene U. (obr. 6.158). Pájení součástí válcového tvaru kolmo na stěnu (obr. 6.159)

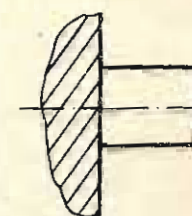


Obr. 6.157

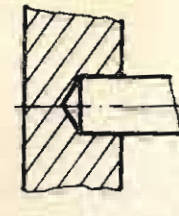


Obr. 6.158

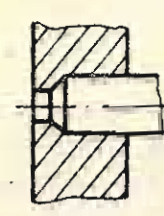
má malou únosnost jak na tah, tak i na ohyb. Takovou konstrukci bychom neměli připustit. Zvýšení únosnosti spoje docílíme zapuštěním válcového konce do stěny. Slepý otvor není vhodný, protože při zatlačování dílce vzniká komprese uzavřeného vzduchu, který vytlačí tekutou pájku ze stykových ploch (obr. 6.160). Proto tam, kde je to možné, stěnu provrtáme dírou malého nebo stejného průměru, která dovoluje vzduchu uniknout (obr. 6.161). Tam kde není možné provrtání, opatříme díru ve stěně hlubšími zářezy, kterými může uniknout uzavřený vzduch (obr. 6.162). Zajištění polohy dílce v otvoru a jeho vedení a usazení provedeme vhodnou volbou přechodného nebo i nehybného uložení. Pro zatečení pájky děláme ve stěně záseky.



Obr. 6.159



Obr. 6.160



Obr. 6.161



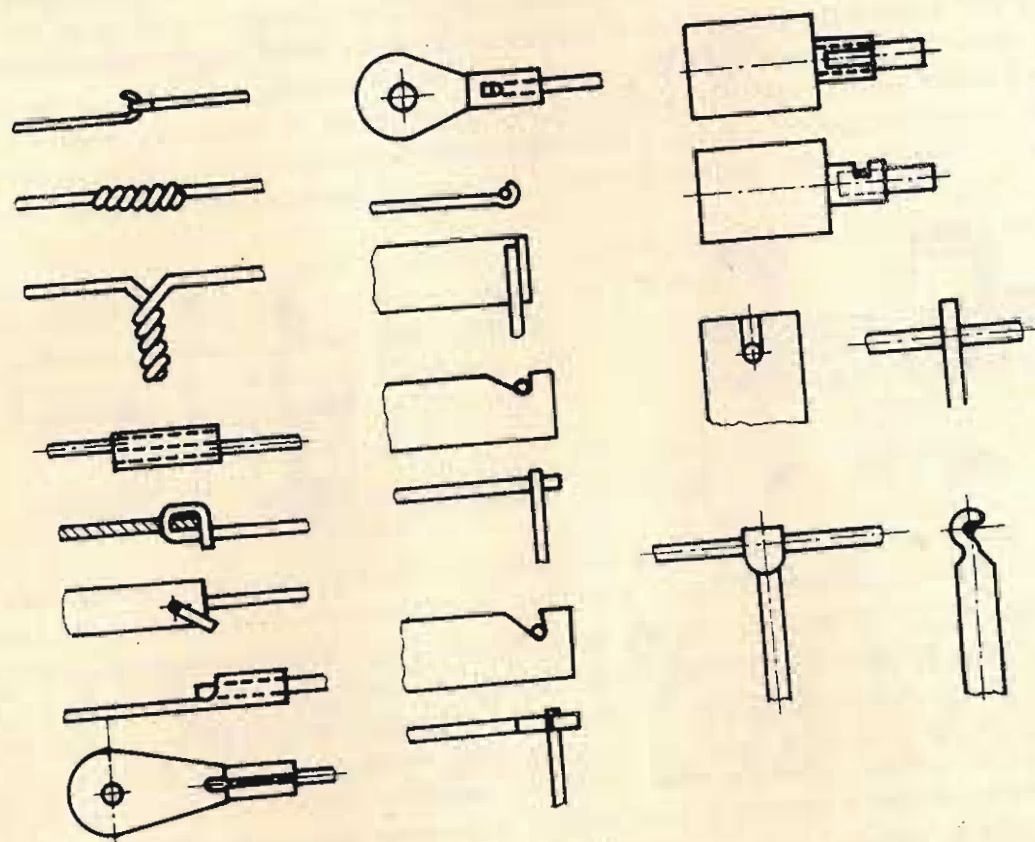
Obr. 6.162

Při konstrukci elektrických přístrojů a zařízení se setkáváme velmi často s potřebou pájení drátů. Vzhledem k tomu, že pájený spoj má velmi malou plochu a není možné spoléhat jen na jeho únosnost, provádíme vždy mechanické uchycení drátu. Pájení slouží hlavně k vytvoření dobře vodivého spoje. Pro pájení vodičů se používá eutektické cínové pájky s olovem. Příklady pájení vodičů ukazuje obr. 6.163.

U měkkého pájení může být spára větší než u pájení tvrdého ($v > 0,5 \text{ mm}$); dle mohou být hrany sraženy, nebo zaobleny, protože se nepočítá se vztlakovostí, ale jen s tekutostí pájky.

Ve vakuové technice se používá difuzního pájení, které se dá zařadit do tzv. difuzního svařování. Difuzní pájení se hodí pro materiály plastické jako je např. měď, stříbro, zlato ap. Princip difuzního pájení spočívá v difuzi dvou kovů v pevné fázi, hluboko pod teplotou tavení látek, účinkem tlaku. Pájka se vkládá mezi planoparalelně vybroušené plochy pájených dílců, tyto se pak vzájemně stlačí a

zahřívají v ochranné atmosféře po delší dobu. Vzniká tak vzduchotěsné spojení. Tímto způsobem lze spojovat i dílce z vhodných materiálů bez pájky.



Obr. 6.163

Vhodnou konstrukcí pájených spojů můžeme vytvářet i složitá tělesa, která by se musela jinak odlévat. Z hlediska ekonomického je toto řešení někdy velmi výhodné. Velká aplikovatelnost pájení měkkého i tvrdého je v optickém průmyslu např. při konstrukci těles, tvarovaných tubusů, dalekohledů, nivelačních přístrojů ap.

Normy ČSN související s pájením : ČSN 05 0040, 05 0041, 05 0042, 05 0043, 05 0044. Pájky : ČSN 05 5600, 05 5610, 05 5612, 05 5614, 05 5616, 05 5618, 05 5620, 05 5622, 05 5624, 05 5626, 05 5630, 05 5631, 05 5635, 05 5650, 05 5660, 05 5662, 05 5664, 05 5666, 05 5668, 05 5670, 05 5672, 05 5674, 05 5676, 05 5680, 05 5684, 05 5686, 05 5690.

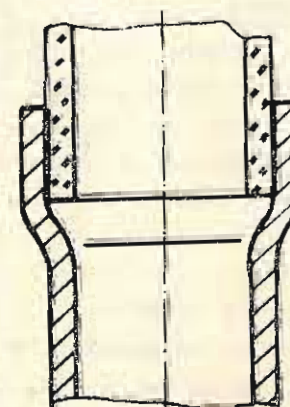
6.7. SPOJOVÁNÍ KOVU SE SKLEM A KERAMIKOU

Nerozebíratelné resp. podmíněně rozebíratelné spojení kovů se sklem a keramikou má svoje zvláštnosti, které jsou dány vlastnostmi spojovaných materiálů. Sklo a keramika jsou látky pevné a křehké s malou tepelnou roztažností, nejsou snadno deformovatelné a nesnesou rázy. Naproti tomu kovy jsou ve většině případů látky houževnaté, které je možno tvářet a mají větší tepelnou roztažnost než sklo a keramika. Volba druhu spojení skla a keramiky s kovem závisí na požadavcích, jakým má spoj vyhovovat. Pokud se neklade požadavek na velkou těsnost spoje, als jen na pod-

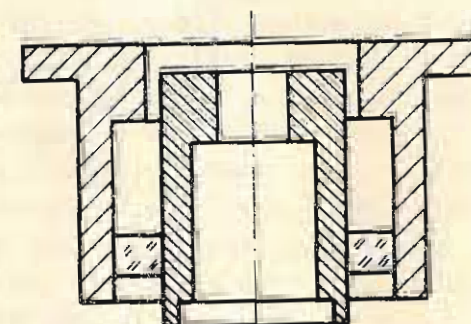
míněnou pevnost, můžeme použít způsobů užívaných pro spojení kovových materiálů. Ke spojení užíváme spojení přehybem (obr. 6.47), spojení nýtováním v provedení podle obr. 6.20, 6.21, 6.22.

Pro spojení skla a keramiky s kovem můžeme použít také pájení. Podmínkou dobrého spojení pájením je stejný nebo blízký součinitel tepelné roztažnosti spojovaných dílců. Menší rozdíly lze vymezit vhodnou volbou pájky s dostatečnou plasticitou a vhodnými adhezními vlastnostmi. Pro dosažení dobrého spoje se doporučuje spojovaná místa u skla a keramik opatřit galvanickým povlakem nebo je metalizovat a pak provést spojení normální pájecí technologií. V případě, že se u spojovaných dílců vyskytne větší tepelná roztažnost, pak musíme kovový dílec umístit vně skleněného dílce, jak to ukazuje řešení na obr. 6.164. Výhoda tohoto uspořádání spočívá v tom, že při pájení kovový dílec zvětší svůj průměr více než skleněný, pájka lépe zateče a po ochlazení spoj se sevře a tím zpevní. Tohoto způsobu užíváme např. spojování mosazných trubek se sklem. Máme-li např. spojit odizolované a soustředně dva

kovové dílce použijeme keramický distanční kroužek (obr. 6.165), který zapájíme mezi dílce na tupo. Spojovaná místa se u keramiky metalizují a pro dodržení souososti musíme použít lícování a spoj provést i s přesahem.



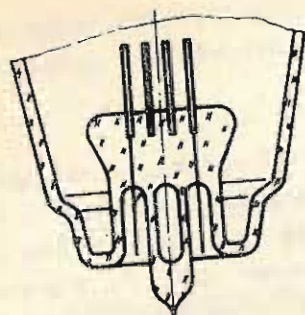
Obr. 6.164



Obr. 6.165

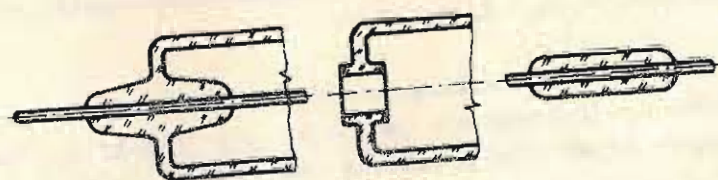
Těsné spojení docílíme zatavováním kovu do skla. Tohoto spojení používáme především ve vakuové technice pro zavádění kovových vodičů pro přívod elektrické energie nebo i pro spojení kovových trubek se skleněnými. Pokud součinitel tepelné roztažnosti kovu a skla jsou stejné, nečiní zatavování žádné potíže. Materiál obklopující dílec může mít součinitel tepelné roztažnosti i větší, aniž by to mělo vliv na těsnost. Po ochlazení materiál se smrští, vyvodí tlakové napětí, které pak zvýší těsnost spoje. Materiál vodičů pro zatavení do skla bývá platina, wolfram, molybden, měď, niklové a chromželeznaté slitiny.

Technologii zatavování kovů do skla se řídí jejich tepelnou roztažností. Při stejné tepelné roztažnosti se skleněná součást i kovový vodič zahřeje na stejnou teplotu odpovídající těstovitému stavu skla, vodič se vloží do skleněného dílce a tento se pak vnějším tlakem zdeformuje do plochého tvaru. Takto se např. zatavují vodiče do elektrických žárovek (obr. 6.166). Toto spojení je velmi dobré a na zlepšení spoje se zúčastňují i kysličníky kovů rozpustných ve skle. Při rozdílných tepelných roztažnostech se postupuje tak, že se kovová součást napřed postupně obaluje skly s rozdílnými tepelnými roztažnostmi, a to tak, že první vrstva má tepelnou roztažnost kovu a poslední pak rovnou skleněnému dílci. Takto vytvořený dílec se zavaří do skla (obr. 6.167). Analogicky se vyrábějí i odizolované průchodky elektrického proudu do kovových vzduchotěsných zařízení.

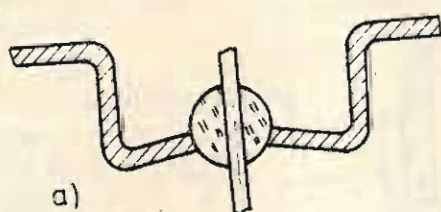


Obr. 6.166

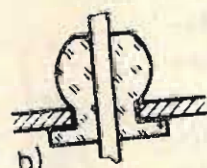
Elektrický vodivý drát se obalí skleněnou perličkou a ta se buď přímo zataví do kovové stěny (obr. 6.168a) nebo se skleněná perlička zataví současně do kovové pouzderky, které se připájí nebo přivaří na stěnu (obr. 6.168b).



Obr. 6.167



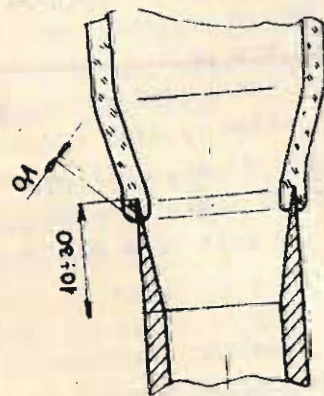
a)



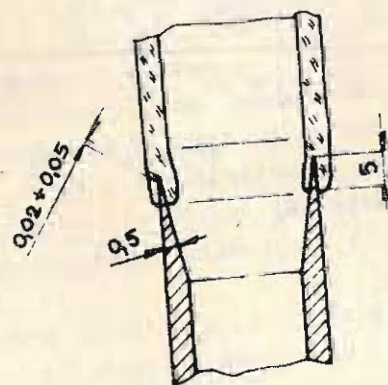
b)

Obr. 6.168

Jedná-li se o spojení dílců rozměrově velkých a s rozdílnými tepelnými roztažnostmi (např. měď a $\alpha = 17 \cdot 10^{-6} \text{ mk}^{-1}$, sklo s $\alpha = (3 + 10) \cdot 10^{-6} \text{ mk}^{-1}$, pak při přímém zatavení by došlo po zchlazení k prasknutí skla. Abychom tomu zabránili, musí se dát kovu možnost vyrovnat tepelné deformace. Děje se to tak, že se měděná trubka vytáhne do ostří a zatavení se provede v místě podle obr. 6.169a.



a)



b)

Obr. 6.169

Další možný způsob spojení spočívá v použití kovové vložky se stejnou tepelnou roztažností jako sklo, které se zataví do skla a druhý konec se připájí na průvzdušovací trubku.

Mimo uvedené druhy spojení se pro méně náročné spoje užívá spojení tmelením, o němž bude pojednáno v následující kapitole.

6.8. SPOJOVÁNÍ LEPENÍM A TMLENÍM

6.8.1. S p o j e n í l e p e n í m

Lepení je způsob přímého nerozebíratelného nebo i podmíněně rozebíratelného spojení dvou resp. i více dílců účinkem lepidla. K vlastnímu spojení dochází vlivem povrchových sil, které jsou založeny na adhesních a kohesních vlastnostech lepidla. Na rozdíl od ostatních druhů spojení je možno lepení používat pro spojování materiálů nejen stejných, ale i různorodých. Podmínkou dobrého spojení je vlastní příprava spoje, technologie lepení a vhodný druh lepidla. Spojované místo musí být řádně očištěno, odmaštěno a zdrsнено. Pokud je místo hladké, zdrsnění provedeme nejjednodušeji smirkem nebo dále chemickými cestami. Nanesená vrstva lepidla nemá být větší než 0,1 mm, protože s narůstající vrstvou klesá pevnost spoje. Po nanesení lepidla a spojení dílců nastává vytvrzovací nebo sušící proces buď za normální nebo zvýšené teploty. Spojované dílce jsou buď v místě spojení stlačovány k sobě nebo může dojít ke spojení bez působení vnějších sil.

V přesné mechanice se lepení používalo již dříve, hlavně pro spojování dílců z pórovitých látek jako je dřevo, papír, kůže, porcelán, pryž atd. Vývojem nových druhů lepidel, hlavně na bázi umělých pryskyřic, se lepení rozšířilo i na spojování kovových dílců. Spojení lepením je progresivní, ekonomicky výhodnou technologií. Výhody spojení lepením spočívají v poměrně snadné přípravě lepených míst, součásti nejsou tepelně ani silově namáhány při vlastním spojování a nevznikají zde deformace ani změny materiálů. Nevýhodou je, že lepený spoj nelze vystavovat vyšším pracovním teplotám, spoj může podléhat povětrnostním vlivům a u některých druhů lepidel se může pevnost spoje časem snížit. Určitým nedostatkem je delší doba vytvrzování (5 - 50 hod.), která nedovoluje spoj ihned zatížit vnějšími silami.

6.8.1.1. Lepidla

Lepidla používaná pro lepení spojů mohou být buď jednosložková nebo dvousložková. Jednosložková lepidla jsou připravena pro okamžité použití. Dvousložková lepidla se musí těsně před lepením připravit smícháním obou složek v přesně předepsaném poměru dle návodu výrobce. Jednosložková lepidla jsou vyrobena buď z přírodních surovin nebo i z umělých látek. Dvousložková lepidla jsou vesměs vyrobena z umělých pryskyřic.

Jednosložková lepidla z přírodních surovin mají svůj základ v gluteinu, což je vysokomolekulární bílkovinná látka, získaná ze zvířecích kostí, z kůže nebo i z bílků. Tato lepidla, zvaná klihy, slouží především pro lepení dřeva, papíru a textilií. Klihy se musí předem zahřát, protože glutein není ve studené vodě rozpustný. Další základní látkou pro tato lepidla je kasein mléčná bílkovina. Kaseinové klihy vznikají spojením kaseinu s alkaliemi jako např. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a přísadami z fluoridu sodného nebo petroleje. Používají se pro velmi pevná spojení a mají také širší rozsah použití.

Rostlinná lepidla jsou založena na bázi dextrinu, škrobu nebo na přírodním umělém kaučuku. Dextrinová a škrobová lepidla se používají převážně pro lepení

papíru, kaučová lepidla - což je roztok kaučuku v benzolu nebo v benzinu - pro lepení pryže.

Syntetická lepidla jsou vysoce molekulární umělé látky vyráběné hlavně z polyuretanu, polyethylenoxidu nebo fenolu. Tato lepidla jsou v podstatě umělé pryskyřice, které získáváme smícháním dvou nebo více složek. Polyuretanová lepidla vykazují velkou pevnost spoje a používají se hlavně pro spojení dřev a výrobu překližek. Polyethylenová lepidla (epoxidové pryskyřice) se osvědčily při spojování kovů. Spoj má dostatečnou pevnost ve smyku i tlaku a nepodléhá korozi. Tuhnutí spoje probíhá buď za normálních nebo zvýšených teplot. Přesný návod pro technologii lepení udává výrobce, Fenolové pryskyřice se těsně před lepením smíchávají s vytvrzovací látkou - buď kyselinou chlórovou nebo fosforečnou. Spoj je pevný, ve vodě stálý. Hodí se i pro spojování dřev nebo dílců lisovaných z fenolových pryskyřic.

Vývoj lepidel na bázi umělých vysokomolekulárních látek neustále pokračuje a tak na trh přicházejí stále nové druhy lepidel pod různými značkami.

O volbě lepidla pro lepený spoj rozhodují mechanické vlastnosti a zatížení spoje, pracovní teploty a prostředí. Proto je nutné z nabízených druhů lepidel vybrat pro daný účel ty nejvhodnější, a to na základě údajů výrobce. Doporučuje se přímo jednotlivé druhy lepidel předem vyzkoušet na modelu či skutečném výrobku vystavenému skutečnému namáhání a pak se rozhodnout.

6.8.1.2. Pevnostní výpočet lepeného spoje

Jak bylo uvedeno v předmětu Části strojů, lepený spoj má být především namáhán na smyk, v němž vykazuje největší únosnost danou vztahem:

$$F = S \tau_{dov} = l \cdot b \cdot \frac{\tau_{Pt}}{k} \quad [N; mm^2; MPa; mm; mm]$$

kde jsou: F zátěžná síla $[N]$

S účinná plocha lepeného spoje $[m^2, mm^2]$

$l, - b$, délka a šířka spoje $[m, mm]$

τ_{dov} - dovolené smykové napětí lepidla $[MPa = N/mm^2]$

τ_{Pt} - pevnost lepidla na smyk $[MPa = N/mm^2]$

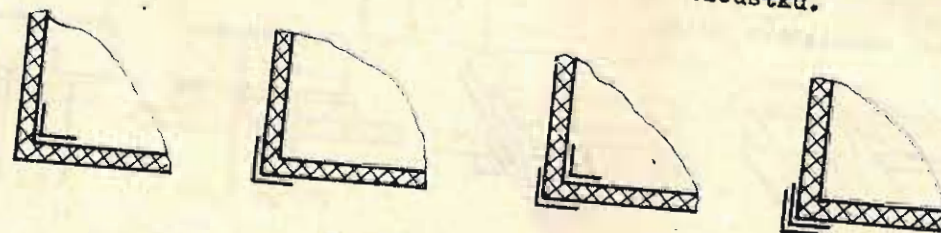
k součinitel bezpečnosti

Dovolené napětí na smyk resp. pevnost lepidla je závislé na tloušťce lepidla a pokud tuto udává výrobce je nutno ji dodržet; jinak únosnost spoje klesá. Je-li lepený spoj namáhán na tah nebo na tlak, je nutno počítat se sníženou únosností, pokud patřičně nezvětšíme plochu lepeného spoje. V žádném případě nesmíme lepený spoj vystavit ohybovému namáhání. Při vzniku ohybového namáhání může dojít k odlupování lepeného spoje, který je příčinou poklesu spolehlivosti spojení. V těch případech, kde se nemůžeme vyhnout ohybovému namáhání např. u přeplátovaných spojů při spojování dílců nestejných tloušťek resp. nestejně pevnosti je lépe si spolehlivost spoje ověřit předem zkušbou.

Pevnostní charakteristiky lepidel udává výrobce.

6.8.1.3. Tvarování lepených spojů

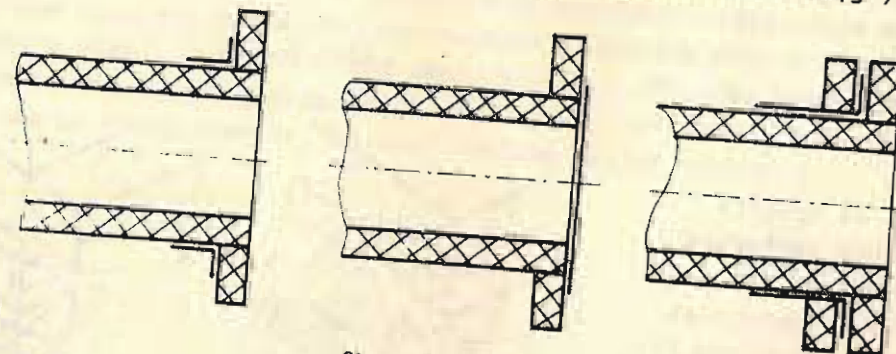
Tvarování lepených spojů je závislé na materiálech spojovaných dílců. Při lepení měkkých materiálů jako např. kůže, papíru, papírové lepenky, plátna buď na tupo nebo přeplátováním musíme zajistit patřičnou velikost stykových ploch. Není-li plocha spoje dostatečně velká, je nutno použít přidavných pásů, kterými vytužujeme spoj. Této technologie se užívá např. u koutových spojů (obr. 6.170a). Podle požadované tuhosti používáme i více pásů buď z téhož nebo i jiného měkkého materiálu (papíru, plátna). Pásky mohou mít rozdílnou tloušťku.



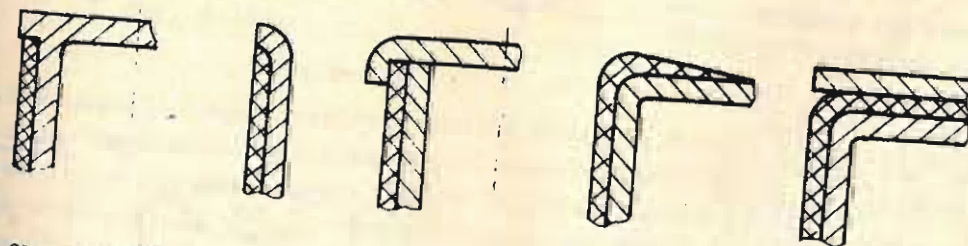
Obr. 6.170 a

Analogického řešení se užívá i při konstrukci papírových tubusů s kruhovými přírubami (obr. 6.170b).

Při polepování tvrdých materiálů (např. kovových) měkkými materiály (kůží, umělými hmotami, plátnem ap.) pro zlepšení vzhledu přístrojů (např. těles fotografických přístrojů) může dojít při neopatrném zacházení či samovolně k odlupování nalepené vrstvy. Ochranu před odlupováním provádíme buď převýšeným okrajem vytvořeným na tělese (obr. 6.171), plynulým klínovitým zeslabením polepového materiálu (obr. 6.172) nebo ochranným kovovým krytem, lištou (obr. 6.173).



Obr. 6.170 b



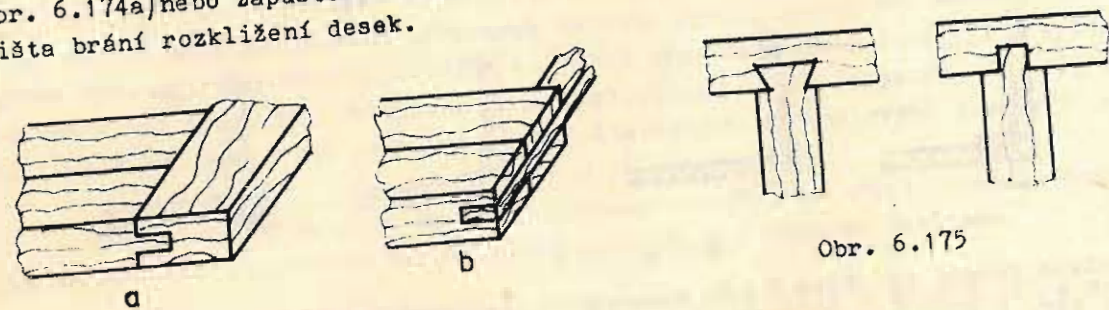
Obr. 6.171

Obr. 6.172

Obr. 6.173

Spojování dřevěných konstrukcí lepením (klížením) vyžaduje speciální řešení vlastního spoje. Dřevo ať sebelépe vysušené podléhá povětrnostním vlivům a proto

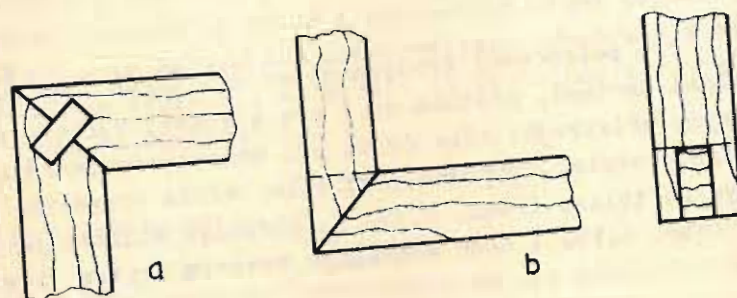
nasáknutím vzdušné vlhkosti resp. opětovným vysušením se deformuje čili, jak se říká, dřevo pracuje. Z uvedených důvodů proto přímé spojení nevykazuje dostatečnou pevnost. Při konstrukci se doporučuje užití buď vrstveného spoje nebo mechanické zajištění. Těmito úpravami se současně sleduje i zvětšování lepících ploch. Zajištění lepeného spoje se dá provést i lemováním okrajů dřevěnými lištami. Způsoby provedení lepeného spoje u dřevěných součástí ukazují následující obrázky. Vytváření velkoplochých desek např. u rýsovacích strojů, se provádí lepením z lepených lištových desek, které se na okrajích musí vázat lemovací lištou buď v provedení (obr. 6.174a) nebo zapuštěnou lištou do drážek v deskách (obr. 6.174b). Lemovací lišta brání rozklížení desek.



Obr. 6.175

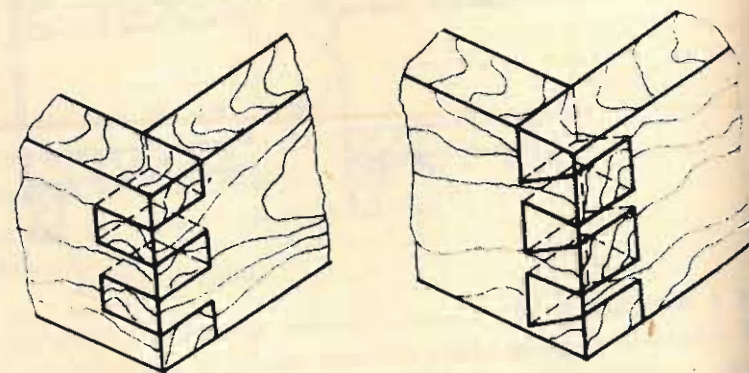
Obr. 6.174

Způsoby spojení rohů rámu ukazuje obr. 6.176a,b. Jedná-li se o rohy dřevěných skříněk (např. pro ukládání přístrojů) provádíme spoje sklížením buď plochých nebo klínových zářezů podle obr. 6.177. Tomuto druhu spojení se říká také cinkování.

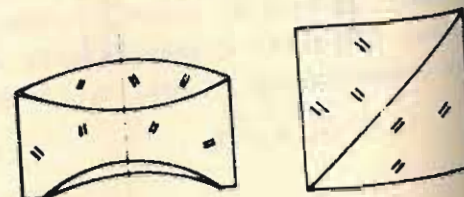


Obr. 6.176

Lepení se využívá velmi často při sestavování optických soustav, kdy jednotlivé optické části musí na sebe těsně navazovat. Při lepení musíme volit průhledné lepidlo se stejným indexem lomu, jaké má použité sklo. Tomuto požadavku vyhovuje kanadský balzám, který se musí nanášet ve velmi tenké vrstvě bez vzduchových bublinek. Příklady lepených optických soustav ukazuje obr. 6.178.



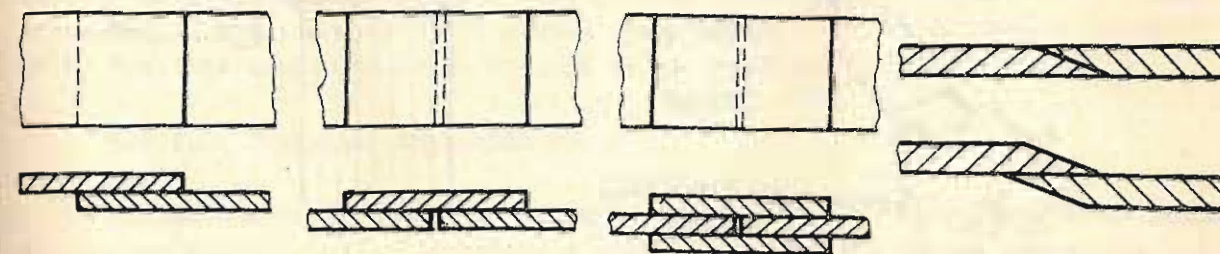
Obr. 6.177



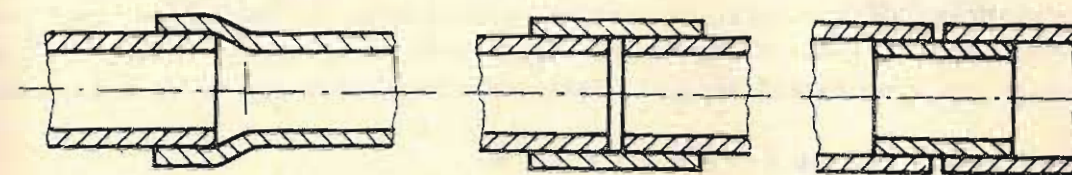
Obr. 6.178

Spojování kovových dílců lepením dosáhlo v nynější době vynálezem umělých pryskyřic velkého rozsahu. Výhodou tohoto spojení je poměrně

snadná technologie. Při lepení nedochází k žádným deformacím ani k tepelnému namáhání a ke vzniku vnitřních pnutí. Jistým nedostatkem je menší únosnost, který se dá odstranit zvětšením stykových ploch. Přímé lepení spoje se mají provádět především přeplátováním dílců. Pro nepřímé spojení používáme dalšího stykového dílce nalepeného buď z jedné nebo z obou stran spojovaných dílců, přiložených k sobě na tupo. Příklady provedení plochých spojů ukazují obr. 6.179 a trubek obr. 6.180.

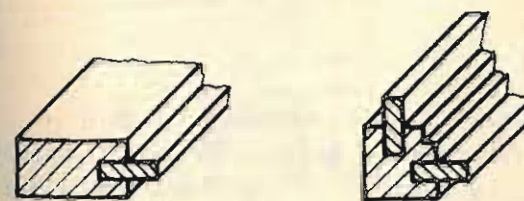


Obr. 6.179

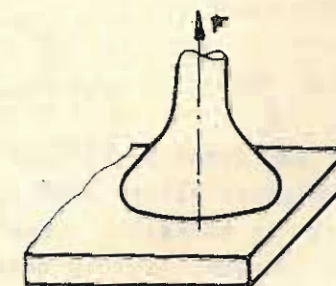


Obr. 6.180

Délka přeplátování bývá 5 až 20 krát větší, než je tloušťka stěry a závisí na požadované únosnosti spoje. Mají-li se spojovat navzájem slabší dílce se silnějšími, pak je výhodné používat vyfrézovaných drážek v silnějším dílci, do nichž se zasadí dílce slabší a slepí. Toto provedení ukazuje obr. 6.181. Je-li lepená součást namáhána tahovou silou, pak plocha spoje musí být větší než u spoje přeplátovaného, namáhaného na smyk, protože únosnost lepidla na tah bývá menší.



Obr. 6.181

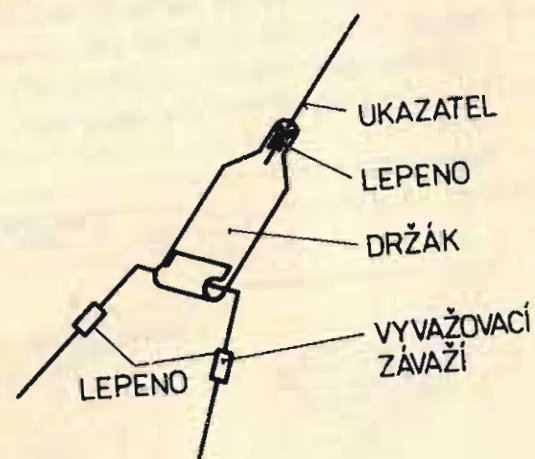


Obr. 6.182

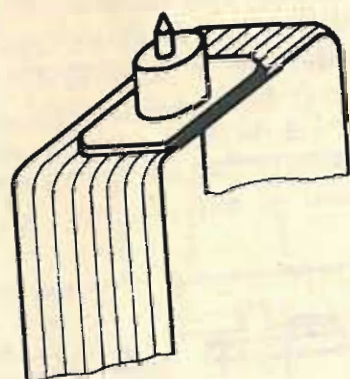
Obr. 6.182 ukazuje tahově namáhaný spoj s nosností rovnou kruhovému průřezu tyče. Na rozložení smykového napětí má vliv i pevnost spojovaných dílců. Je-li pevnost jednoho dílce menší než druhého, pak v lepidle nastává zvětšení napětí na straně slabšího dílce, který vykazuje větší deformace. Toto místo zvýšeného namáhání může být příčinou odlupování spoje.

Při stavbě přístrojů se pro málo namáhané spoje používá ještě jako lepidlo lihového roztoku šelaku. Šelak se nanese na spojované dílce a po vyprchání lihu je spoj držen adhezí a kohesí silami šelaku. Šelaku se hlavně užívá pro

napojování tenkých ukazatelů do otočných držádků (obr. 6.183) nebo se jím připojují hroty přímo na otočné cívky přístrojů (obr. 6.184).



Obr. 6.183



Obr. 6.184

6.8.2. Spojení tmelením

Spojení tmelením slouží k nerozebíratelnému a tuhému spojení dvou dílců. Současně se spojením tvoří tmel výplň dutých prostorů dílců vyráběných s velkými tolerancemi. Tmelení je možné použít i k těsnění proti vnikání vlhkosti či prachu. K vlastnímu spojení dochází působením adhezčních sil mezi dvěma součástmi, z nichž jedna je opatřena dutinou, do níž se nanáší tekutý nebo pastovitý tmel. Tvrdnutím tmelu dochází ke zvětšování jeho objemu a tím ke vzniku adhezčních sil. Vytvrzování tmele se může dít i bez vnějších zátěžných sil. Tlakové síly, vznikající při vytvrzování tmele, mají příznivý účinek na zvýšení pevnosti spoje. Vytvrzování může probíhat buď za normálních nebo i zvýšených teplotách, které proces vytvrzování urychlují.

6.8.2.1. Tmely

- Tmely používané ke spojení můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na :
- tmely tvrdnoucí vlivem změn fyzikálních vlastností, vyvolaných změnou teploty. Tyto tmely se obvykle musí před použitím uvést do pastovitého stavu buď zahřátím na vyšší teplotu nebo rozředěním etanolem.
 - tmely tuhnoucí působením vnitřních chemických změn, vyvolaných působením vody nebo i vzduchu. Pro prodloužení doby tuhnutí se někdy tmely smíchávají s jinými látkami, jako např. dextrinem.

Při tmelení se používá :

- sklenářského tmelu - což je směs lněné fermeže a plavené křídý s přidavkem mastku,
- vodního skla s různými přísadami např. mastku pro vytváření vodotěsných a ohněvzdorných spojů,
- olověného tmelu pro tmelení dřeva, keramiky, skla a kovů ; dává vysokou pevnost spoji, ale je jedovatý

- pryskyřičných tmelů jako alkoholických roztoků různých pryskyřic např. kalafuny ap.,
- sádry a mramorového cementu ; tyto nejsou ani vodo- ani olejotěsné,
- horčíkových tmelů, které jsou olejotěsné, ale mohou oxidovat při vlhkosti,
- porcelánový tmel ap..

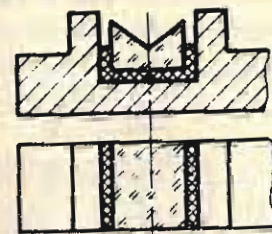
Tmely mají proti ostatním druhům spojení nevýhodu v tom, že pevnost spojení bývá menší, tmely vytékají, sesychají, nejsou vždy vodo- či olejotěsné, mohou působit korozivně na kovy, nemají stálé složení ap. Z těchto důvodů se tmelení používá pouze tam, kde ostatních druhů spojení nelze použít.

6.8.2.2. Tvarování tmelených spojů

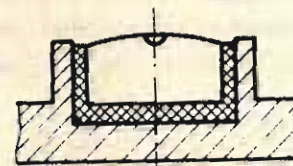
Vzhledem k menší únosnosti spoje musíme při přímém spojení součástek zajistit nosnou součástku proti vytažení a proti pootočení příslušným tvarováním, analogickým jako při spojení zalitím. Tmelení vzhledem k výše uvedeným nedostatkům se omezuje hlavně pro spojování křehkých látek jako jsou sklo, keramika, porcelán a kovem. Tmel je schopen při mechanickém zatížení zajistit rovnoměrné rozložení namáhání na křehkou součást, což je vlastně hlavní výhoda tmelení. Konstrukce spoje je dále ještě ovlivněna rozdílnými součiniteli tepelné roztažnosti spojovaných dílců.

Konstrukce tmeleného spoje spočívá v tom, že v jedné součásti musíme vytvořit dostatečně velký dutý prostor pro zapuštění druhé součásti a nanesení tmelu. Zapuštěná součást, pokud je namáhána největšími silami, musí být zajištěna proti vytažení a pootočení. Dutinu vytvoříme obvykle v křehké součásti, když tato tvoří nosné těleso. Dutý prostor lze vytvořit i v kovovém tělese, pokud zajištěná křehká součást není určena pro přenos sil, hlavně tahových.

Konstrukční provedení ukazují níže zakreslené obrázky. Obr. 6.185 představuje zatmelení keramického břitů do kovového držáku ; obr. 6.186 pak zatmelení kru-



Obr. 6.185

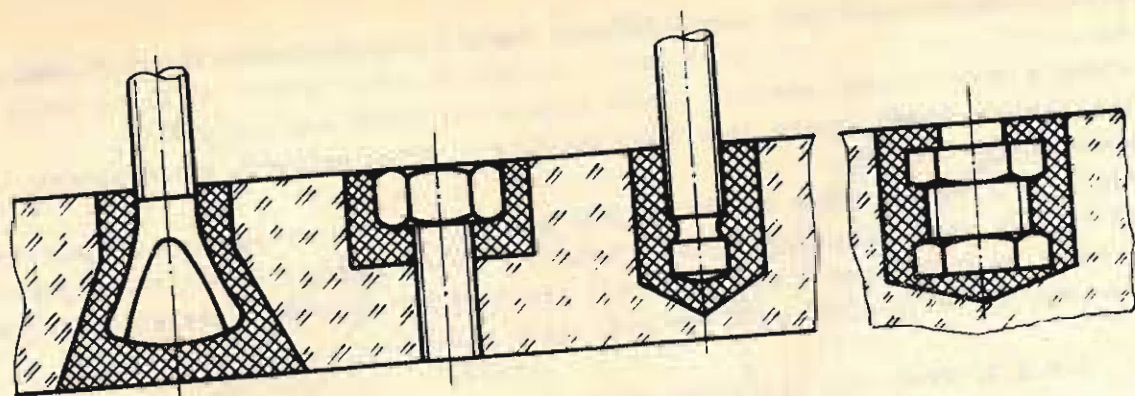


Obr. 6.186

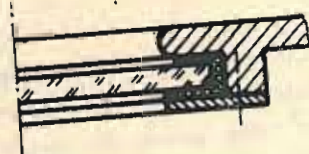


Obr. 6.187

hové libely do přístroje. Obr. 6.187 řeší připojení patice žárovky. Na obr. 6.188 jsou znázorněny způsoby pojištění kovových součástek proti vytažení a pootočení při zatmelení do keramických či porcelánových dílců. Další možné aplikace pojištění je možné vzít ze způsobů zajišťování zalitých součástí upravených na rozměry tmelených spojů. Vytěsnění prostorů tmelem a současnou zábranu proti vniku prachu do přístroje v místě krycího sklíčkem ukazuje obr. 6.189.



Obr. 6.188



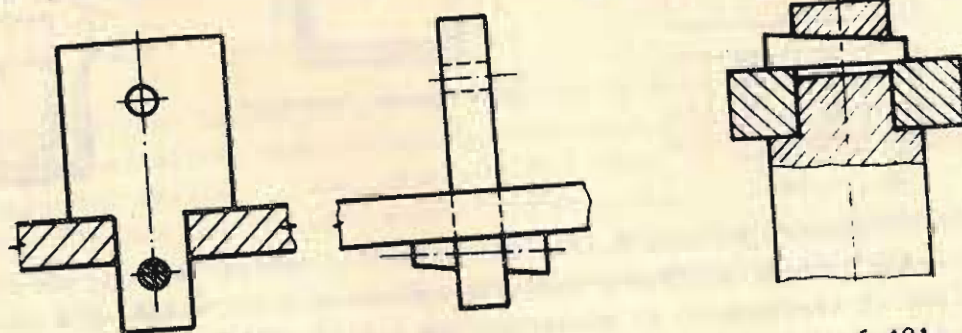
Obr. 6.189

6.9. SPOJENÍ KLÍNY, PERY, KOLÍKY

Spojení klíny, pery a kolíky tvoří tvarové i silové rozebíratelné spojení dvou nebo i více dílců. Vzájemné spojení se docílí buď přesahem mezi spojovanými a spojujícími dílci nebo účinkem úkosové plochy či kuželovitosti.

6.9.1. S p o j e n í k l í n y a p e r y

Spojení pomocí klínů se v přesné mechanice používá zřídka. Zvláště je značně omezeno použití podélných klínů pro přenos otáčivého pohybu a kroutícího momentu, protože vyvolává nesoucosť kol a kotoučů nasazených na hřídeli a tím jejich házivost, jak obvodovou, tak i čelní. Dále nesymetrickým tlakem způsobují klíny nežádoucí průhyb hřídelů. Použití příčných klínů je častější, protože vytváří snadno rozebíratelné spojení rámu, nosných desek přístrojů, (Obr. 6.190) které se často demontují. Lze jimi poměrně snadno připojovat jednu součást do druhé. (Obr. 6.191)



Obr. 6.190

Obr. 6.191

U spojování rozměrově menších součástí se příčný klín nahrazuje kuželovým kolíkem.

Pro přenos větších kroutících momentů z hřídele na kotouč resp. naopak se i v přesné mechanice používá per, která mohou při správné výrobě drážek zamezit házivosti. Pera mohou být zasazena do drážky v hřídeli buď s mírným přesahem - pera těsná - nebo s malou vůlí - pera výměnná - je-li žádoucí relativní pohyb mezi hřídelem a nábojem v axiálním směru. Menší kroutící momenty u předimenzovaných

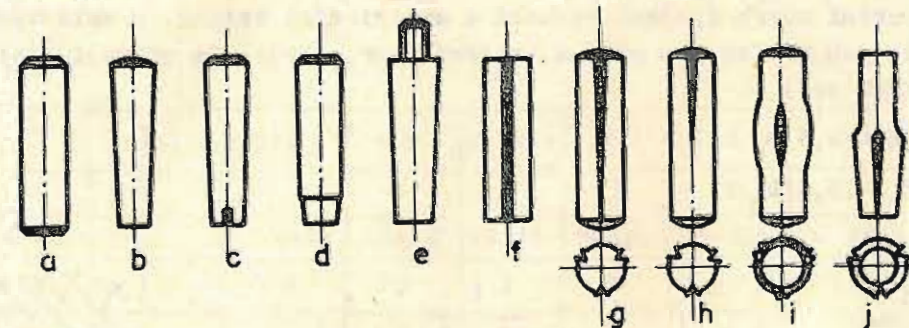
hřídelů můžeme přenášet i úsečovými pery. Klíny podélné mají užití v přesné mechanice jako stavěcí prvky.

Výpočet klínů a per provádíme podle metodiky uvedené v Částech strojů. Rovněž tak lze aplikovat i empirické vztahy pro konstrukční návrh.

6.9.2. S p o j e n í k o l í k y

Spojení pomocí kolíků je v přesné mechanice daleko častější než ve všeobecném strojínictví. Kolíky používáme pro přenos sil - silové kolíky - a pro zajištění vzájemné polohy těles - polohové kolíky.

Základní typy kolíků jsou znázorněny na obr. 6.192. Válcový kolík (a) se nejčastěji užívá jak pro přenos sil, tak i pro zajištění vzájemné polohy.



Obr. 6.192

Kuželový kolík (b) nachází užití pro přenos kroutícího momentu za rotace, řidčeji pro zajištění vzájemné polohy. Analogické použití má kuželový kolík z rozštěpeným koncem (c). Rozehnutí rozštěpeného konce do stran zajišťuje kolík proti vypadnutí vlivem odstředivých sil za rotace. Provedení (d) válcového kolíku má hlavní užití jako polohový kolík. Válcová část sedí pevně ve vystruženém otvoru, kuželová část slouží k navedení kolíku do díry. Kuželový kolík se šroubovým závitem (e) nebo s vnitřním maticovým závitem se užívá hlavně pro silový přenos. Závity slouží k vytahování zapuštěných kolíků. Díry v součástech pro vložení uvedených kolíků se musí vrtat a stružit společně.

Pružný trubkový kolík s podélným zářezem (f) má svoje místo pro spojení jak rotačních, tak i plochých dílců. Předpokladem pro použití těchto kolíků jsou malé momenty nebo smykové síly. Díra pro pružný kolík se vyrábí o 0,2 - 0,4 mm menší než je průměr kolíku. Rýhované kolíky (g + j) se užívají hlavně jako polohové kolíky. Okraje rýh na kolíku se po zatlačení do děr pružně deformují, tím vyvolají bezvúlové spojení a současně jsou pojištěny proti vypadnutí. Díry pro trubkové a rýhované kolíky stačí pouze společně vrtat bez stružení.

Společné vrtání a stružení děr těsně před nebo až při montáži je na závadu v těch případech, kdy je nutno dbát na čistotu a přesnost přístroje, protože třísky po obrábění mohou rušivě působit na jeho funkci. V těchto případech je nutné volit jiný způsob spojení.

Materiál válcových, kuželových a rýhovaných kolíků bývá ocel tv. 11 380 až 11 500 popř. 11 600. Pro pružné kolíky se volí pružinová ocel 12 090. Kolíky je

možno vyrábět dále z mědi, slitin mědi a slitin hliníku.

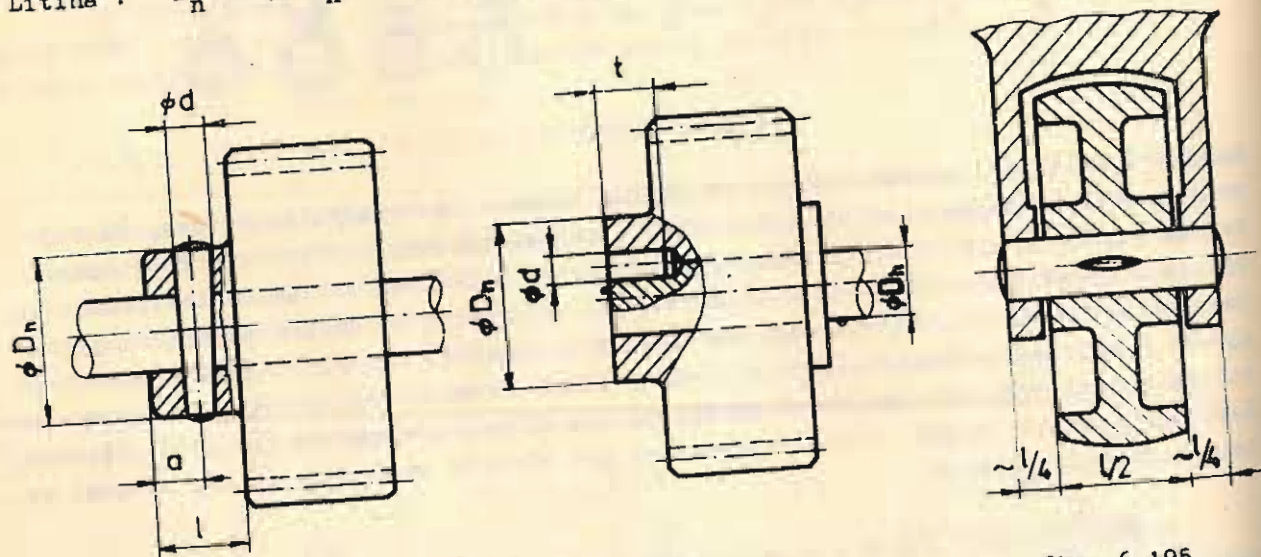
6.9.2.1. Výpočet a konstrukce spojení kolíky

Výpočet kolíků pro přenos sil a momentů se provádí s ohledem na střih, na otlačení a na ohyb, jsou-li užity jako nosné elementy pro kloubové či otočné uložení. Výpočtové vztahy včetně součinitelů bezpečnosti jsou uvedeny ve skriptech části stožů I. resp. se dají snadno odvodit z teorie pružnosti a pevnosti.

Při přenosu malých sil a momentů se výpočet obvykle provádět nemusí, protože konstrukce spojení navržená z empirických vztahů s ohledem na výrobu dává předimenzované spojení. Nanejvýš se omezujeme na zjištění skutečného součinitele bezpečnosti, a to přímo z konstrukčního návrhu. Předimenzované kolíky můžeme zkrátit.

Konstrukční návrh spojení vychází z empirických vztahů. U válcových resp. kuželových silových kolíků pro příčné spojení (obr. 6.191) se udávají tyto vztahy:

Materiál kolíků ocel :
 $d = \frac{1}{3} D_h$, $D_n \geq 2,5 D_h$ $l = (1,5 + 2) D_h$ $a \geq 1,5 d$
 Litina : $D_n = 3,5 D_h$



Obr. 6.193

Obr. 6.194

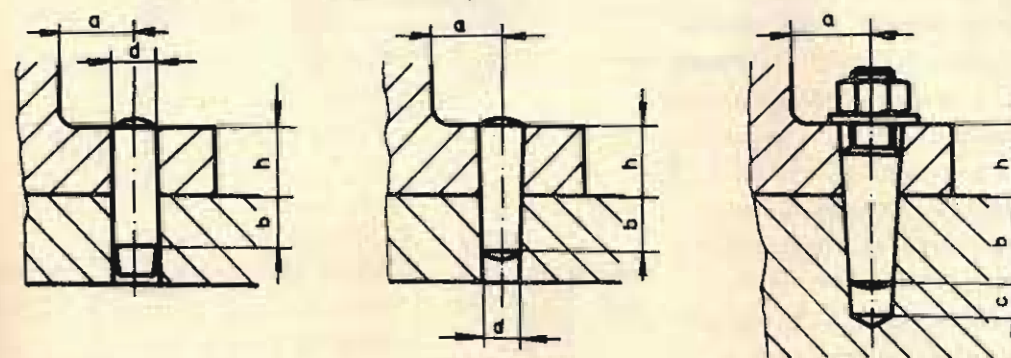
Obr. 6.195

Axiálně uložené válcové resp. kuželové kolíky, které zastávají funkci per, se navrhují v závislosti na průměru hřídele takto (obr. 6.194)

D_h	až 8 mm	8 + 15 mm	15 + 30 mm	30 + 120 mm
d	$\frac{D_h}{2}$	$\frac{D_h}{2,5}$	$\frac{D_h}{3}$	$\frac{D_h}{4}$
t	$(1,5 + 2) d$			

Kolíky sloužící jako osy pro kloubové či otočné uložení mají doporučené délky pro uložení uvedeny na obr. 6.195.

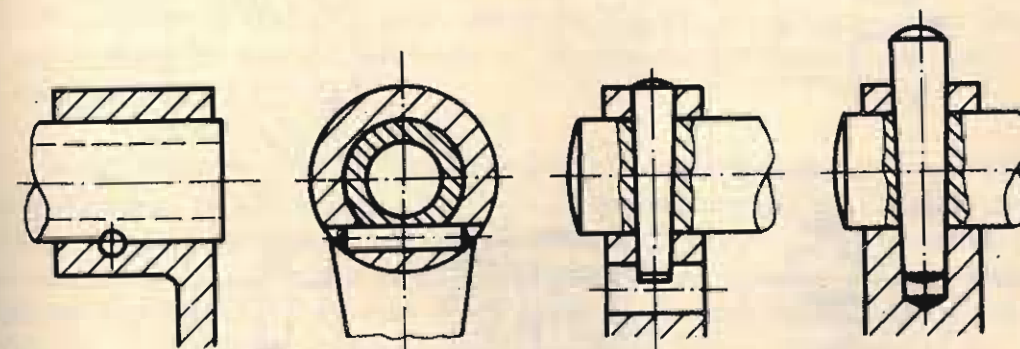
Polohové kolíky obecně mají být umístěny pokud možno nejdále od sebe. V případě, že kolíky mají zajišťovat polohu osazených součástí, pak poloha kolíků se z výrobních důvodů řídí údaji uvedenými na obr. 6.196.



d	1	1,5	2	3	4	5	6	8
a	3	4	5	6	7	7	10	13
h	≤ 2	3	4+5	10+12	14+16	18+20	20+25	> 25
b	1	1	1	3	4	6	8	10
c	-	-	-	3	4	5	6	8

Obr. 6.196

Konstrukčních řešení spojení součástí kolíky mimo již uvedené existuje velmi mnoho. Např. spojení náboje páky na dutý hřídel lze provést tečně vedeným kolíkem podle obr. 6.197. Jedná-li se o plný hřídel a má-li být páka často demontována, se užije kuželového kolíku v provedení dle obr. 6.198 nebo 6.199.



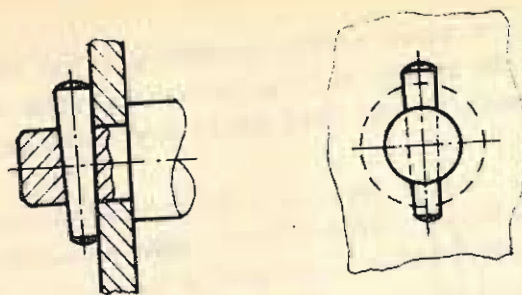
Obr. 6.197

Obr. 6.198

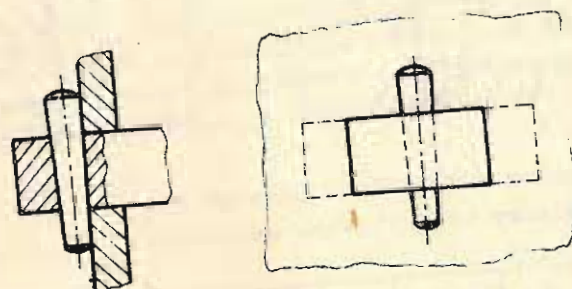
Obr. 6.199

S kuželovými kolíky se často setkáváme při připojování rotačních nebo plochých součástí kolmo na sebe, a to u konstrukcí nosných rámců. Kuželové kolíky zde zastávají funkci příčných klínů (obr. 6.200, 6.201). Připojit lze dvě součásti také rozepřením osovým řezem nařiznutého konce sloupku, buď příčně (obr. 6.202) nebo podélně (obr. 6.203) kuželovým kolíkem. Kolíky mohou být používány i jako samostatné strojní dílce buď jako držáčky pružin (obr. 6.204), jako hřídelíky nebo vodící prvky. V těchto případech se často užívají rýhované kolíky. (Obr. 6.205).

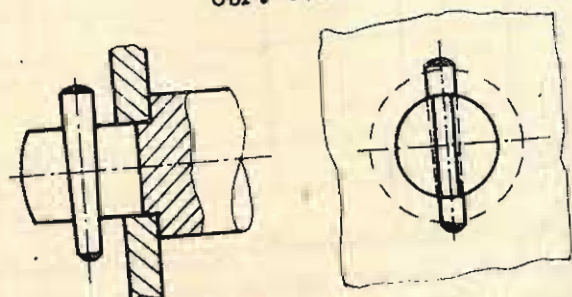
Válcové kolíky, které slouží k přenosu sil je třeba chránit před samovolným uvolněním. Jednoduše lze tyto kolíky pojistit před uvolněním záseky pomocí důlčků (obr. 6.206). Větší bezpečnost dávají však kolíky k roznýtování (obr. 6.207). Kuželové kolíky vykazují při správném zaražení větší bezpečnost proti uvolnění, protože mezi stykovými plochami vzniká větší tření. Chceme-li se však pojistit, používáme kuželových kolíků k rozštěpení (obr. 6.208). Zvláště důležité je pamatovat na pojištění kolíků proti vypadnutí, jsou-li tyto vystaveny odstředivým silám při rotaci dílců. Zde i spojení s přesahem nedává záruku proti vypadnutí. Bezpečné spojení dává kuželový kolík s rozštěpeným koncem. S úspěchem se dá užít, jako pojistky proti vypadnutí, drátěných kroužků, zasazených do obvodové drážky a obepínajících kolík. Příslušné konstrukce pro válcový a kuželový kolík jsou znázorněny na obr. 6.209 a 6.210.



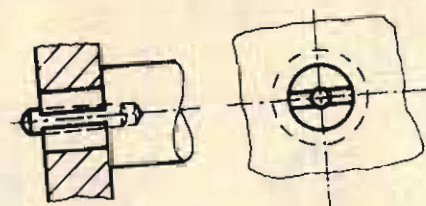
Obr. 6.200



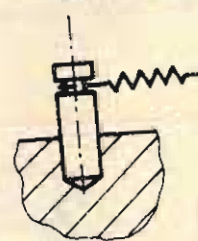
Obr. 6.201



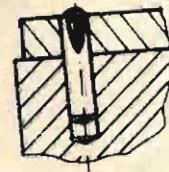
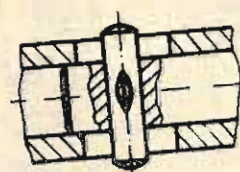
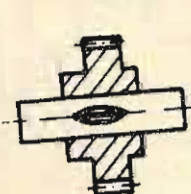
Obr. 6.202



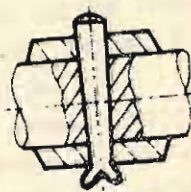
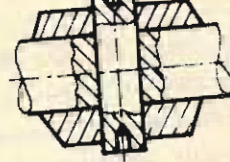
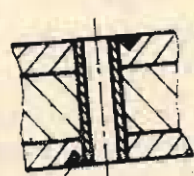
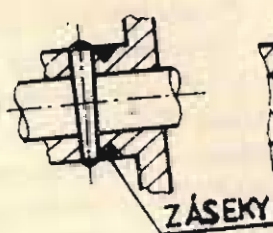
Obr. 6.203



Obr. 6.204



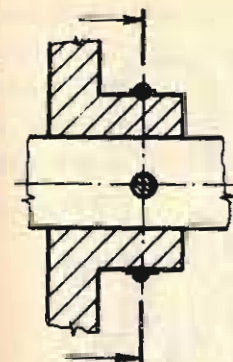
Obr. 6.205



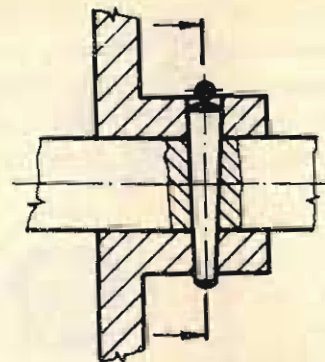
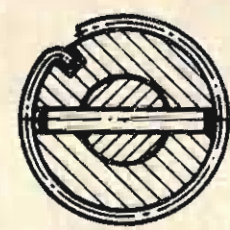
Obr. 6.206

Obr. 6.207

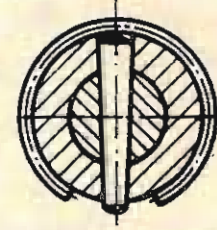
Obr. 6.208



Obr. 6.209



Obr. 6.210



Normy ČSN související s klíny, pery a kolíky :

Klíny a pera : ČSN 02 2502, 02 1504, ČSN 02 2507, 02 2531, 02 2532, 02 2562, 02 2570, 02 2575 ;

Kolíky a čepy : 02 2010, 02 2011, 02 2031, 02 2100, 02 2101, 02 2102, 02 2104, 02 2106 + 02 2108, 02 2140, 02 2150, 02 2152 + 02 2157, 02 2171, 02 2173.

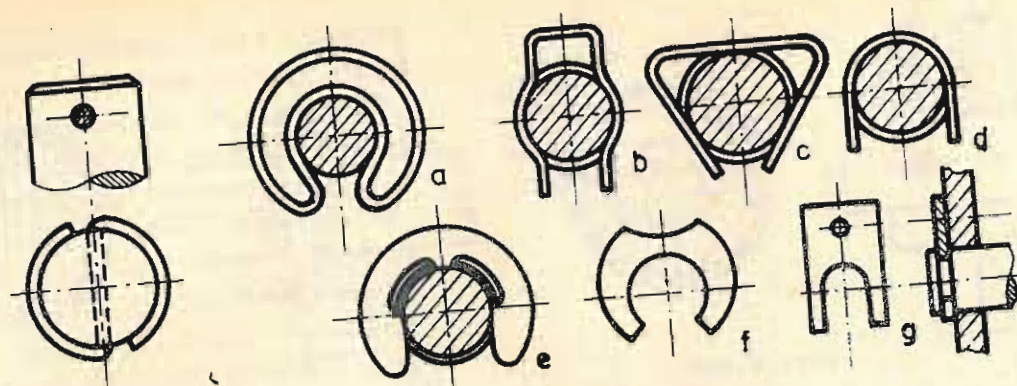
6.10. ZÁVLAČKY A POJISTNÉ KROUŽKY

Závlačky a pojistné kroužky slouží k nepřímému tvarovému resp. silovému rozebíratelnému spojení součástí proti vysunutí v axiálním směru.

Spojení se docílí plastickou nebo pružnou deformací závlaček či pojistných kroužků.

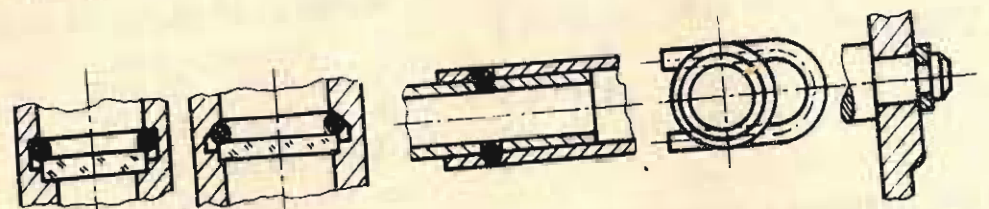
Závlaček běžně užívaných ve všeobecném strojnictví se užívá v přesné mechanice poměrně málo. Místo těchto závlaček se užívá měkkého drátu, který se provlékne příčným otvorem a zahne se okolo součásti. (obr. 6.211). Místo příčného otvoru v hřídeli lze s výhodou použít obvodové drážky, do níž se nasune měkký drát předem natvarovaný do písmene U. Tento se pak při montáži plasticky zdeformuje tak, aby obepínal hřídel.

Velmi časté je použití pružných různě tvarovaných drátových pojistek, jak jsou znázorněny na obr. 6.212. Tyto pojistky se zasazují do obvodových drážek v hřídeli. Slouží hlavně k axiálnímu pojištění součástek proti vysunutí a k zachycení axiálních sil. Do této skupiny pojistek patří i často užívané třmenové a Seegerovy pojistky. Tyto strojní prvky jsou normovány. Místo normalizovaných pojistek lze užít i zjednodušených tvarů pojistek podle provedení f, g. Praktické příklady užití pojistných kroužků jsou uvedeny na obr. 6.209 a 6.210. Obr. 6.213 ukazuje drátěný pružný kroužek pro zachycení optických součástek do tubusu. Provedení a může při nedodržení tolerancí vykazovat axiální vůli. Lepší je provedení b, kde kuželovým přechodem válcové drážky je pojistný kroužek veden k vymezení axiální vůle. Obr. 6.214 ukazuje axiální pojištění dvou trubek pomocí drátěné pojistky ve tvaru U. Obr. 6.215 znázorňuje pojištění hřídele resp. válcové součásti pomocí Seegerovy pojistky.



Obr. 6.211

Obr. 6.212



Obr. 6.213

Obr. 6.214

Obr. 6.215

Pro zajištění axiální polohy se používá dále stavěcích a pojistných kroužků, které se přichycují na hřídel pomocí kolíků, červíků nebo šroubů. Rozměry kroužků se přizpůsobují průměru hřídele a přenášeným axiálním silám.

Související normy ČSN :
 ČSN 02 1781, 02 2903, 02 2910, 02 2911, 02 2912, 02 2914, 02 2915,
 02 2927, 02 2928, 02 2929, 02 2930, 02 2931, 02 2939.

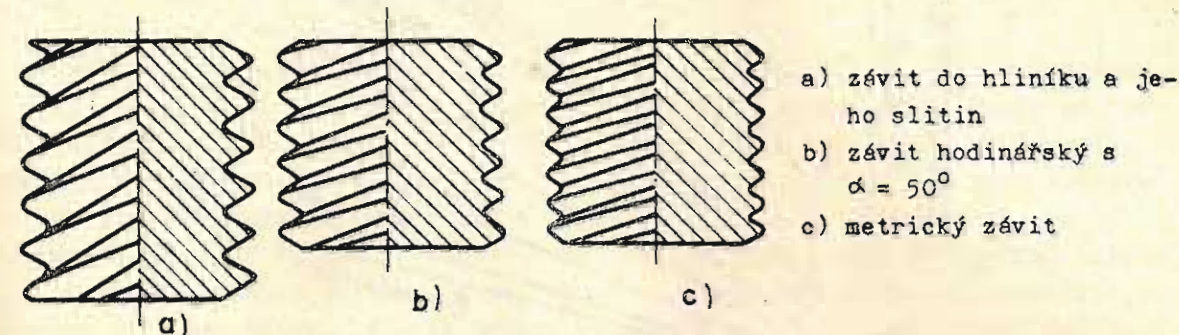
6.11. UPEVNOVACÍ ŠROUBY A MATICE

Šrouby a matice slouží k nepřímému rozebíratelnému, někdy i k nerozebíratelnému spojení dvou nebo i více součástí. Základ spojení tvoří dvojice šroub a matice resp. maticový závit vyřezaný ve spojovaném dílcu. Spojení je vyvoláno klínovým účinkem závitu.

Spojování součástí pomocí šroubů a matic je v přesné mechanice velmi rozšířeno, protože je jednoduché a nevznáší do spojovaných dílců neočekávaná napětí.

Podstatnou součástí šroubů a matic je závitová část. Dnes je pro spojovací šrouby a matice předepsáno používání metrického závitu. Podle ČSN 01 4003 začínají metrické průměry $d = D = 0,15 \text{ mm}$ a se stoupáním $s = 0,075 \text{ mm}$. Metrickými závity je možné pokrýt všechny požadavky na spojení nejen ve všeobecném strojírenství ale i v přesné mechanice. V praxi se v hodinářském průmyslu používají ještě i závit, lišící se od metrického závitu změnou vrcholového úhlu na $\alpha = 50^\circ$ a nosnou hloubkou $H_1 = 0,65 s$. Tento závit je hrubší a podle zkušeností se neuvolňuje, takže se nemusí šroubové spojení pojišťovat. Někteří výrobci fotografických přístrojů

používají šrouby malých průměrů při spojování dílců z hliníku a jejich slitin, závitů s větším stoupáním a větší hloubkou. Důvodem pro zavedení těchto závitů byly zkušenosti s metrickým závitem, který vlivem jemného stoupání a malé hloubky snadno strhl maticové závity. Zavedení tohoto závitu omezilo použití zalitých mosazných matic do hliníku a jeho slitin. Porovnání uvedených závitů ukazuje obr. 6.216 a, b, c.



Obr. 6.216

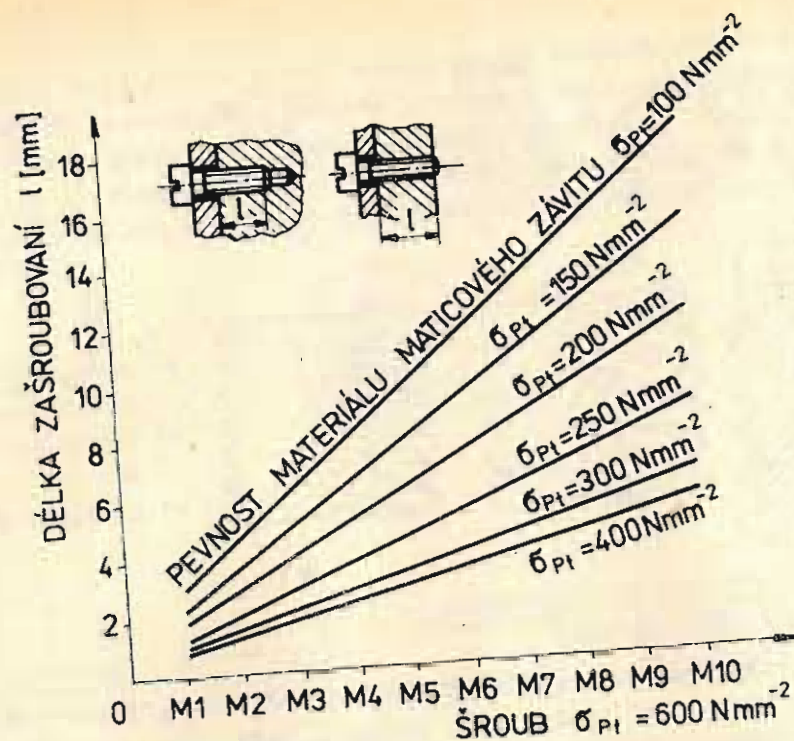
Pro spojovací účely bývá závit u šroubů a matic ve většině případů jednoduchý. Pokud nevyhovuje pro spojení metrický závit základní řady (ČSN 01 4012), používáme závity s jemným stoupáním (ČSN 01 4013). Jemnému stoupání dáváme v přesné mechanice přednost, protože zabráňuje příliš prudkému dotahování šroubů, což je důležité zvláště při spojování křehkých materiálů. Tak se dá zabránit praskání dílců. Další výhoda jemného stoupání spočívá v větší bezpečnosti proti uvolnění.

V přesné mechanice dáváme přednost závrtným šroubům před maticovými šrouby. Délka zašroubování, která je mírou dosednutí prvního a posledního nosného závitu, je závislá na pevnosti šroubů a součástí s maticovým závitem. Délka zašroubování se určuje tak, aby únosnost nosných závitů šroubových či maticových odpovídala materiálu nižší pevnosti.

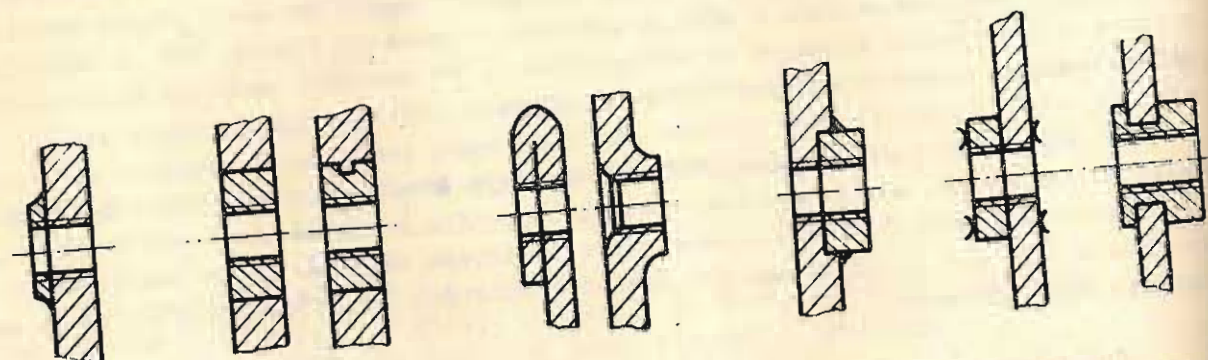
Pro délky zašroubování byly vypracovány různé tabulky s diagramy. Níže uvedený diagram (obr. 6.217) udává délku zašroubování ocelového šroubu o pevnosti 600 Nmm^2 s maticovým závitem různé pevnosti σ_{pt} . Pro jinou pevnost šroubu se délka zašroubování určí ze vztahu $l = l \frac{600}{\sigma_{pt}}$.

V případě, že na šroubový spoj působí malé nebo zanedbatelné síly, volí se délka zašroubování rovná velkému průměru závitu. Někdy je dána délka závitové části přímo tloušťkou součásti, ale průměr závitu musí být např. z výrobních důvodů větší. Pokud jsou síly malé, pak tloušťka stěry pro délku závitu může být dostatečná. V případě zatížení většími silami se musí délka závitu zvětšit konstrukčními úpravami. Na obr. 6.218 je provedeno zvětšení délky závitu u odlévaných součástí nálitkem.

U materiálů měkkých, kde únosnost závitu by nestačila na zachycení vnějších sil, si vypomáháme zánětováním nebo zalitím závitových vložek (obr. 6.219). U dílců z plechu je možno docílit patřičné délky přehnutím konce plechu a u hlubokotažných plechů jejich vytažením do kuželového nákrčku (obr. 6.220). Další možné způsoby lze získat u tenkých stěn připájením (obr. 6.221), přivařením nebo přinýtováním vložek (obr. 6.222).



Obr. 6.217



Obr. 6.218

Obr. 6.219

Obr. 6.220

Obr. 6.221

Obr. 6.222

U šroubů, které se často demontují, doporučuje se volit délku závitu průměrně větší, aby se zamezilo předčasnému uvolnění spojení opotřebením závitové části.

Závitové šrouby musí v připojeném dílcí procházet dírou, jejíž průměr bývá větší než je velký průměr závitu. Průměr díry se volí takový, aby dráha závitu mohl volně projít, ale nebyl příliš velký, neboť by zhoršoval dosedací poměry u hlavy šroubu resp. matice. Přednostně se mají volit normalizované průměry děr pro šrouby, z nichž v přesné mechanice dáváme přednost středním a jemným průměrům, a to s ohledem na přípustné tolerance rozteče u skupinových šroubů.

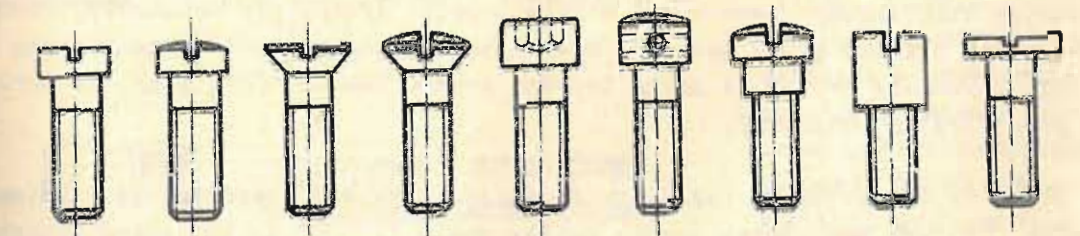
Rozměrový a pevnostní výpočet šroubů a závitů se ve stavbě přístrojů většinou neprovádí, protože působící síly jsou malé. Průměr šroubů a závitů se obvykle řídí konstrukčními nebo výrobními důvody. Pokud nejsme omezeni prostorem a místem volíme u přístrojů obvykle šrouby M3 a M4. Délky šroubů se v přesné mechanice vzhledem ke všeobecnému strojírenství zdají být větší. Zvětšení délky dráhy šroubu v přesné mechanice má své opodstatnění, protože se zde klade větší důraz na tuhost a pevnost.

dajnost spojení než na pevnost. V případě, že šrouby jsou silově namáhány, pak i u šroubů malých průměrů nastupuje buď předběžný výpočet nebo kontrolní výpočet, aby byl materiál šroubů a délka a průměr závitů plně využit. K výpočtům používáme metodik uvedených v předmětu Části strojů.

6.11.1. Tvary šroubů a matic

V přesné mechanice se používá šroubů různých tvarů. Volba tvaru je závislá na funkci, jakou má šroub plnit a pak na konstrukčních požadavcích. Pokud se týká šroubů velkých průměrů, řídíme se při volbě tvaru konstrukčními zásadami analogickými jako ve všeobecném strojírenství. Ve stavbě přístrojů závisí tvary a provedení šroubů jednak na účelné konstrukci a funkci, ale i na ceně přístrojů. Dosti často se používá např. kalených šroubů a matic, aby se při montáži neotlačovaly a tím se nepoškodil vzhled přístrojů. Je lépe, když se omačká šroubovák nebo klíč, než drážka či hrana hlavy. Dále se šrouby povrchově upravují např. hnědění, černěním a pod.

Nejvíce rozšířeným šroubem v přesné mechanice do průměru ϕ 6 mm je šroub s válcovou hlavou se zářezem pro šroubovák (obr. 6.223), a to jako šroubu závitného nebo maticového. Zvýšená válcová hlava zmenšuje při časté montáži a demontáži omačkání drážky. Pro zapuštěné šrouby se používá hlav kuželových a čoučkových



Obr. 6.223

Obr. 6.224

Obr. 6.225

Obr. 6.226

Obr. 6.227

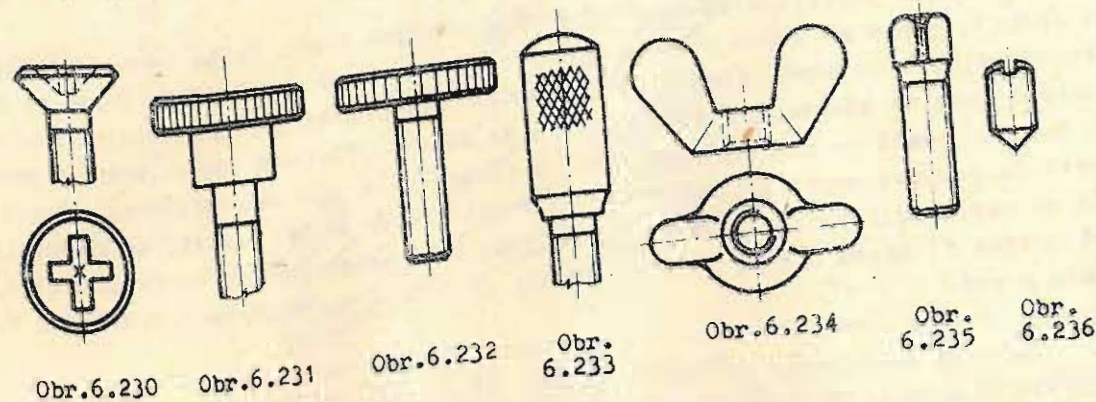
Obr. 6.228

Obr. 6.229

(obr. 6.224). Šrouby s půlkulovou hlavou mají omezené použití, protože drážka v místě působení největší síly od utahovacího momentu má nejmenší tloušťku a tak dochází k jejímu omačkání. Tyto šrouby se užívají v těch případech, kdy tloušťka přišroubované části je menší než 0,6 d a šroub má být zapuštěn. Dosti časté je užití šroubu s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (obr. 6.225), protože omačkání vnitřního šestihranu je nepatrné i při dosti značném utahovacím momentu. Těchto šroubů můžeme použít i jako šroubů zapuštěných. V konstrukcích, kde není místo pro zavedení šroubováku se používá šroubů s válcovou hlavou s provrtanými příčnými dírami (obr. 6.226). Tyto šrouby se utahují kolíky. Příčných otvorů lze dále použít i pro zajištění jak proti nedovolenému zásahu tak i proti samovolnému uvolnění. Šroubu provedeného na obr. 6.227 používáme pro realizaci osy otáčení a pro vedení nasazených dílců. V hodinářství se užívá i šroubů se zvýšenou válcovou hlavou, pro zapuštění a snadné zavádění do hlubokých slepých děr (obr. 6.228). Dalším šroubem typickým pro hodinářství je šroub s válcovou hlavou velkého průměru, ale sníženou výškou (obr. 6.229). Tyto šrouby se kalí a popouštějí na modrou barvu. V poslední době se rozšířilo používání zapuštěných šroubů s kuželovou hlavou s vytlačenou křížovou drážkou, která snese větší utahovací momenty bez

znatelného otláčení (obr. 6.230).

Šrouby pro utahování rukou mají větší průměr a větší výšku hlavy než normální šrouby. Používá se hlavně válcových hlav rýhovaných nebo mřížkových a dále pak hlav křídlatých. Provedení na obr. 6.231 je určeno pro dosednutí hlavy na součást. Pojistivací šroub s hlavou je na obr. 6.232. Šroub se zvýšenou délkou hlavy



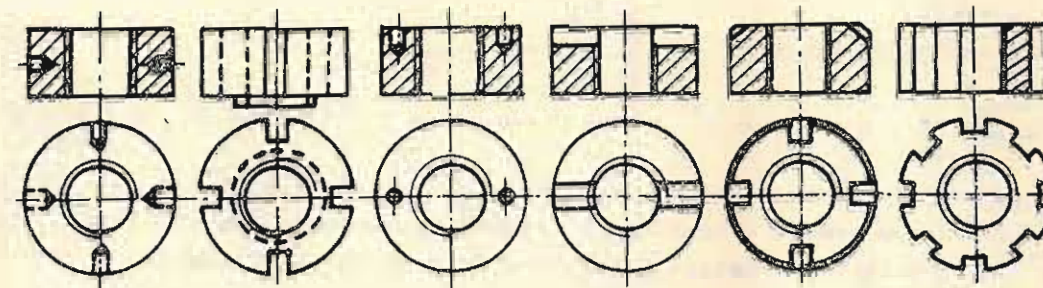
(obr. 6.233) umožňuje jemnější dotahování. Šroub s křídlovou hlavou je na obr. 6.234. Jako stavěcích šroubů používáme často šrouby se čtyřhrannou hlavou (obr. 6.235) neb červíků (obr. 6.236) s různým zakončením dřívku. U červíků dochází při větších utahovacích momentech k otláčení mělké drážky pro šroubovák. Těchto červíků proto užíváme pouze tam, kde pro zajištění poloh součásti není třeba velkých sil. Zakončení šroubů je normalizováno normou ČSN 02 1031, popř. se upravuje podle specifických požadavků.

Pokud nejsou zvláštní požadavky na materiál šroubů, vyrábíme je z automatické oceli. U silově namáhaných šroubů volíme ocel 11 500, 11 600 a legovaných ocelí. Šrouby, které se mají kalit, musí být vyráběny z kalitelných ocelí. Pro zvláštní požadavky se dělají šrouby z mosazi, nerozavé oceli, resp. se opatřují speciálními povlaky, jednak pro zamezení koroze, jednak pro zlepšení vzhledu konstrukce.

Matic používáme v přesné mechanice všude tam, kde nelze použít závrtného šroubu nebo tam, kde závit je vyřezán na dřívku, tvořícího nedílnou součást dílce. Především matice mají uplatnění v případech, kdy délka maticového závitu by nebyla dostatečně velká, nebo spojované materiály nemají dostatečnou pevnost pro maticový závit. Dále se matic užívá u kuželových spojů, šroubení, rektifikačních zařízení nebo jako matic průtlačných pro zajištění spoje před samovolným uvolněním.

Základním typem je matice šestihranná, normální výšky. U přitažných matic anebo u málo namáhaných spojů pak matice nízká. Při požadavku na pojištění spojení před uvolněním se používá matic korunových, a to pouze v těch případech, kdy lze závitový dřívek provrtat po montáži. V přesné mechanice je obvyklé použití kruhových matic s různě upravenými plochami pro zašroubování, jako jsou matice s radiálními vývrty (obr. 6.237), se zářezy (obr. 6.238), s vývrty ve směru podélné osy (obr. 6.239), s příčnou drážkou (obr. 6.240), se čtyřmi kosými drážkami (obr. 6.241) nebo drážkované matice (obr. 6.242). Kruhové matice vykazují totiž menší průměr než matice šestihranné. Utahování těchto matic vyžaduje speciálně tvarované nástroje

nebo je lze utahovat i kolíky. Kruhové matice provedené podle obr. 6.240 + 6.242 lze použít i jako matice zapuštěné. Matice drážkované mají výhodu v pevném utažení bez nebezpečí otláčení drážek.

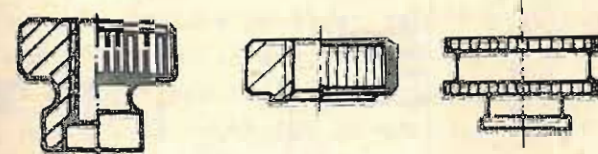


Obr. 6.237 Obr. 6.238 Obr. 6.239 Obr. 6.240 Obr. 6.241 Obr. 6.242

Má-li být šroubový spoj vodotěsný, nebo má-li se spoj chránit před nečistotami či zabránit náhodnému poranění, používáme uzavřené matice, které mohou být utahovány klíči pro šestihranné matice, šroubovákem nebo kolíkem (obr. 6.243).



Obr. 6.243



Obr. 6.244 Obr. 6.245 Obr. 6.246

Pro ruční utahování volíme matice křídlové nebo kruhové matice rýhované v normálním nebo nízkém provedení (obr. 6.244, obr. 6.245). U matic s velkým průměrem se můžeme setkat i s provedením podle obr. 6.246, nebo s radiální drážkou či s podélnými zářezy (obr. 6.240, 6.238). Poslední uvedené typy velkopřůměrových matic mají užití hlavně jako matice pojistné.

Materiál matic bývá analogický materiálům šroubům. Tak jako šrouby, tak se i matice opatřují povlaky z jiných kovových materiálů jako např. niklu, chromu, zinku či kadmia nebo se fosfátují, černí, hnědí ap.

Pokud nejsou kladeny na šroubové spojení zvláštní požadavky, doléhají šrouby a matice přímo na spojované dílce. Má-li se však zabránit odírání dosedacích ploch při časté montáži, snížit dosedací tlak, vytvořit vhodné dosedací plochy při velkém průměru díry a pojistit šrouby a matice před samovolným uvolněním, podkládáme hlavě a matic podložkami různých tvarů. Použití podložek a jejich tvary jsou analogické jako ve všeobecném strojnictví. O pojištění šroubového spojení bude pojednáno zvlášť.

Maticím a šroubům můžeme dávat i jiné tvary než normované či uvedené. Speciální tvarování závisí na konstrukci a na účelu speciálních zařízení popř. na vzhledu přístroje. Volba správného tvaru a rozměrů šroubů a matic by měla být ovlivněna i ekonomickými faktory. Tyto ekonomické faktory se neprojevují výrazně

v kusové výrobě, ale při seriové a hromadné výrobě přístrojů a zařízení mohou ovlivnit i konečnou výrobní cenu. Tak např. šroub se šestihrannou či čtyřhrannou hlavou je cenově v nevýhodě ve srovnání např. s válcovou hlavou téhož průměru ap.

6.12. ŠROUBOVÁ SPOJENÍ

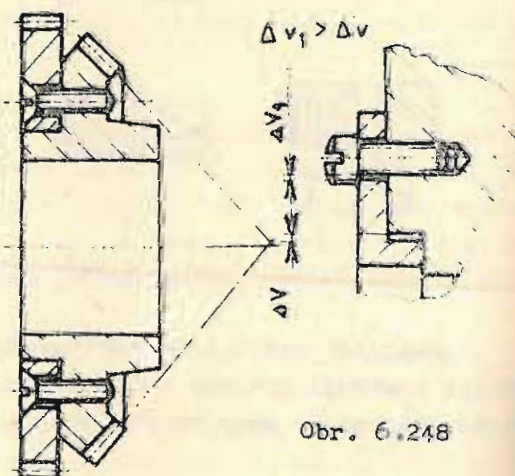
6.12.1. Šroubová spojení kovových dílců

Šroubovým spojením rozumíme nepřímé silové rozebíratelné spojení dvou či více součástí. Spojovacím elementem je šroub a matice nebo závrtný šroub a maticový závit v součásti resp. matice a šroubový dřík na jedné součásti.

Šroubové spojení můžeme v podstatě rozdělit do dvou typů, a to na :

- Spojení součástí s válcovými ukládacími plochami.
- Spojení součástí s rovinnými plochami.

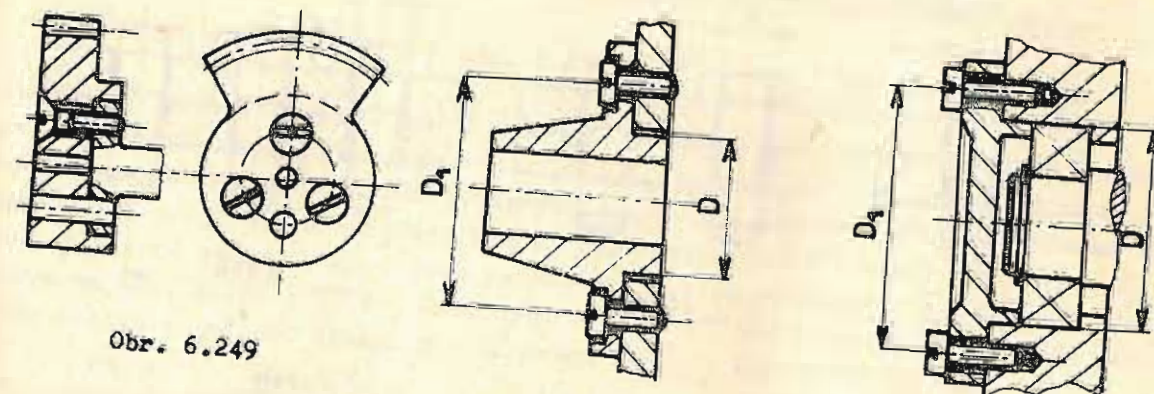
Spojení součástí s válcovými ukládacími plochami je charakterizováno tím, že středění spojovaných dílců a jejich vzájemná poloha je určena válcovými plochami. Pokud tomu tak není, pak se jedná o spojení dílců s rovinnými plochami. Příkladem uložení na válcových plochách může být např. spojení kuželového kola s čelním kolem v jeden celek podle obr. 6.247 nebo spojení nábojů pák či kol na hřídele pomocí svěrného spojení za účelem přenosu kroutícího momentu nebo axiálních sil. Podmínka pro správné uložení na válcových plochách vyplývá z obr. 6.248, kdy vůle mezi šroubem a průchozí dírou Δv , musí být větší než vůle mezi středěnými válcovými plochami Δv . Splnění této podmínky zaručuje možnost vystředění součástí tak, aby úchylka souososti byla minimální a přitom se šroubové spojení mohlo uskutečnit. Při návrhu spojení se předpokládá pravidelné rozložení šroubů na roztečné kružnici. Minimální počet šroubů bývá tři. Protože šrouby v průchozích děrách nemohou při montáži a demontáži zajistit vystředěnou polohu, používá se pro zajištění polohy polohových kolíků válcových či kuželových. Použití polohových kolíků je zvláště důležité v těch případech, kdy mezi ukládacími válcovými plochami je větší vůle. Polohové kolíky umožňují najít správnou polohu s minimální časovou ztrátou při opakované montáži. Je-li středění zajištěno zalícovanými válcovými plochami, postačí jeden polohový kolík, v ostatních případech bývají polohové kolíky 2 nebo 3. Příkladem takového spojení může být spojení ozubeného segmentu s přírubou hřídele podle obr. 6.249. Počet šroubů nebo závitových děr na roztečné kružnici je závislý na průměru šroubů a na průměru roztečné kružnice. Rozteč šroubů na roztečné kružnici se volí v rozmezí (4 ÷ 8) d. Pro zapuštěné šrouby se volí rozteč větší, při požadavku na těsnost spojení pak rozteč menší. Z hlediska výroby má být počet šroubů takový, aby úhel 360° dělený počtem šroubů byl celé číslo. Při určování rozteče mu-



Obr. 6.248

Obr. 6.247

síme brát v úvahu také druh klíče nebo šroubováku, a tak zaručit možnost správného utažení šroubů.



Obr. 6.249

Obr. 6.250

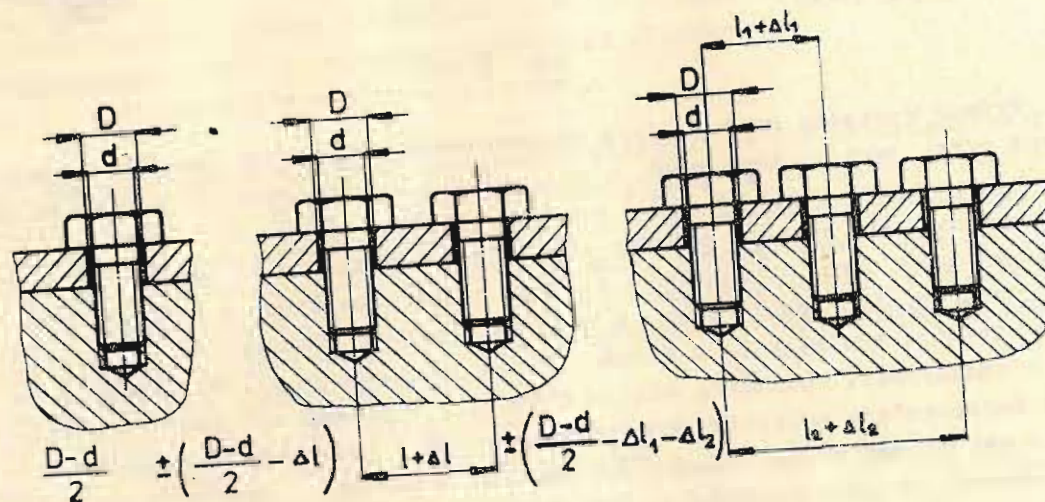
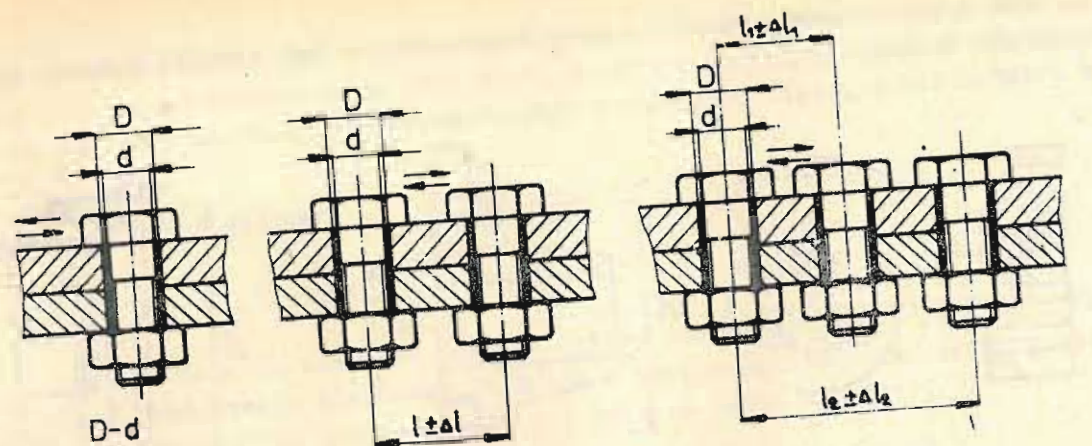
Obr. 6.251

Průměr roztečné kružnice pro přišroubování válcových součástí středěných na válcové díře, jako je tomu např. u vík, závisí na tom, zda-li je víko volně vloženo do válcové díry (obr. 6.250) nebo zda je víko zalícováno (obr. 6.251). U vík nezalícovaných se volí průměry roztečných kružnic větší než u vík zalícovaných. Síla stěny mezi dírou a maticovým závitem a válcovou dírou o průměru D má být minimálně rovna průměru šroubu resp. o něco málo menší. Stanovení této míry je pak dán průměr roztečné kružnice D_1 . Průměr šroubů je vázán na silové poměry nebo na požadavek rovnoměrnosti rozložení sil po obvodu. U součástí středěných na válcové plochy se nedoporučuje používat zapuštěných šroubů s kuželovou nebo čoučkovitou hlavou, protože při volném vrtání kuželových děr pro zapuštění, bychom nemohli šrouby plně dotáhnout. Je lépe používat šroubů s válcovými nebo šestihrannými hlavami. Pro zapuštěné šrouby používáme pak zásadně šrouby s hlavami válcovými s drážkou či vnitřním šestihranem. Má-li být hlava nebo matice šroubů umístěna blízko osazených ploch, nesmí tato dolehnout na přechodovou plochu osazení, protože pak je dřík namáhán dodatečným ohybem a při malých průměrech by mohlo dojít k přetržení šroubu. Vliv přechodu musíme uvažovat i pro stanovení průměru roztečné kružnice.

Při šroubovém spojení dílců s rovinnými plochami nám v přesné mechanice záleží hlavně na dodržení vzájemné polohy dílců, zvláště při malých vnějších působících silách. Pro správnou montáž je kladen požadavek na zaručenou souosost průchozích děr v součástech nebo průchozí díry a díry opatřené maticovým závitem. Tomuto požadavku nelze plně vyhovět z výrobních i montážních důvodů, kdy je nutno často dodatečně upravovat vzájemnou polohu součástí. Ustavení vzájemné polohy je možné v určitém rozmezí, které je dáno průměrem průchozí díry, průměrem šroubu a tolerancí roztečí děr. Možnost regulace ustavení součástí pro spojení s jedním nebo více šrouby vyplývá z obr. 6.252.

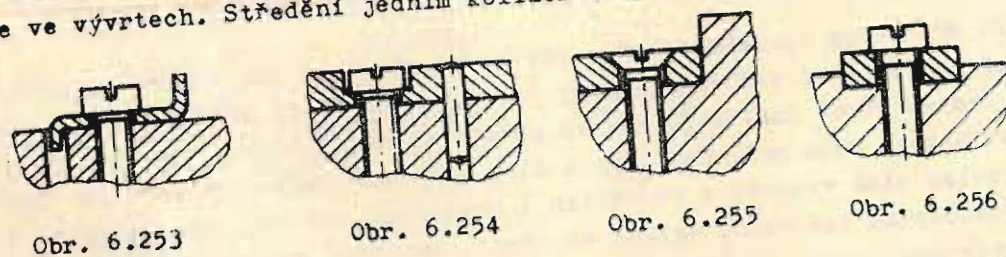
Při spojení dílců pomocí dvou či tří šroubů musí být splněny tyto podmínky u průchozích děr $D-d > \Delta l$ resp. $(D-d) > \Delta l_1 + \Delta l_2$ u závrtných šroubů $\frac{D-d}{2} > \Delta l$ resp. $\frac{D-d}{2} > \Delta l_1 + \Delta l_2$

Jinak totiž není možná montáž.



Obr. 6.252

Při opakované montáži a demontáži je nutno vzájemnou polohu součástí zajišťovat jiným než uvedeným způsobem. Zajištění polohy součástí provedené podle obr. 6.253, 6.254 a 6.255 plně nevyhovují. V obr. 6.253 není možné přesné ustavení pro vůle ve vývrtech. Středění jedním kolíkem (obr. 6.254) zabrání pouze posuvu.



Obr. 6.253

Obr. 6.254

Obr. 6.255

Obr. 6.256

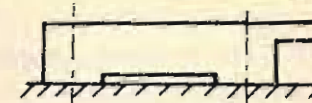
Ustavení pomocí kuželových hlav a opěrné plochy je sice možné, ale vyžaduje naprosto přesnou výrobu kuželů a souososti děr, což z výrobních důvodů nelze zaručit. Pro zajištění polohy zapuštěné součásti podle obr. 6.266 postačí jeden kolík, který zabrání posuvu. Jednoho kolíku lze použít pro zajištění polohy součástí stříděných na válcových plochách, kdy je třeba zabránit pouze vzájemnému pootočení součástí. V méně přísných požadavcích na pojištění polohy můžeme použít i vylisované kruhových výstupků přímo na součásti (obr. 6.257). Má-li součást přesně dlehnout na rovinnou plochu, provádí se dosedací plocha ve tvaru mezikruží nebo při obecném tvaru součásti odlehčením zahloubením (obr. 6.258). Zde je nutno vzít v úvahu ještě i způsob přišroubování k základní rovině ploše. Použití jednoho šroubu,



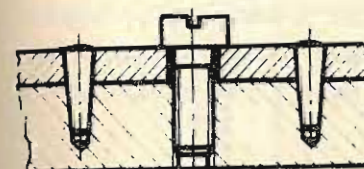
Obr. 6.257



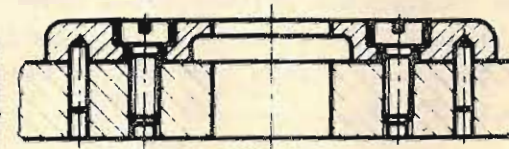
Obr. 6.258



Obr. 6.259



Obr. 6.260

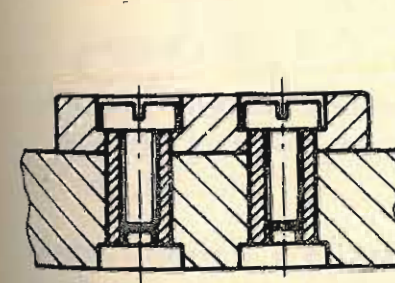


Obr. 6.261

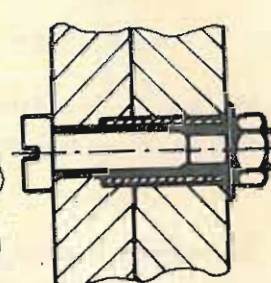


Obr. 6.262

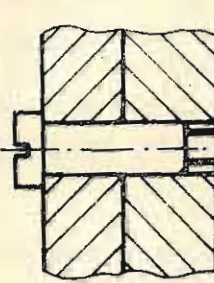
Válcové kolíky musí být v jedné součásti nasazeny s přesahem ($H 7/n6$), v druhé součásti se používá uložení shodné či suvné ($H 7/h 6$ resp. $H 7/j 6$). Kuželové kolíky zajišťují dostatečně velkou přesnost, ale hodí se spíše pro kusovou výrobu, kdy po nalezení správné polohy utáhneme šroub. V součásti vyvrtáme napřed válcovou díru, kterou pak rošíříme kuželovým výstružníkem a kolík zarazíme. Ve spodní součásti díru buď prodloužíme nebo ze spodu rozšíříme, aby kolík správně zapadl bez velkého násilí. V některých konstrukcích lze použít polohových kolíků větších průměrů, opatřených maticovým závitem, které slouží k připevnění nasazené součásti k základní (obr. 6.263). Správná konstrukce vyžaduje pevné nalisování kolíků v základní součásti.



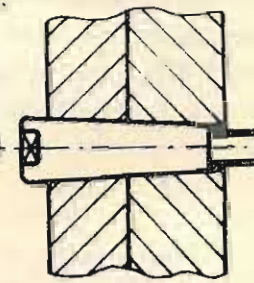
Obr. 6.263



Obr. 6.264



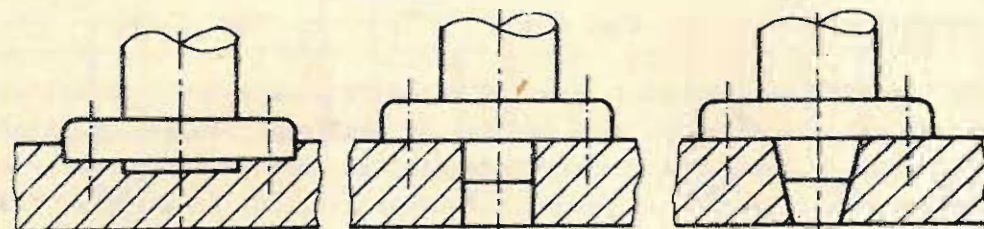
Obr. 6.265



Obr. 6.266

Pro spojení velkých součástí se používají šrouby větších průměrů. Středění součástí je možné provést např. pomocí rozříznuté pružné trubky (obr. 6.264), která však nezaručuje úplnou přesnost usazení. Lépe je použít zalícovaného válcového dřívku (obr. 6.265) s tolerancemi dle zvoleného uložení nebo velmi přesného stříděného kuželovým dřívkem (obr. 6.266). Při větším počtu šroubů postačuje, aby byly zalicovány dva šrouby, ostatní mohou volně procházet průchozími dírami. Požadavek na postupné zajišťování poloh součástí, posouvající se po přímce nebo po kružnici okolo společné osy, vyžaduje pro upevnění a středění lícovaných T drážek a speciálně tvarovaných přesných hlav šroubů.

Středění rotačních součástí přišroubovaných na rovinnou plochu se provádí buď zapuštěním kruhové příruby (obr. 6.257) nebo zapuštěním lícovaného válcového (obr. 6.258) či kuželového čepu (obr. 6.259).



Obr. 6.267

Obr. 6.268

Obr. 6.269

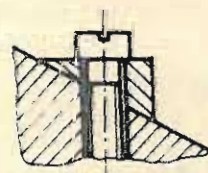
Přesnost středění je dána tolerancemi příruby, čepu, kruhového vybrání či příslušných děr. Středění na kužel s kuželovitostí 1 : 10 je nej přesnější, protože kuželové plochy lze vzájemně dolícovat; toto středění se však nehodí pro seriovou výrobu.

Má-li z konstrukčních a výrobních důvodů součást zešikmené plochy (např. u odlévaných nebo válcovaných součástí) a tuto je třeba přichytit šrouby, je nutno zajistit kolmost dosedací plochy hlavy či matice k podélné ose šroubu. Nedodržení uvedeného kolmosti vede totiž ke zvýšení napětí ve šroubu přídatným ohybem. Kolmost lze zajistit nálitkem (obr. 6.270), použitím jednostranně zešikmené podložky (obr. 6.271) nebo zapuštěním hlavy či matice (obr. 6.272).

V konstrukci přístrojů se dosti často užívají nosné prvky pro uložení rotujících i přímočaře se pohybujících součástí ve formě desek, tvořících tak rám přístroje. Rám přístroje pak tvořen dvěma rovnoběžnými deskami, spojenými distančními sloupky. Základním požadavkem je zajištění rovnoběžnosti desek a kolmost os rotace ukládaných součástí k deskám.



Obr. 6.270



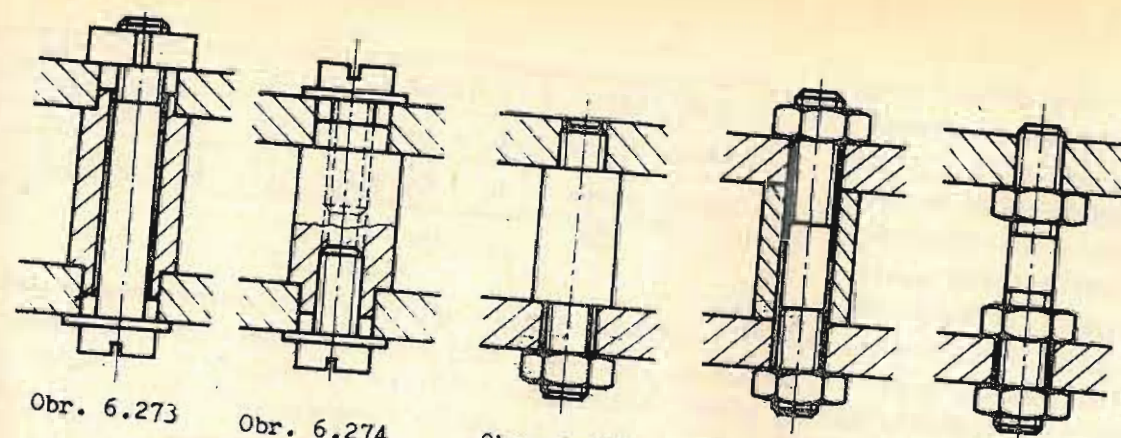
Obr. 6.271



Obr. 6.272

Jednoduché provedení s použitím závrtného šroubu, matice a distanční trubky (obr. 6.273, 6.274) nezaručují vzájemnou rovnoběžnost. Lepší je řešení s použitím osazených sloupků buď s vnějším nebo s maticovým závitem (obr. 6.275, 6.276). Nejlepší zajištění rovnoběžnosti dávají osazené distanční sloupky s průchozí dírou pro šrouby podle obr. 6.277 a 6.278. Provedení podle obr. 6.277 dává možnost současného vystužení děr.

Elektrické odizolované spoje se konstruují nejčastěji pomocí šroubů a izolačních vložek. Pro docílení trvalejšího a pevnějšího spoje nesmí být izolační materiál příliš měkký, protože vlivem "creepu" za studena, může spoj po dotážení časem povolít. Různá provedení izolačních spojů jsou znázorněny na obr. 6.279 + 6.281. Zde je záhodno připomenout, že i hliníkové součásti spojované šrouby mohou vlivem "creepu" za studena povolít a proto je nutné tyto šroubové spoje dotahovat v předem stanovených časových intervalech.



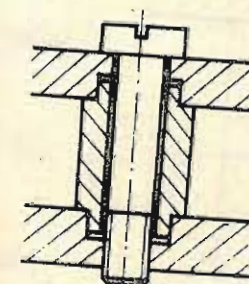
Obr. 6.273

Obr. 6.274

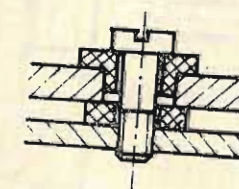
Obr. 6.275

Obr. 6.276

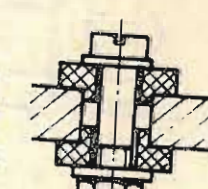
Obr. 6.277



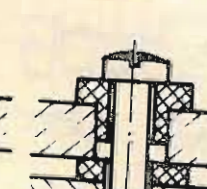
Obr. 6.278



Obr. 6.279

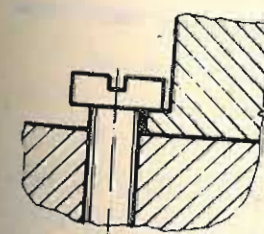


Obr. 6.280

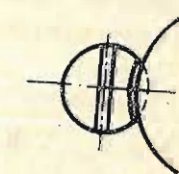


Obr. 6.281

Pro ulehčení demontáže ve stavbě přístrojů a hodinářství se používá přichycení součásti jen okrajem hlavy šroubů (obr. 6.282). Tohoto způsobu se s výhodou užívá i u rektifikačních zařízení. Pro snadné vyjímání hodinového strojku z pouzdra se užívá seříznutých hlav šroubů (obr. 6.283). Užití tohoto způsobu je vázáno na předem zjištěnou základní polohu šroubu.



Obr. 6.282

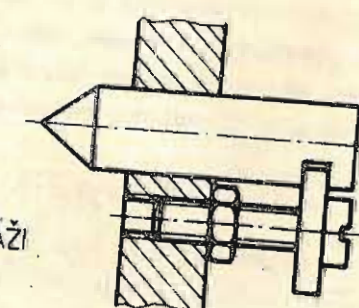


PŘI DEMONTÁŽI



PO MONTÁŽI

Obr. 6.283



Obr. 6.284

Spojovací šroubu můžeme použít i např. pro vymezení axiální vůle u hrotových či čípkových otočných uložení, jak je znázorněno na obr. 6.284.

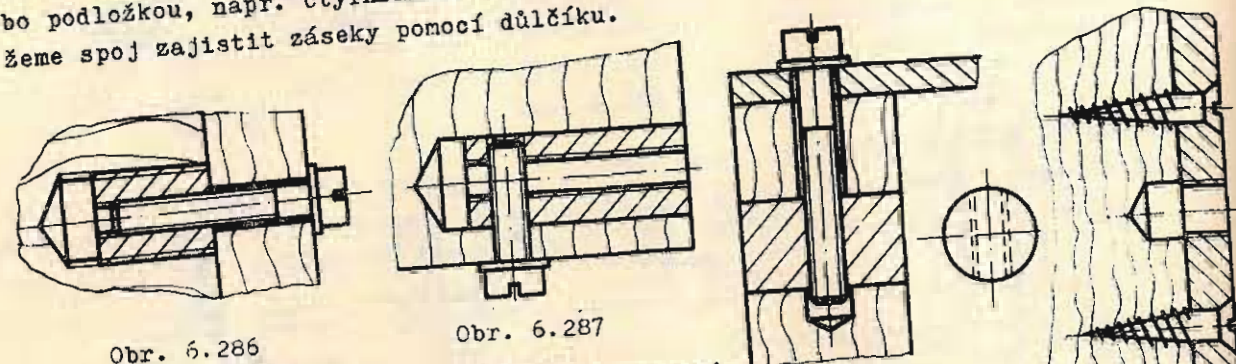
6.12.2. Šroubová spojení dřevěných konstrukcí

Šroubová spojení dřevěných součástí resp. dřevěných a kovových součástí se provádějí nejčastěji pomocí vrtů. Při dostatečném počtu vrtů je spojení spolehlivé. Před spojením pomocí vrtů se předvrtávají do dřeva díry. Délka předvrtání je závislá na druhu dřeva a na směru vláken součástí do níž se vrt zavrtává. Délka předvrtání L_1 v závislosti na délce šroubu L udává tabulka obr. 6.285.

Pro spojení kovo-
vého dílce se dřevem s
požadavkem na velkou
spolehlivost je lépe
dřevo i kovový dílec v
místě spojení opatřit
průchozí dírou a použít
normálních maticových šroubů. Dotahování může být provedeno normovanou maticí ne-
bo podložkou, např. čtyřhrannou, opatřenou maticovým závitem. Proti uvolnění mů-
žeme spoj zajistit záseky pomocí důlčiku.

Druh dřeva	podélná vlákna	příčná vlákna
tvrdé dřevo	$L_1 = L$	$L_1 = 0,75 L$
měkklé dřevo	$L_1 = 0,75 L$	$L_1 = 0,5 L$

Obr. 6.285

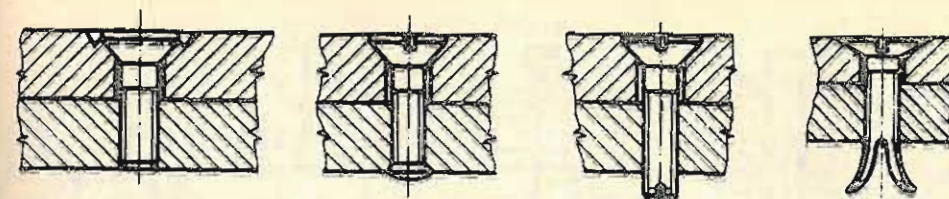


Pro častou montáž a demontáž výše uvedené
spojení nevyhovují, protože vruty se uvolní o-
potřebením dř. Pro tyto případy používáme ko-
vových vložek s maticovým závitem. Když kovo-
vou vložku do dřeva zašroubováváme (obr. 6.285), volíme šroubový
závit pokud možno s velkým stoupáním a proti uvolnění nanese na
vnější povrch lak, který zatvrdne a spoj zajistí. Kovovou vložku můžeme provést
na vnějším povrchu hladkou a proti utažení se zajistí dalším šroubem zavrtaným do
příčného otvoru (obr. 6.287). Někdy lze použít i vložek ve tvaru válečku s příč-
ným závitovým otvorem, který se vkládá do díry ve dřevě (obr. 6.288). Má-li se na
dřevo připojit kolmo kovová tyč, pak se dá užít ploché vložky opatřené závitovou
dírou a přišroubovanou vruty k desce (obr. 6.289).

6.12.3. Pojištění šroubových spojů

Velká většina šroubových spojů namáhaných malými silami se v běžném provozu
samovolně neuvolní, protože tření v závitech je dostatečně velké a zabránění uvol-
nění. Je-li to nutné, pak ve stavbě přístrojů postačuje pojištění zakápnutím la-
kem (obvykle barevným). Toto pojištění je současně i pojistkou proti nedovolenému
zásahu do přístroje, protože lak při odšroubování šroubu či matice odprýskne. Ně-
kdy se celý šroubek před našroubováním ponoří do laku a vytvoří tak spolehlivé
pojištění. Šroub či matice při tomto pojištění drží tak pevně, že při demontáži
může dojít k poškození šroubu.

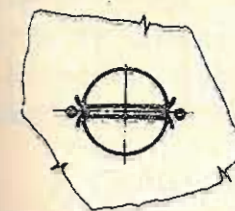
V silově namáhaných spojení a spojení vystavených vibracím se šrouby proti
uvolnění pojišťují běžným způsobem, užívanými ve všeobecném strojírenství, např.
pomocí přítužné matice, pružnými či mechanickými pojistkami apod. Není-li žádána
demontáž, může se spoj pojištit pomocí záseku důlčikem (obr. 6.290), rozstředněním ro-
konce šroubu (obr. 6.291), závlačkou nebo kolíkem (obr. 6.292) a rozštěpením roz-
řiznutého konce šroubu (obr. 6.293). Má-li se šroubu umožnit otáčení na místě, u-
žívá se kolíku, který zasahuje do drážky pro výběh závitu nebo se vytvoří drážka
pod hlavou (obr. 6.294). V přesné mechanice se mimo běžných pružných pojistek dá-
le užívá pro pojištění níže uvedených konstrukčních variant. Varianta podle obr.



Obr. 6.291

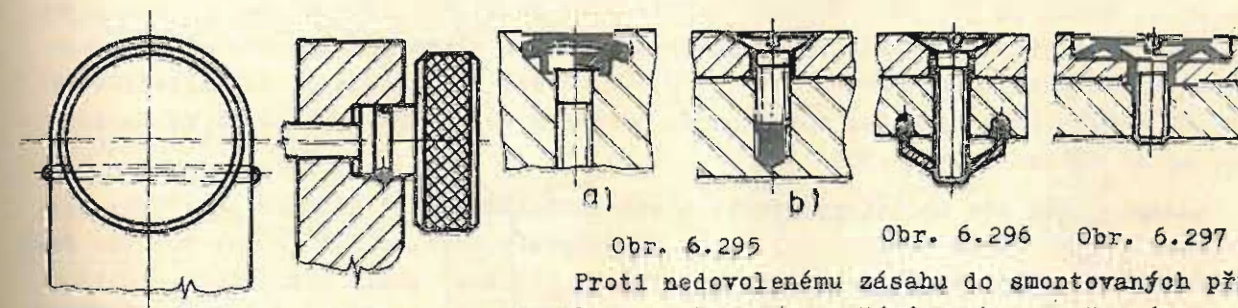
Obr. 6.292

Obr. 6.293



Obr. 6.290

6.295 je založeno na užití šroubové válcové pružinky, vložené
do prodloužené závitové díry. V konstrukčním řešení na obr.
6.296 se zvyšuje tření v závitech speciální pružnou plechovou
maticí s vyseknutým závitem. Speciální pružné talířové podlož-
ky je užito na obr. 6.297.



Obr. 6.294

Obr. 6.295

Obr. 6.296

Obr. 6.297

Proti nedovolenému zásahu do smontovaných pří-
strojů se nejčastěji používá plomb z pečetiho vos-
ku nebo z lehce tavitelných materiálů a opatřují
se firemními značkami. Tyto plomby se zakapávají

buď do speciálně tvarovaných hlav šroubů (obr. 6.298), do dř. pro zapuštění šrou-
bů (obr. 6.299) či do hrníčků nasunutých pod hlavu šroubu (obr. 6.300). U zvláště
důležitých přístrojů, např. u leteckých se plomba umísťuje na koncích drátku, kte-
rý je provlečen provrtanými hlavami šroubů (obr. 301).

Šrouby a
matice, které
se často povo-
lují, jak je
tomu např. u
otvíracích vík
přístrojů, se

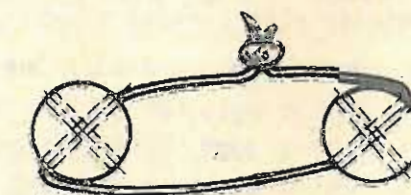


Obr. 6.298

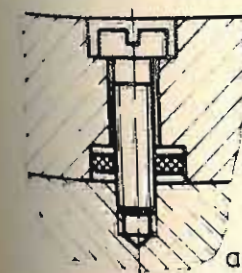
Obr. 6.299

Obr. 6.300

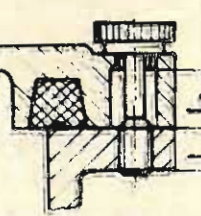
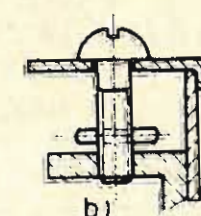
pojišťují proti ztrátě. U větších šroubů a matic ně-
kdy postačí požití řetízku upevněného na víku a na
otočně uložené objímce, zapuštěné do drážky v hlavě šroubu či matici. Šrouby ma-
lých a středních průměrů můžeme pojištit proti ztrátě pomocí nasunutého kroužku



Obr. 6.301

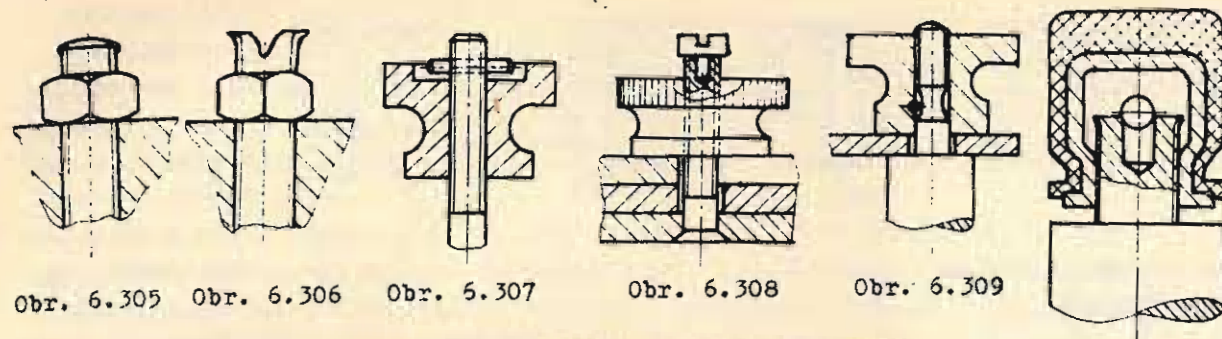


Obr. 6.302



Obr. 6.303

Obr. 6.304



na závitový dřík nebo kolíku prostrčeného závitovým dříkem (obr. 6.302 a, b, c). Dále je možno použít tvarovaných šroubů s průměrem osazeným pod malý průměr závitu nad závitovou částí (obrázek 6.303). Ve víku je závitová díra, která přechází v díru s větším průměrem než je průměr šroubu. Délka volné díry l_1 musí být větší, než je délka závitu l šroubu ($l_1 > l$). Šroub se při první montáži zavede přes závitovou díru do volné díry a pak se víko může připevnit. Při opakované manipulaci s víkem poznáme uvolnění šroubu jeho volným pohybem v daném prostoru. U vík, které se zasouvají, se dá pojištění šroubu proti ztrátě provést rozštěpením příčného zářezu na jeho konci po zašroubování do tělesa (obr. 6.304).

Analogicky lze pojišťovat proti ztrátě i matice. Méně náročné pojištění lze provést roznýtováním (obr. 6.305) nebo rozštěpením (obr. 6.306) konce šroubů. Pojištění podle obr. 6.307 je provedeno příčným kolíkem, který při úplném uvolnění matice ze spojení zapadne do kruhového vybrání. Na obr. 6.308 je použito pro pojištění šroubku, jehož hlava přesahuje dřík hlavního šroubu. Obě uvedená pojištění umožňují celkovou demontáž bez porušení spojovacích prvků. Pojištění pomocí příčně zasazeného kolíku do matice a tečně se dotýkajícího osazené části šroubu ukazuje obr. 6.309. Obr. 6.310 znázorňuje pojištění matice provedené pomocí kuřličky, která po jejím našroubování roztáhne do boků vývrt na dříku šroubu. Vlastní matice je kovová, zalitá do umělé hmoty. Těchto provedení se užívá hlavně pro kontakty elektrických přístrojů.

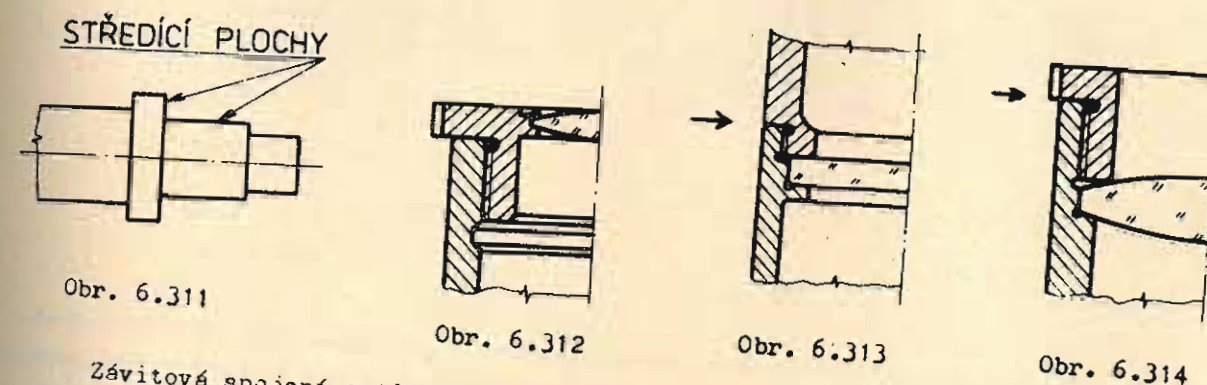
Normy ČSN související se šrouby, maticemi a šroubovým spojením:

ČSN 01 3213, 01 4000, 01 4004, 01 4005, 01 4007 + 01 4010, 01 4013, 01 4021, 01 4022, 01 4025, 01 4026, 01 4027, 01 4030, 01 4033, 01 4034, 01 4037 + 01 4039, 01 4050, 01 4052, 01 4053, 01 4055, 01 4056, 01 4060 + 01 4062, 01 4068, 01 4260, 01 4301, 01 4304 + 01 4306, 01 4310 + 01 4312, 01 4314, 01 4315, 01 4320, 01 4325 + 01 4330, 01 4363, 01 4366 + 01 4369, 02 1003, 02 1005, 02 1020, 02 1022 + 02 1024, 02 1031, 02 1033, 02 1034, 02 1036, 02 1037, 02 1040, 02 1041, 02 1050, 02 1051, 02 1065, 02 1070, 02 1101, 02 1103, 02 1105, 02 1111, 02 1112, 02 1115, 02 1116, 02 1128, 02 1130, 02 1131, 02 1135, 02 1137, 02 1143, 02 1146, 02 1151, 02 1161, 02 1162, 02 1165, 02 1167, 02 1176, 02 1178, 02 1181, 02 1191, 02 1201, 02 1208, 02 1232 + 02 1238, 02 1301, 02 1372, 02 1401 + 02 1492, 02 1601, 02 1700, 02 1702, 02 1706, 02 1733, 02 1734, 02 1744 + 02 1746, 02 1751, 02 1753, 02 1754, 02 1810 + 02 1826, 23 0600, 23 0603, 23 0605, 23 0606, 23 0609 + 23 0650, 23 0750.

6.13. ZÁVITOVÁ (CENTRICKÁ) SPOJENÍ

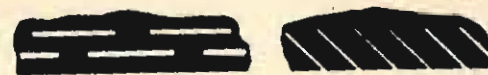
Závitovým (centrickým) spojením rozumíme nejčastěji přímé spojení dvou součástí jediným centrickým závitem, který je vřezán alespoň na jedné součásti. Nejjednodušší je přímé sešroubování součástí opatřených závity, kde se pak dá užít i matice. Spojení však nezaručuje přesnou vzájemnou polohu součástí a v případě potřeby se tato zajišťuje jiným způsobem. U přesných spojů se vzájemná centrická poloha součástí nezajišťuje závitovou částí, ale styčnými středícími plochami, nejčastěji válcovými nebo kuželovými.

Středění na válcových plochách ukazují obr. 6.247, 6.248, 6.251, středění pomocí válcových ploch na rovinných, při nepřímém šroubování spojení znázorňují obr. 6.267 + 6.269. Vzájemné ustavení poloh součástí se děje pomocí kolíků resp. pomocí per ap. Velmi přesné centrické spojení docílíme pomocí hladkých válcových a rovinných ploch, jak je znázorněno na obr. 6.311. Závitová část slouží pouze k přitažení součástí. Úhlová poloha ovšem není zajištěna.



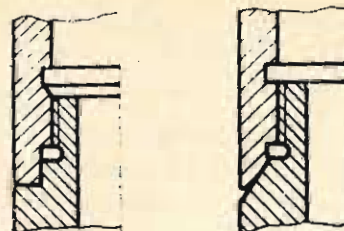
Závitová spojení optických přístrojů se provádějí obvykle přímo, a to krátkým závitem velkého průměru. Protože se používá poměrně tenkostěnných trubek a prstenců, volí se závity s jemným stoupáním, které umožňují dále jemné dotahování součástí. Pro zajištění souososti součástí se závity řežou na soustruhu. Konstruktivní řešení na obr. 6.312 ukazuje přehybové spojení čochy s objímkou, která je opatřena závitem a se zářezem pro dotahování rukou nebo klíčem do tubusu přístroje. V případě, že čochy neb skleněné kruhové stupnice či nitkový kříž jsou vkládány do tubusů nebo objímek, jejich upevnění se provede buď další součástí přístroje (obr. 6.313) nebo se použije závitových kroužků (obr. 6.314). Optické dílce nesmí být dotahováním upevňovacích součástí stlačeny, protože by mohlo dojít, zvláště při nerovnoměrném styku, ke změně jejich optických vlastností. Optické dílce pouze utěsníme. Utěsnění se dosáhne buď přibroušením dosedacích kovových dílců v místech opatřených šipkami, nebo se závitové kroužky na dosedací části učiní pružnými nařezáním buď podle obr. 6.315 nebo obr. 6.316. Pro utěsnění a rovnoměrné rozložení tlaku po obvodě se užívá také pružných zvlněných kroužků, které se umísťují na optický dílec v místě uchycení do tělesa. Dále lze použít i kroužků z měkkých materiálů. Těmito způsoby se odstraní chyby při řezání závitu.

Tam, kde nestačí středění závitem, se ustředění provádí na čele dosedacích ploch a na válcovém vedení (obr. 6.317) nebo se užije kuželových středících ploch (obr. 6.318). Dále je možno pro uchycení použít i převlečné matice (obr. 6.319) a středit válcovými plochami. Převlečná matice dovoluje jak pevné, tak i natáčivé



Obr. 6.315

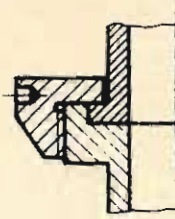
Obr. 6.316



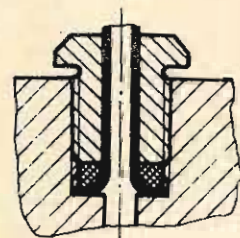
Obr. 6.317

Obr. 6.318

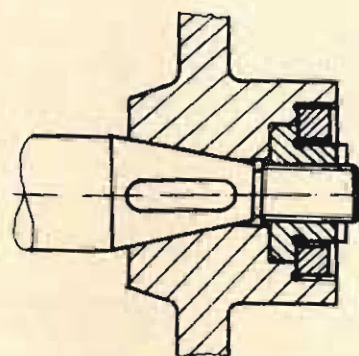
spojení, a to příslušnou volbou tolerancí čelních dosedacích ploch matice a připojovaného dílce.



Obr. 6.319



Obr. 6.320



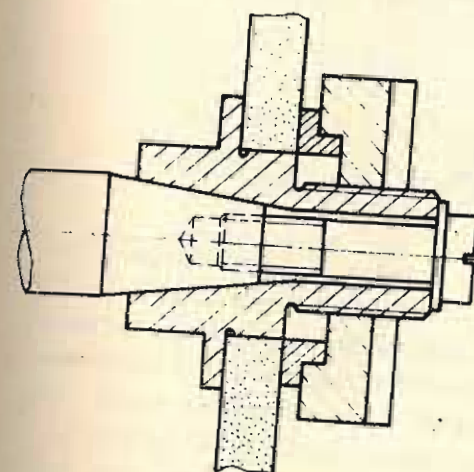
Obr. 6.321

U přístrojů, které pracují s tlakovým olejem se přírodní nebo odváděcí trubky připojují šroubením. Lze použít buď normalizovaných šroubení, zvláště při napojování trubek, nebo se pro netypické spojení provede konstrukce podle obr. 6.320. Přírodní, obvykle měděná trubka se na spodním konci rozežene do příruby, na přírubu se položí kovová vložka a tato se přitlačí pomocí šroubu s průchozí dírou s větším průměrem. Vnější závit bývá s jemným stoupáním. Silou vyvozenou při utahování se vložka a příruba plasticky zdeformují a umožní tak těsnění do tlaku $20 + 30$ MPa.

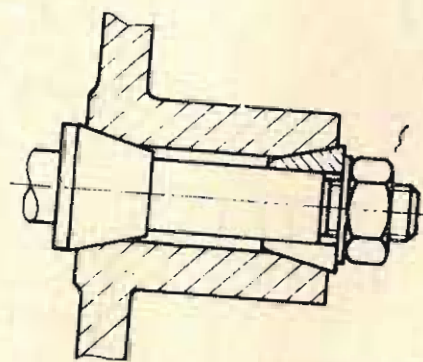
Velmi dobrého středění součástí se dosahuje na kuželových středících plochách, protože tyto lze vyrobít velmi přesně a pro zvlášť vysokou pevnost středění lze je ještě zabrousit. Kuželovitost se obvykle volí $1 : 10$. Při této kuželovitosti se docílí ještě samosvorného spojení, které je schopno přenášet velké i střídavé kroutící momenty resp. axiální síly. Utahovací sílu vyvodíme šroubovým závitem a maticí nebo šroubem. Částečnou nevýhodou tohoto spojení je tzv. "zakousnutí kužele" a proto k demontáži spojení je nutná velká vnější síla. Spojení s kuželem se musí navrhovat s ohledem na použití stahováku, a to buď přidávným závitem na středěné součásti nebo nákrůžkem. Použití pera pro přenos kroutícího momentu není nutné; používá se jej jen pro případ, kdy je třeba zajistit vzájemnou úhlovou polohu součástí.

Konstrukční provedení centrování na kužel ukazuje obr. 6.321. Náboj je nasažen na kužel pomocí matice, která je opatřena nákrůžkem, o který se opře závitový

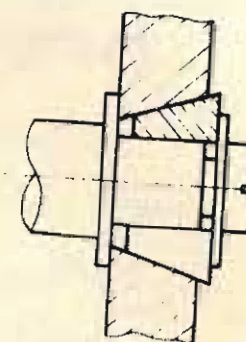
kroužek s levým závitem. Částečným povolením matice a dotažením kroužku se kužel uvolní. Na obr. 6.322 je provedeno nasazení brusného kotouče pro broušení závitů na vřeteno brusky. Uchycení a dotlačení je provedeno šroubem. Pro ustředění lze použít i krátkých strmých kuželů (obr. 6.323). Hřídel je opatřen kuželovým osazením, o něž se opírá jedno čelo náboje s kuželovým náběhem. Středění se provádí rozříznutým kuželem, dotahovaným na druhý kuželový náběh pomocí matice. Obr. 6.324 ukazuje použití strmého kužele pro letmé uchycení kotouče na hřídel. Axiální polohu zajišťuje nákrůžek a středění je provedeno rozříznutým kuželem dotlačovaným do kuželového otvoru pomocí šroubu přes podložku.



Obr. 6.322



Obr. 6.323



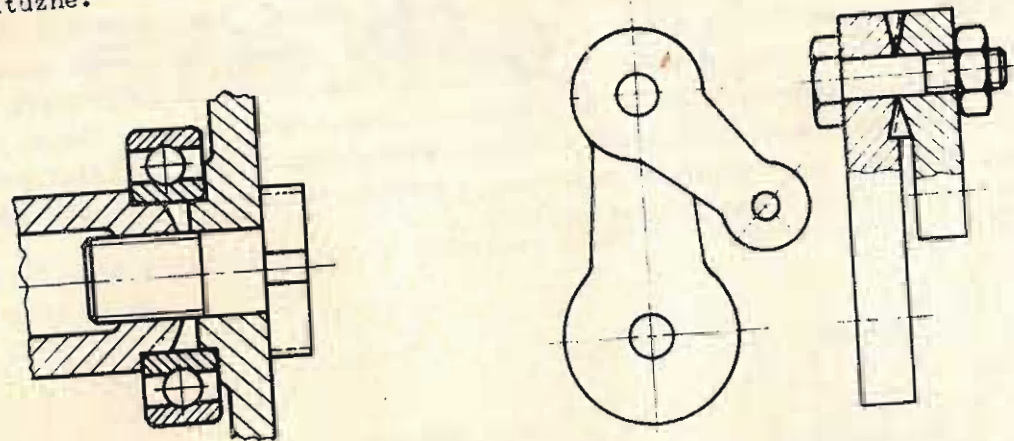
Obr. 6.324

Dobré ustředění dvou součástí s možností přenosu malých i velkých kroutících momentů umožňuje tzv. Hirthovo ozubení. Hirthovo ozubení tvoří zuby vyrobené na čelních plochách spojovaných dílců. Tyto zuby při spojení do sebe zapadnou a stáhnou se silným šroubem. Zuby se vyrábí buď na speciálním stroji nebo je lze u měkkých materiálů vytlačit speciálním nástrojem. Výhodou tohoto středění je, že šetří místem a umožňuje vzájemné natočení dílců.

Užití tohoto způsobu středění je uvedeno na obr. 6.325, kde se připojuje ozubené kolo na hřídel a současně toto kolo se podílí i na uložení valivého ložiska. Obr. 6.326 řeší uchycení dvou pák u nichž se dá pootáčením docílit různého převodu. Dostí časté je Hirthovo ozubení užíváno u pevných spojek.

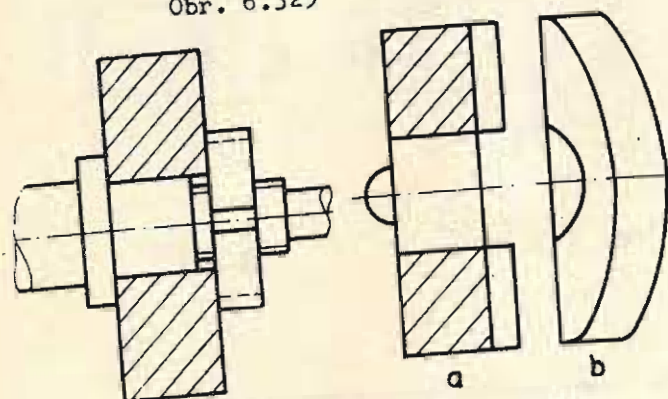
K centrickému uchycení rotačních součástí můžeme použít i matic. Obdobně jako u šroubů dochází vlivem nepřesnosti výroby závitu k nerovnoměrnému dosednutí čelních ploch matic na součást a tím i k nerovnoměrnému rozložení dosedacího tlaku. Při pevném centrickém spojení součástí na dlouhých hřídelích pomocí matice (obr. 6.327) může vzniknout jejich obvodové házení vlivem průhybu hřídele. Aby se zabránilo házení, vkládá se mezi připevňovanou součást a maticí speciálně tvarovaná podložka v provedení dle obr. 6.328 a, nebo b, která umožní vytvořit křížový kloub a vyvodit osový tlak. Utažení matice může časem povolit, a to buď vlivem relaxace materiálu nebo vlivem vibrací. Proto se matice proti uvolnění ještě pojišťují. Pojištění se provádí obvykle zvýšeným třením v závitech. Pokud matice tvoří pouze doraz nebo zastává funkci stavěcího kroužku a nekladou se na přesnost

spojení a středění větší požadavky, stačí použít dvou matic, a to matice normální a přítužné.



Obr. 6.325

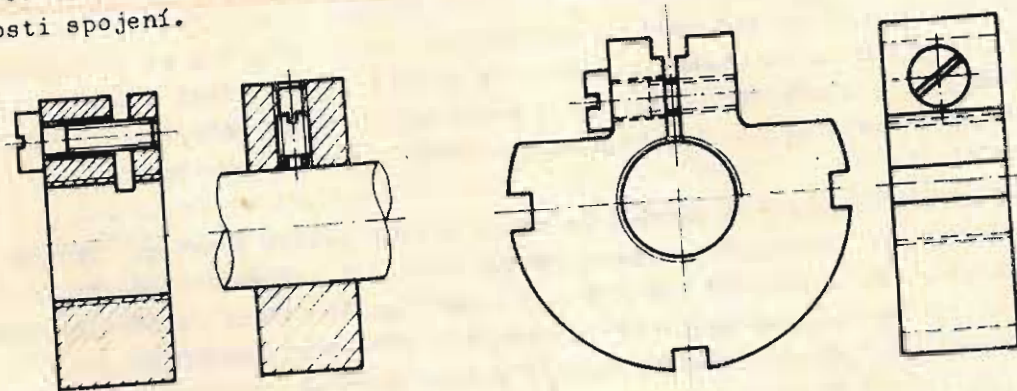
Obr. 6.326



Obr. 6.327

Obr. 6.328

Další jednoduché a dobré spojení dává KM matice, běžná při konstrukci ložiskových uzlů. Pro zvýšení přesnosti středění se používá nenormovaných zvlášť konstruovaných matic. Pojištění těchto matic proti uvolnění můžeme provést buď červíkem (obr. 6.329) nebo příčným zářezem matice a stažením pomocí dalšího šroubu (obr. 6.330). Uvedená pojištění mají nevýhodu v jednotanném utěsnění závitu, což může vyvolat deformaci čelních ploch a tím nepřesné dosednutí. Proto tam, kde nám záleží na dodržení rovnoběžnosti čelních ploch matice používáme provedení podle obr. 6.331. Zde je závit utěsněn po celém obvodu a v případě potřeby lze i čelní plochy přibrousit na přesném závitovém trnu a přizpůsobit požadavku přesnosti spojení.



Obr. 6.329

Obr. 6.330

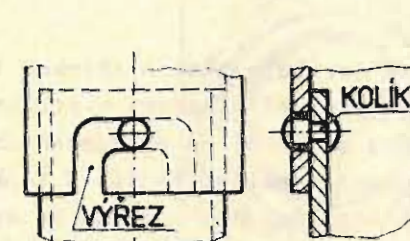
Obr. 6.331

Normy ČSN související se šroubovým spojením. Šroubení :
ČSN 13 7600, 13 7603, 13 7610 + 13 7682 (návrh); 13 7700 + 13 7702, 13 7705 + 13 7707, 13 7710 + 13 7713, 13 7720 + 13 7733, 13 7739, 13 7750, 13 7770 + 13 7775, 13 7791, 13 7850, 13 7861 + 13 7863, 13 7905 + 13 7911, 13 7950, 13 7954, 13 7955, 13 7968, 13 7990 + 13 7996.

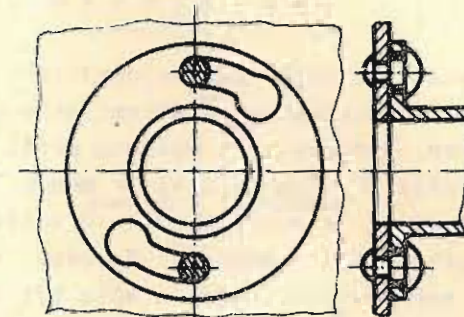
6.14. BAJONETOVÉ SPOJENÍ

Bajonetové spojení tvoří tvarové popř. i silové lehce rozebíratelné spojení dvou součástí, založené na zapadnutí kolíku resp. výstupku pevně spojeného s jednou součástí do speciálně upraveného výřezu v druhé součásti a na pojištění spojení pootočením či posunutím. Výhodou tohoto spojení je snadná rozebíratelnost. Nevýhodou spojení je menší pevnost a proto také omezená použitelnost, a to hlavně pro spojení trubkových součástí a přírub.

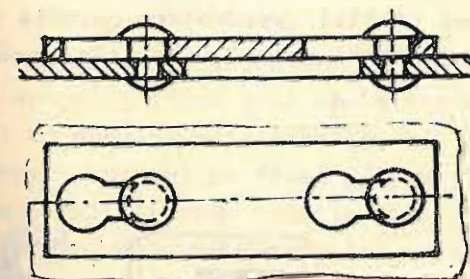
Princip bajonetového spojení je znázorněn na obr. 6.332 a 6.333.



Obr. 6.332



Obr. 6.333 a

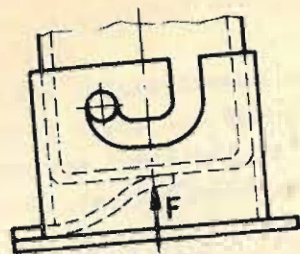


Obr. 6.333 b

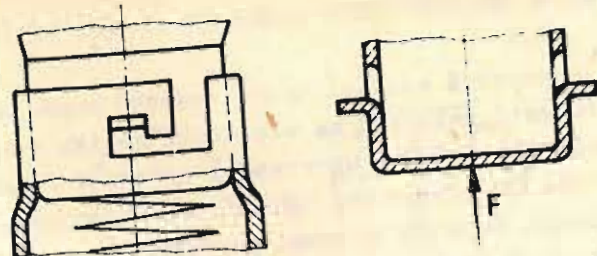
Jednoduché baj.spojení je založeno na vzniku pružné deformace mezi kolíkem a výřezem. Pevnost spojení je závislá na tření vyvozeném mezi spojovacími prvky. Žádáme-li však pojištění proti samovolnému uvolnění při nedostatečném tření mezi součástkami, pak se užívá tvarového nebo silového pojištění. Počet výřezů a kolíků, vytvářející spojení se pohybuje v rozmezí 1 + 3.

6.14.1. Bajonetové spojení s tvarovým pojištěním

U tohoto způsobu spojení se dosáhne pojištění tvarováním výřezu tak, že výřez v součásti se provede napřed v axiálním směru, po dosažení určené hloubky pokračuje ve směru obvodovém a pak se ukončí opět v axiálním směru. Vytvoříme tak západku. Po spojení kolík se v zshloubení udržuje vnější silou vyvozenou např. pružinou. Konstrukční řešení na obr. 6.334 využívá se pro spojení pevně uchyceného kolíku. Řešení na obr. 6.335 používá místo kolíku vyseknutého jazýčku na součásti vyrobené z tenkostěnného plechu. Tento způsob spojení je vhodný pouze tam, kde síly působící na spoj jsou malé a kdy žádáme snadné uvolnění spoje např. pro rychlou vyměnitelnost součástí (resp. zárovek).



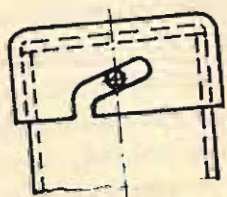
Obr. 6.334



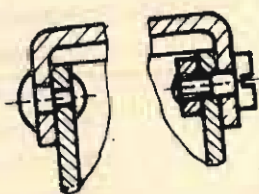
Obr. 6.335

6.14.2. Bajonetové spojení se silovým pojištěním

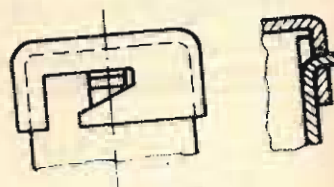
Silového pojištění bajonetového spojení se dociluje hlavně účinkem tření mezi klínově tvarovanými drážkami nebo úkosovými stykovými plochami a kolíkem či výstupkem. Spolehlivost spojení proti samovolnému uvolnění je podmíněna úhlem stoupání drážky φ . Čím je úhel φ menší, tím je spojení spolehlivější. U tenkostěnných součástí je obvykle úhel φ větší než u tlustostěnných, protože ke spolehlivosti přispívají pružné deformace, které se snadněji vyvodí. Vzájemný úhel pootočení spojovaných součástí může být menší. U tlustostěnných dílců je nutno volit naopak větší úhel vzájemného pootočení, aby se docílilo nutného předpětí. Délka klínové drážky se volí tak, aby kolík v zataženém stavu nedosáhl konce drážky. Niže uvedené obrázky ukazují konstrukční řešení bajonetových spojení se silovým účinkem. Obr. 6.336 představuje základní řešení. Způsoby uchycení kolíku jsou na obr. 6.337. Řešení na obr. 6.338 ukazuje možnost použití vyseknutého jazýčka místo kolíku. Kolíky a drážky lze u tenkostěnných součástí nahradit vytlačením materiálu (obr. 6.338).



Obr. 6.336



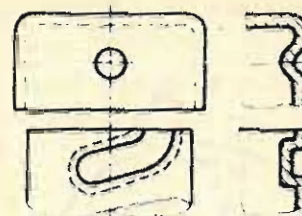
Obr. 6.337



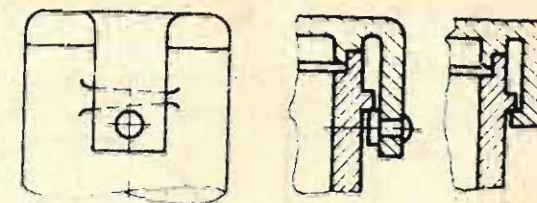
Obr. 6.338

U odlévaných součástí lze drážku nahradit úsekovou plochou ve tvaru výstupku. Kolík lze se do víka přinýtovat nebo i odlít.

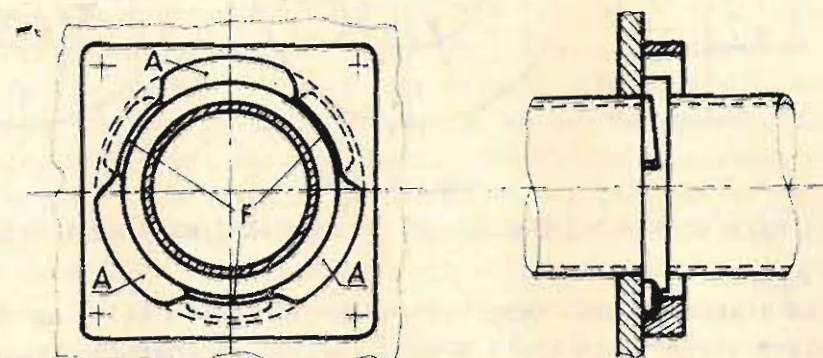
Bajonetového uzávěru s klínovou plochou ve tvaru šroubovice se užívá dosti často u výměnných objektivů optických přístrojů (fotoaparátů) (obr. 6.341). Toto spojení umožňuje správné usazení, velmi rychlou výměnu objektivů a současně osové i střední. Pro uchycení se užívá obvykle tři šroubových ploch (plochých závitů) a středění lze provést buď na velkém či malém průměru šroubových ploch. Šroubové plochy jak na objektivu, tak i v objímce nevytváří souvislou plochu, nýbrž jsou od sebe odděleny zářezy po 60° . Výstupky se takto mohou zasunout do objímky a pootočením se dosáhne patřičného zaklínění.



Obr. 6.339



Obr. 6.340



Obr. 6.341

6.15. SVÍRACÍ ZAŘÍZENÍ

Základem svíracích zařízení je svěrné spojení. Svěrné spojení je rozebíratelné spojení, které využívá ke spojení třecích sil mezi spojovanými díly. Na rozdíl od spojení nalisovaného, kde se třecí síly vyvozují příslušným přesahem, u svěrných spojení se třecí síly vyvozují pomocí šroubů, klínů nebo pružin. Třecí síly musí mít takovou hodnotu, aby zabránily posuvu nebo pootočení součástí vnějšími zátěžnými silami. Měrný tlak ve stykových plochách, vyvozený pomocí šroubů nebo klínů musí být maximálně roven dovolenému, aby ve stykových plochách nevznikly plastické deformace. Plastická deformace ve stykových plochách by spojení znehodnotila. Z toho vyplývá, že měrný tlak nesmí překročit platnost Hookova zákona. Hodnota dovoleného měrného tlaku, analogická nalisovanému spojení, vnější zátěžní síly a součinitel tření jsou hlavními činiteli pro určení velikosti stykové plochy resp. počtu stykových ploch při jejich daných rozměrech.

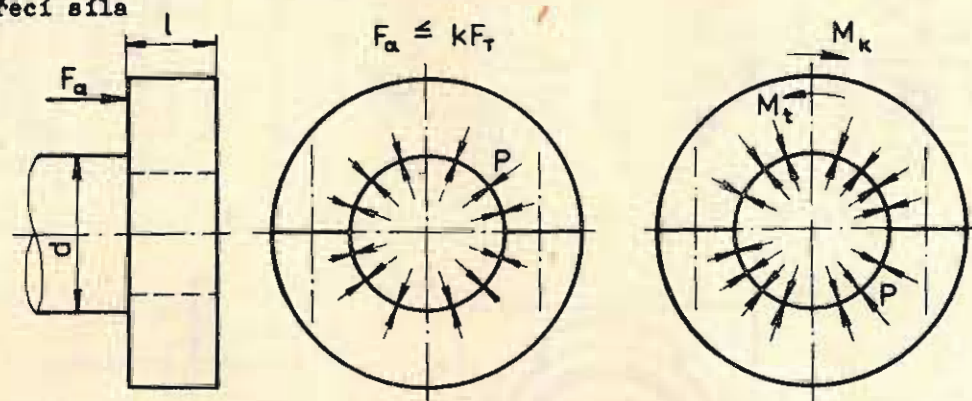
V přesné mechanice se svíracích zařízení používá velmi často. Jejich velkou výhodou je snadné nastavení vzájemné polohy spojovaných součástí jak ve směru podélné osy, tak i ve směru osy otáčení. Dále tato zařízení umožňují rychlou aretaci pohyblivých součástí a rovněž rychlé upínání nesouvázaných dílců.

Výpočet svěrných spojení a tím i svíracích zařízení se ve stavbě malých přístrojů provádí omezeně, protože ve většině případů jsou zátěžné síly menší než vyvozené třecí síly z navrhovaného konstrukčního řešení. V seriové výrobě je lépe ověřit přenos zátěžných sil pokusem. U větších a velkých přístrojů nebo při velkých zátěžných silách nebo momentech je nutné provést předem výpočet.

Pro přenos osové zátěžné síly F_a (obr. 6.342) platí podmínka:

$$F_a \leq F_T \text{ resp. } F_T = k \cdot F \quad [N]$$

kde F_T je třecí síla



Obr. 6.342

Potřebná třecí síla určená z podmínky přenosu axiální síly musí vyhovovat vztahu:

$$F_T = S \cdot p_{dov} \cdot f \quad [N]$$

kde S je účinná styková plocha (pro kruhový průměr $S = \pi d l$) $[mm^2]$

p_{dov} je dovolený měrný tlak $[MPa = N \cdot mm^{-2}]$, závislý na použitých materiálech.

f je součinitel tření daný druhu materiálu dílců

d je průměr čepu či hřídele $[mm]$

l je činná délka stykové plochy $[mm]$

k je součinitel bezpečnosti spojení $k = 1,2 + 2$.

Pro přenos krouticího momentu M_k platí

$$M_k < M_T \text{ resp. } M_T = k M_k$$

kde třecí moment

$$M_T = \frac{1}{2} \pi d^2 l p_{dov} \cdot f = F_T \cdot \frac{d}{2} \quad [Nmm]$$

Z výše uvedených vztahů výpočtenou třecí sílu nebo moment, vyvoláme utahením svíraných součástí pomocí šroubu nebo pomocí klínu. Protože mezi průměrem díry a čepu, nebo u rovinných ploch mezi obepínající a vloženou součástí mohou být vůle, musí utahovací síla překonat napřed pružné deformace vnějšího dílce pro odstranění vůle a pak teprve vyvozuje potřebnou sílu pro přenos axiální síly nebo krouticího momentu. Pro utahovací sílu bude tudíž platit vztah

$$F_N = F_d + F \quad [N]$$

kde F_d je síla pro vyvození pružných deformací svírajícího dílce až do okamžiku dosednutí stykových ploch $[N]$

F je síla pro vyvození třecí síly resp. třecího momentu.

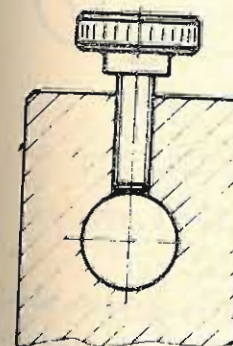
Výpočet utahovací síly F_N je závislý na konstrukci svěrného spojení či svíracího zařízení. Z utahovací síly vypočteme pak průměr šroubu resp. jejich počet nebo zarážející síly klínu. Abychom zmenšili utahovací sílu, snažíme se volit takové uložení, aby vůle mezi svíranými dílci byla minimální. Pro svěrné spojení volíme uložení H7/h7, H7/j6, J7/h6, K7/h6, H7/k6.

Podrobná metodika výpočtu je uvedena ve skriptech Části strojů.

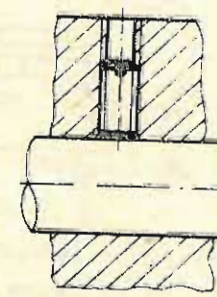
6.15.1. Konstrukce svíracích zařízení

Jak již bylo řečeno, je použití svíracích zařízení velmi časté a proto i konstrukčních variant je velké množství. Jako příkladů použijeme nejčastěji užívané.

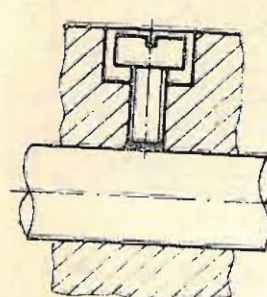
Nejjednodušší konstrukční řešení svíracího zařízení je tvořeno tlačným šroubem, který svíranou součást jednostranně přitlačuje k druhé (obr. 6.343). Použití červíku (obr. 6.344) u rozměrných součástí není vhodné, protože volný prostor nad červíkem zachycuje nečistoty a tím ruší vzhled přístroje. V těchto případech je vhodnější použít zapuštěného šroubu s válcovou hlavou s drážkou nebo s vnitřním šestihranem (obr. 6.345). Když nelze z funkčních či estetických důvodů sevřít součást přímo šroubem, protože by tento vadil, pak se sevření provede nepřímo pomocí stlačovaného kuželového konce válcového dřívku, kuželovým zakončením šroubu (obr. 6.346). Svěrné spojení dvou navzájem posuvných trubek lze provést jazýčkem vyrobeným nařiznutím vnější trubky v podélném směru a jeho přitlačení pomocí šroubu v excentrické objímce (obr. 6.347). Tlačného šroubu lze použít i u součástí s nekruhovým profilem, jak je tomu např. u jezdců posuvného měřítka (obr. 6.348). Pod šrouby se obvykle vkládá měkká podložka, která se přizpůsobí svírané součásti a zabrání tak otlacení ploch. U jezdců posuvného měřítka šroub stlačuje plochou tvarovanou pružinku, která zabraňuje vzniku viklání.



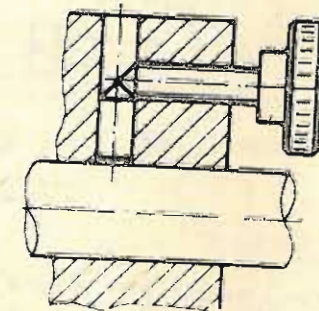
Obr. 6.343



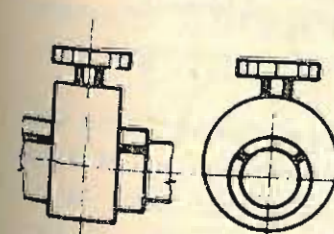
Obr. 6.344



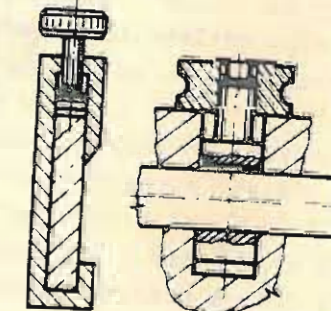
Obr. 6.345



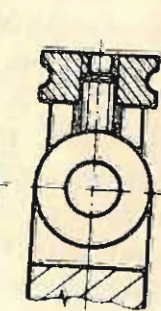
Obr. 6.346



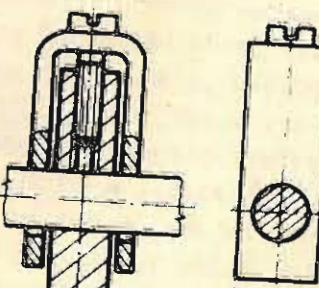
Obr. 6.347



Obr. 6.348



Obr. 6.349

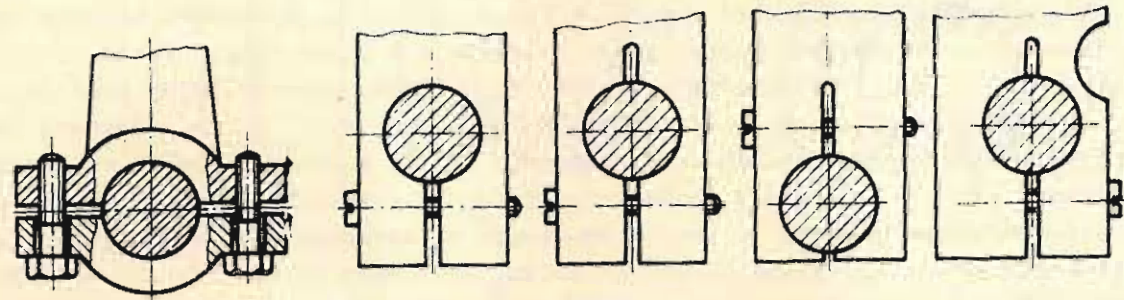


Obr. 6.350

Sevření jedné součásti k druhé lze provést pomocí objímky (obr. 6.349) nebo třmenem obepínajícím součást ze dvou stran (obr. 6.350).

Použití dělených nábojů (obr. 6.351) pro připojení součástí na kulatou tyč,

např. pák, je omezeno jen na případy, kde nelze náboj nasadit v axiálním směru. Svírací síly je dosaženo jedním nebo dvěma páry šroubů. Častější je použití jednostranně naříznuté součásti dotahované šroubem na kruhový profil, typické hlavně u pák. Provedení na obr. 6.352 má nevýhodu v malé pružnosti a tudíž potřeby větší utahovací síly. Lepší řešení je znázorněno na obr. 6.353.



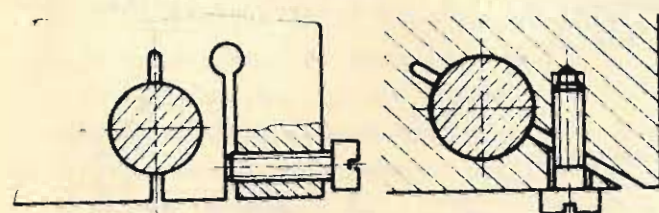
Obr. 6.351

Obr. 6.352

Obr. 6.353

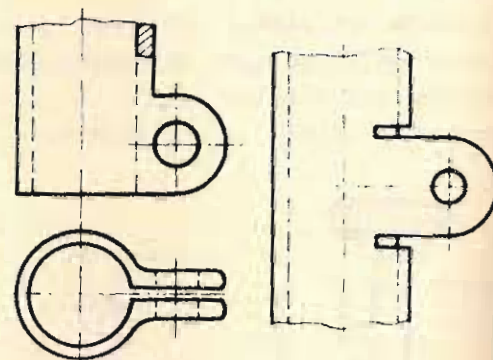
Obr. 6.354

Obr. 6.355



Obr. 6.356

Obr. 6.357



Obr. 6.358

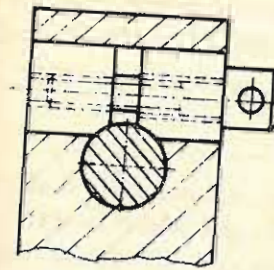
Obr. 6.359

Řešení podle obr. 6.354 je vhodné tam, kde z konstrukčních a funkčních důvodů nelze umístit dotahovací šroub pod svíranou součást. Má-li deska, v níž se má uchytit kruhová tyč, větší rozměry, lze konstrukci řešit zářezem v místě vlastního spojení a odpružením desky příslušným vybráním. Na obr. 6.355 je odpružení provedeno půlkruhovým odlehčením. U obr. 6.356 je odpružení provedeno dalším zářezem, který usnadní pružnou deformaci. Řešení dle obr. 6.357 používá šikmého zářezu. Svírací síly je dosaženo buď přímo stažením nebo odtlačení svírací součásti. Uvedeného způsobu je použito i u připojování trubek resp. nábojů na válcovou tyč či hřídel. (obr. 6.358, obr. 6.359).

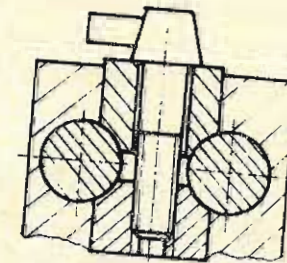
Sevření posuvných i pevných tyčí kruhového profilu je možné řešit pomocí dvou válcových vložek s příslušným vybráním v místě styku, které se k sobě přitahují šroubem. Na obr. 6.360 je znázorněno sevření jedné tyče. Analogickou konstrukcí na obr. 6.361 lze použít i sevření dvou tyčí a tím i zajištění jejich polohy. Jednostranné uchycení tyčky lze provést i dříkem s kruhovým vybráním, utahovaným maticí (obr. 6.362). Kruhové vybrání musí být správně navrženo. Tvarovanými vložkami dotlačovanými k sobě šroubem, lze zajistit i polohu kruhových tyčí k sobě kolmých (obr. 6.363). Uvedená provedení vyžadují lícované rozměry dílců (H/h , H/j , J/h).

Svírací zařízení může být realizováno pomocí kuželových ploch, a to tak, že použijeme dvou kuželů, z nichž jeden je vnější a druhý vnitřní. Svíraná součást

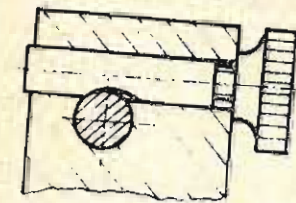
bývá vkládána obvykle do kruhové díry. Pro umožnění sevření bývá vnitřní kužel buď dělen, nebo je na několika místech naříznut. Tím se docílí možnost sevření a zvýší se poddajnost svíracích dílců.



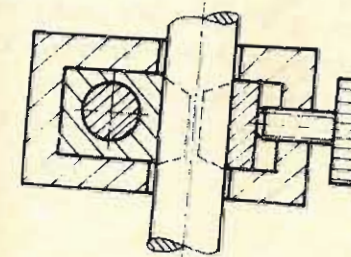
Obr. 6.360



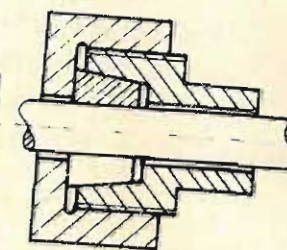
Obr. 6.361



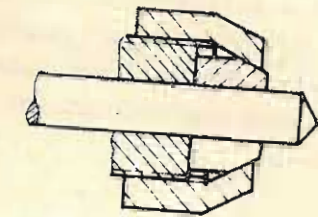
Obr. 6.362



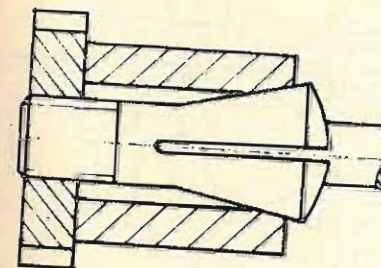
Obr. 6.363



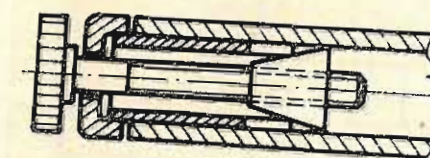
Obr. 6.364



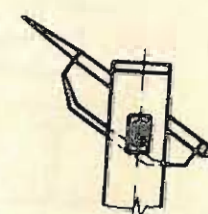
Obr. 6.365



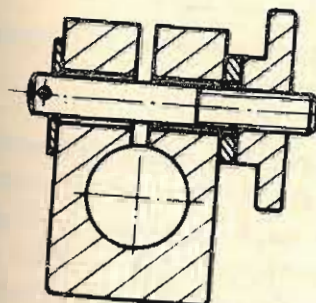
Obr. 6.366



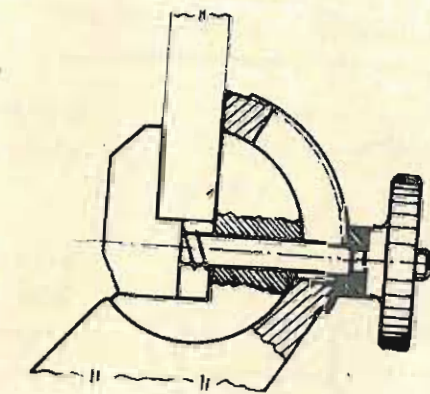
Obr. 6.367



Obr. 6.368



Obr. 6.369



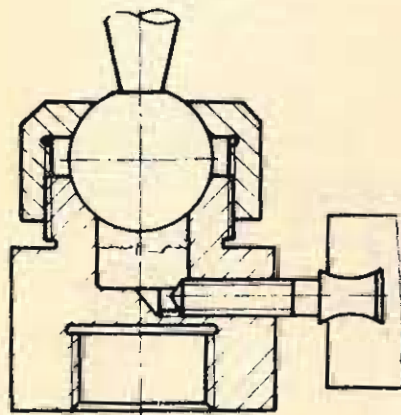
Obr. 6.370

Dotahování kuželových ploch se děje převlečnou maticí, zašroubovanou na vnější kužel (obr. 6.364, 6.365). Do této skupiny spojení patří i kleštiny pro uchycení kruhových tyčí, hlavně při obrábění tyčí a válcových součástí malých průměrů. Kleština bývá dotahována na zasunutou tyč pomocí převlečné matice nebo vtahována do kuželové díry maticí na kleštině (obr. 6.366). Kuzelem se dají sevřít i dvě trubky podle provedení na obr. 6.367.

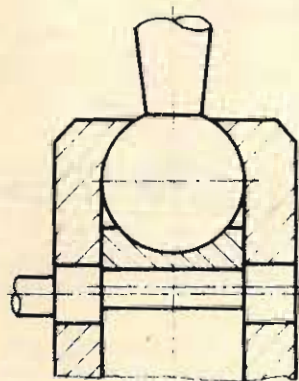
Svírací zařízení může být konstruováno i pro sevření více součástí. Jako příklad může sloužit nastavení a zajištění polohy hrotu kružítka pomocí pouzderka a šroubu (obr. 6.668), nastavení a zajištění polohy nádrhu (obr. 6.369), nebo držáku pro měření mikrometrickým šroubem. (obr. 6.370). Ke svíracím zařízením počítáme také unašecí srdce pro soustružení v hrotech, kde pro sevření používáme buď jednostranného tlaku šroubu aplikací řešení podle obr. 6.343, nebo obvodového sevření podle obr. 6.353 ap.

Ustavení polohy plochy součástí sevřením se děje nejčastěji pomocí tlačných šroubů, jak je jich užito pro upevnění soustružnických nožů v nožovém suportu. Sevřením můžeme také uchytit malé motorky a dynama na kostru přístroje. Zde se užívá nejčastěji pružných ocelových pásek obepínajících motorky a dynama a napínaných pomocí šroubů.

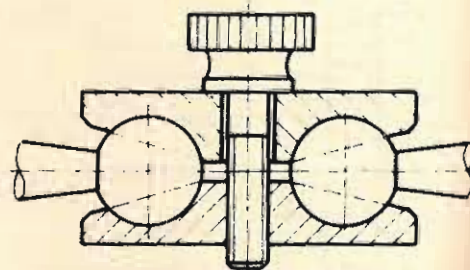
Pro zajištění a nastavení pracovní polohy přístrojů v prostoru používáme svíraného kulového kloubu používaného např. u fotografického stativu. Sevření kulového kloubu provádíme buď kuželovým zakončením šroubu a posuvným dílcem (obr. 6.371), nebo pomocí výstředníku (obr. 6.372). Obr. 6.373 uvádí provedení dvojitého kulového kloubu.



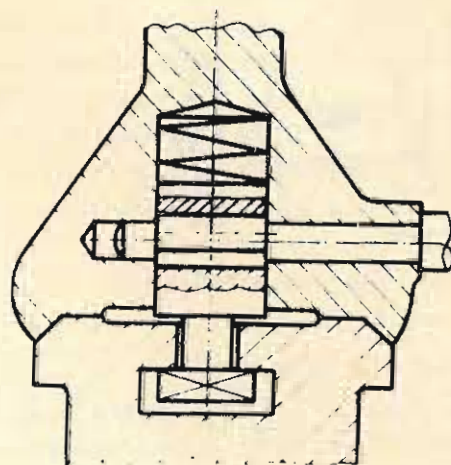
Obr. 6.371



Obr. 6.372



Obr. 6.373

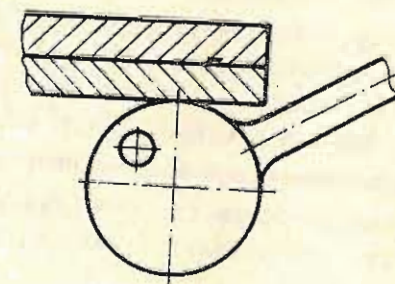


Obr. 6.374

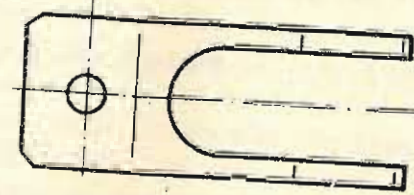
Šroub i výstředník posouvají válcovou vložku k pevné opěrné ploše koule.

Vyvození svírací síly výstředníkem dává možnost rychlého upínání předmětů. Hlavní užití je např. v konstrukci přípravků nebo u zařízení, kde se žádá rychlé uvolnění a přesun součástí či celých zařízení. Při použití výstředníku je žádána samosvornost spojení. Tento požadavek lze splnit jen za předpokladu, že průměr otočných čepů a výstředníku bude asi dvacetinásobek výstřednosti. Teoreticky lze samosvornost výstředníku odvodit z analogie samosvornosti klínového spojení a z

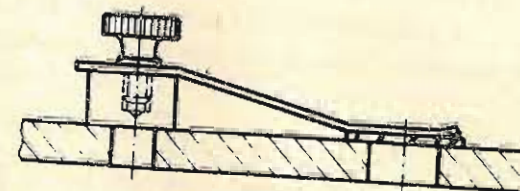
podmínky, že třecí síla musí být větší než vratná síla výstředníku. Použití výstředníku pro zajištění polohy koníků malých soustruhů ukazuje obr. 6.374. Při konstrukci těchto svíracích zařízení je nutno dbát na to, aby v důsledku opotřebení excentru resp. otočných čepů nedošlo k zamezení dalšího pohybu dotykem ovládací páky o základnu nebo o hranu (obr. 6.375).



Obr. 6.375



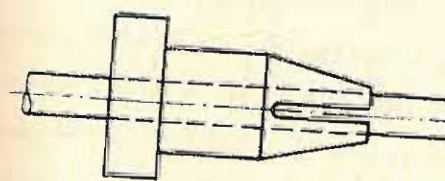
Obr. 6.376



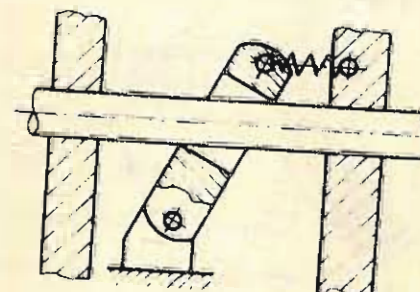
Obr. 6.377



Obr. 6.378



Obr. 6.379

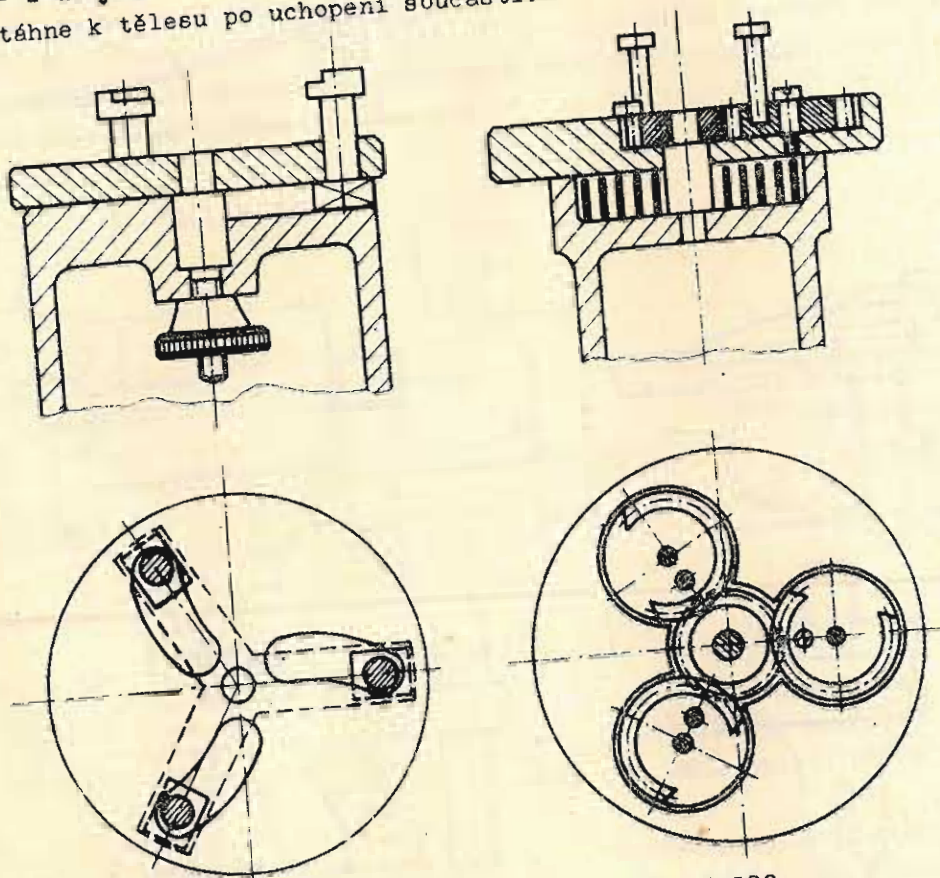


Obr. 6.380

Je-li třeba pro sevření součástí malých sil a žádá-li se snadná vyměnitelnost součástí nebo jejich posuv, pak stačí pro sevření síla vyvozená odpružením svírací součástí nebo užití ploché či šroubové válcové pružiny. Tímto způsobem je řešeno uchycení podkladních sklíčků na stolcích mikroskopů (obr. 6.376), vyvažovací závaží posuvné na válcové tyčce (obr. 6.377), kde jejich sevření je dosaženo napruženými nařiznutými konci buď na jedné nebo na obou stranách (obr. 6.378).

Obr. 6.379 ukazuje způsob zabránění posuvu nastavené polohy regulační matice napružením jejího naříznutého konce. Pro umožnění posuvu tyčky pouze v jednom směru a zabránění zpětnému posuvu z dané polohy je možno použít řešení z obr. 6.380. Zpětnému pohybu brání kroužek dotlačovaný na tyč pružinou.

Svírací zařízení mohou být užity pro uchycení rotačních i plochých předmětů při jejich současném středění. Aplikace těchto zařízení je např. u univerzálních hlav soustruhů. Na analogickém principu jsou konstruovány různé montážní stolky, jejichž úkolem je rychlé uchycení a upínání rotačních předmětů, hlavně nosných prvků přístrojů při montáži různých strojků např. hodinek. Středění je dosahováno pomocí spirálových drážek v otočné desce, nebo umístění uchycovacích kolíků na ozubených kolečkách současně se natáčejících centrálním kolem. První způsob řešení je znázorněn na obr. 6.381, kde 1 představuje desku se třemi spirálovými drážkami - 2 uchycovací kolíky - 3 těleso stolku - 4 utahovací matice, kterou se deska přitáhne k tělesu po uchopení součástí.



Obr. 6.381

Obr. 6.382

Uchycení pomocí kolíků umístěnými na ozubených kolečkách je uvedeno na obr. 6.383. Na tělese 1 se otáčí deska se zapuštěnými ozubenými kolečky. Uchycovací kolíky jsou umístěny na ozubených kolečkách 4, které zabírají do středového kolečka 5 pevně uchyceného do tělesa skříně. Otáčením desky 2 se uvedou do rotačního pohybu kolečka 4, které unášejí kolíky ke středu. Aby nedošlo k přetočení koleček 3 za střed, mají tato jen částečné ozubení na obvodě. Vratný otáčivý pohyb desky a současně svírací sílu vyvozuje spirálová pružina 6.

S dalšími provedeními svíracích zařízení se setkáváme při konstrukci ustávek, stavacích zařízení ap..

L I T E R A T U R A

Boháček a kol.: Části a mechanismy strojů I. Skriptum FS VUT Brno, 1981

Farency: Konstrukce přístrojů přesné mechaniky. SNTL, Praha, 1964

Hajn: Základy jemné mechaniky a hodinářství. Práce, Praha, 1953

Hajn: Přehled přesné mechaniky. SNTL, Praha, 1969

Kamarád a kol.: Základní kvalifikační učebnice - přesná mechanika a optika. Práce, Praha, 1974

Kolouch: Strojní součásti z plastů. SNTL, Praha, 1981

Meluzínek: Lepení kovů ve strojírenství. Knižnice stroj. výroby

Němec: Nýtování. SNTL, Praha, 1965

Normy ČSN

Pospíšil: Závitová a šroubová spojení. SNTL, Praha, 1968

Pospíšil: Závit, šrouby, matice a příslušenství. SNTL, Praha, 1975

Sborník: Konference o lepení kovů. DT Bratislava, 1972, 1974

Šlégl, Šlesinger: Části přístrojů přesné mechaniky. SNTL, Praha, 1967

Gevonijan, Kiselev: Děti mechanizmů točnej mechaniki. Oborongiz, Moskva, 1953

Mirzoev: Plastmassovyje děti mašin i priborov. Mašinostrojenije, Moskva, 1965

Čurabo: Děti i uzly priborov. Mašgiz, Moskva, 1952

Černin: Rasčety dětalej mašin. VŠ, Minsk, 1979

Spravočnik tehnologa priborostrojenija. Mašinostrojenije, Moskva 1980

Decker: Verbindungselemente. C. Nanser Verlag, 1963

Hildebrand: Feinmechanische Bauelemente. Verlag Technik, 1971

Hildebrand: Einführung in die Feinmechanische Konstruktionen. Verlag Technik, Berlin, 1970

Junker: Schraubenverbindungen. Verlag Technik, Berlin

Kaulisch: Schraubenverbindungen. Verlag Technik, Berlin

Niemann: Maschinenelemente. Springer, Berlin, 1975

Richter, Voss: Bauelemente der Feinmechanik. Verlag Technik, Berlin, 1957

Schlottmann: Maschinenelemente, Grundlagen. Verlag Technik, Berlin

Taschenbuch Feingeräte-Technik 1, 2. Verlag Technik, Berlin, 1971

7. PŘÍMÁ VEDENÍ

Obecně rozumíme pod vedením takové uspořádání dvou součástí, které mohou vůči sobě konat vzájemný relativní pohyb po předem stanovené dráze s určitou přesností a stálostí. Toto uspořádání dvou součástí s možností konat pohyb nazýváme kinematickou dvojicí. Protože těleso v prostoru má šest stupňů volnosti, musíme u vedení omezit tento počet vzájemnými vazbami tak, aby kinematická dvojice měla buď jeden nebo dva stupně volnosti.

Od kinematické dvojice s jedním stupněm volnosti žádáme buď:

- pohyb postupný přímočarý nebo pohyb po předem stanovené zakřivené dráze
- pohyb rotační kolem dané osy otáčení.

Pohyb přímočarý je dosahován vedením jedné součásti (zvané sáně) po přímé dráze, jako je tomu např. u vedení suportu po loži soustruhu. Pohyb po předem stanovené zakřivené dráze se uskutečňuje v zakřivených drážkách nebo vedeních a jsou součástí různých mechanismů např. vačkových a bude o nich pojednáno zvlášť.

Pohyb rotační kolem jedné osy je charakterizován otáčením součásti kolem pevné osy, při čemž součást zaujímá stálou polohu vzhledem k vlastnímu vedení. Protože realizace této kinematické dvojice má mnoho variant řešení, bude probíráno ve zvláštní kapitole nazvané otočná uložení.

Kinematické dvojice se dvěma stupni volnosti se u přímých vedení uskutečňují pohybem postupným se současným pohybem rotačním obvykle okolo osy dané směrem postupného pohybu resp. naopak.

Dělení přímých vedení může být provedeno podle různých hledisek.

Podle druhu vyskytujícího se tření mezi vedenou a vodící součástí máme:

- přímá vedení kluzná - se smykovým třením
- přímá vedení valivá - s valivým třením.

Podle funkce jaké zastává přímé vedení v přístroji, stroji či zařízení máme:

- vedení pracovní
- vedení stavěcí

Pracovní vedení je přímo zapojeno do pracovní činnosti přístroje, stroje či zařízení nebo je součástí pracovní operace např. suportu soustruhu.

Stavěcí vedení slouží k ustavení polohy jedné součástky vůči druhé a pak jeho zajištění v nové poloze, jako je tomu např. u koníku soustruhu.

Podle tvaru může být vedení provedeno:

- s rovinnými plochami (obr. 7.1)
- s válcovými plochami (obr. 7.3)

Podle počtu vodících ploch se přímá vedení dělí na:

- jednoduchá (obr. 7.1)
- dvojitá (obr. 7.3)

Podle dosahované přesnosti pohybu mohou být vedení:

- 1) přesná
- 2) přibližná.

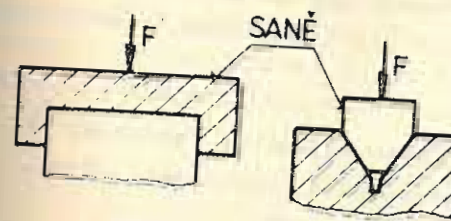
Přesná vedení mají sledovat teoreticky přímou dráhu s přesností danou výrobními tolerancemi.

Vedení přibližná vykazují jak po teoretické, tak i po praktické stránce odchylky od přímé dráhy.

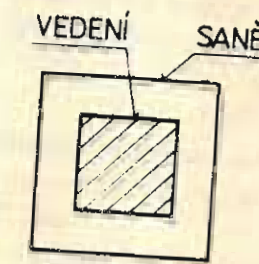
Podle směru zátěžné síly, které vedení zachycuje, máme vedení:

1. otevřená (obr. 7.1)
2. uzavřená (obr. 7.2)

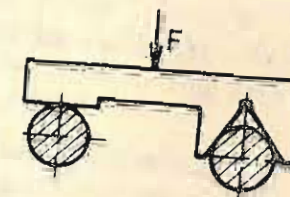
Otevřená vedení jsou schopna činnosti jen když bude vedená součást dotlačována do vedení směrově stálou silou. Uzavřená vedení jsou schopna zachytit vnější sílu, působící v obecném směru.



Obr. 7.1



Obr. 7.2



Obr. 7.3

Na přímočaré vedení se kladou tyto požadavky.

- Přesnost.** Pohyblivá část a všechny body s ní spojené mají se pohybovat po nepohyblivé části (dráze) v mezích, daných požadovanou přesností od geometricky přesného tvaru. Tuto přesnost lze zjišťovat až na hotovém vedení.
- Nejméně jedna vůle.** Tato má být u obyčejného vedení taková, aby umožňovala pohyb a vytvoření olejového filmu. Větší vůle vyvolává pohyb pohyblivé části kolmo na směr vedení, což ovlivňuje přesnost. U hydrostatických vedení a valivých vedení lze vůli téměř odstranit.
- Tuhost.** Vedení má být dostatečně tuhé, aby relativní deformace neovlivňovaly jeho přesnost. Deformace u kluzných vedení jsou dány deformací povrchů stykových ploch, u hydrostatických vedení deformací mazací vrstvy a u valivých vedení pak deformací valivých tělísek a dráh. Na deformaci mají vliv vnější síly působící hlavně v místech podporových reakcí. S deformacemi se musí počítat speciálně při zatížení velkými silami.
- Odolnost proti opotřebení.** Od vedení žádáme mimo zajištění výrobní přesnosti velkou spolehlivost a dlouhou životnost. Dobrou spolehlivost a životnost může mít jen takové vedení, které má vodící plochy provedeny z materiálů, které vykazují velkou odolnost proti opotřebení. Na opotřebení je vázáno i konstrukční řešení vedení, protože v něm musíme pamatovat na vymezení dodatečně vzniklých vůlí.
- Vhodné konstrukční uspořádání vodících ploch.** Toto žádá, aby reakce od vnějších zátěžných sil a momentů byly co nejmenší a výroba byla snadná. Počet vodících ploch má být takový, aby byla zajištěna správná funkce a vedení nebylo staticky přetíženo.
- Nejméně odpor proti pohybu pro vedení pracovní.**

covní ; u vedení stavěcích je žádoucí zvýšení odporu v místě ustavené polohy, ale přechod z jedné polohy do druhé má být plynulý i při velmi malých rychlostech.

g) Ochrana proti vnikání nečistot prachu, třísek, kapalin. Ochranou se bráníme rychlému opotřebení.

h) Dobré mazání u pracovních vedení pro zajištění malých odporů proti pohybu a ke zmenšení opotřebení.

i) Tlumení kmitání. Tento požadavek je splněn dobře u kluzných a hydrostatických vedení. U valivých vedení se používá odpružené lišty, sloužící jako tlumič.

7.1 KLUZNÁ VEDENÍ

Kluzná vedení jsou charakterizována kluzným, smykovým třením mezi kinematickou dvojicí. Aby vedení mohlo konat svou funkci, ke které je určeno, musí být mezi vedenou a vodící součástí určitá vůle. Pro docílení lehkého chodu ve vedení má být vůle větší, než u vedení, které se nemá při nastavené poloze samovolně uvolnit. V těchto případech se někdy kluzné tření uměle zvyšuje např. pružinou, odpružením součástí ap.

U kluzných vedení musíme zabránit vzpříčení vedené součásti. Vzpříčení je závislé na směru, velikosti a poloze síly, na délce vedení a součiniteli tření.

Působí-li u přímého vedení síla přesně v těžistní ose vedení, nebo je-li vedení vystavené dvojici symetrických sil (obr. 7.4), je teoreticky pohyb saní zaručen bez ohledu na délku vedení a součinitel tření. Ve skutečnosti je i v tomto případě vedení zatíženo silou, vyvozenou vlastní hmotností vedené součásti.

U vedení, na níž působí paralelní síla F na rameni r (obr. 7.5) dochází ke vzpříčení součásti vlivem vůle mezi vedenou a vodící součástí a momentu síly. Ze silových poměrů plyne, že

$$F_1 = F_2 = F \cdot \frac{r}{l} \quad [N] [N, m, m^{-1}] \quad (1)$$

Síly F_1 a F_2 , vyvolávají třecí síly

$$F_{T1} = F_{T2} = F \cdot \frac{r}{l} \cdot f \quad [N] \quad (2)$$

Aby u vedení vznikl pohyb, musí platit

$$F \geq F_{T1} + F_{T2} = 2 F \cdot \frac{r}{l} \cdot f \quad [N] \quad (3)$$

Z uvedeného vztahu plyne pro délku vedení l resp. pro poměr r/l vztah :

$$l \geq 2 \cdot r \cdot f [m] \text{ resp. } \frac{l}{r} \geq 2 \cdot f \quad (4)$$

Z uvedeného vztahu plyne, že délka vedení je závislá pouze na velikosti součinitele tření.

Působí-li síla v ose vedení v obecném směru (obr. 7.6), pak tuto rozložíme na složku ve směru osy : $F \cos \alpha$ a na složku kolmou na tento směr : $F \sin \alpha$. Složka $F \cos \alpha$ vyvolává pohyb vedené součásti, složka $F \sin \alpha$ pak má vliv na vzpříčení součásti. Velikosti sil F_1 a F_2 vyvolané složkou $F \sin \alpha$, vyvolávají třecí síly F_{T1} a F_{T2} , které brání pohybu. Síly F_1 a F_2 určíme ze vztahu:

$$F_1 = F \sin \alpha \cdot \left(\frac{x}{l} \right) \quad [N] [N, m, m^{-1}] \quad (5)$$

$$F_2 = F \sin \alpha \cdot \left(\frac{x+l}{l} \right) \quad [N] [N, m, m^{-1}] \quad (5)$$

Výsledná třecí síla $F_T = F_{T1} + F_{T2} = (F_1 + F_2) \cdot f = F \sin \alpha \cdot \left(\frac{2x+l}{l} \right) \cdot f [N] \quad (6)$

Pro zajištění pohybu ve vedení, musí složka

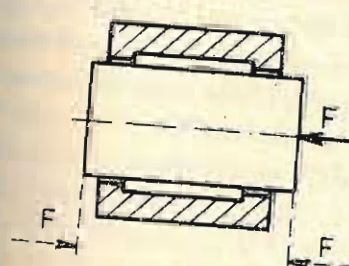
$$F \cos \alpha > F_T = F \sin \alpha \cdot \left(\frac{2x+l}{l} \right) \cdot f \quad [N] \quad (7)$$

Odtud plyne, že délka vedení

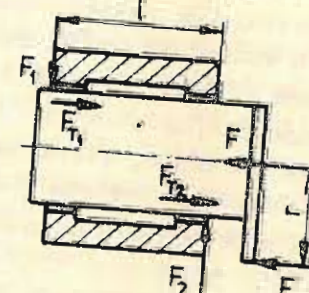
$$l > \frac{2 \cdot f \cdot \tan \alpha}{1 - f \cdot \tan \alpha} \cdot x \quad [m] \quad (8)$$

$$\text{resp. } \frac{l}{x} > \frac{2 \cdot f \cdot \tan \alpha}{1 - f \cdot \tan \alpha}$$

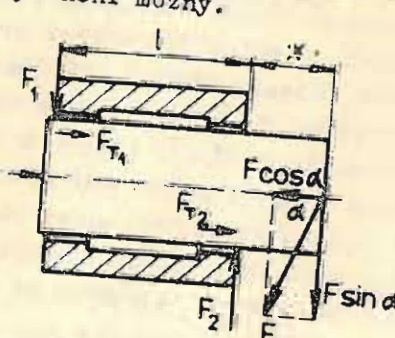
Ze vztahu (8) vyplývá, že na potřebnou délku vedení resp. l/x má vliv poloha a směr síly a součinitel tření. Analýzou vztahu (8) dostaneme, že při součiniteli tření $f = 0,2$ a $\tan \alpha = 5$, ($\alpha = 78^\circ$), vychází $l/x = \infty$. Je-li α větší než uvedená hodnota, přechází vedení do stavu sevření a pohyb není možný.



Obr. 7.4



Obr. 7.5



Obr. 7.6

U prismatických vedení (obr. 7.7) pro stanovení velikosti odporu proti pohybu musíme uvážit i vliv sklonu β vodících ploch. Velikost třecí síly

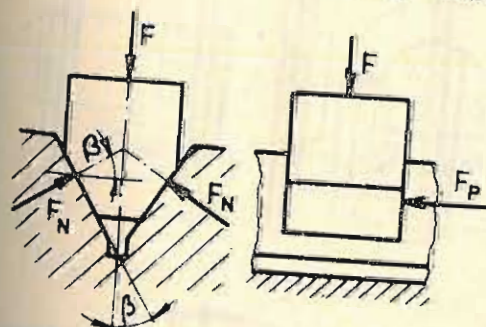
$$F_T = 2 F_N \cdot f \quad (9)$$

$$\text{kde } F_N = \frac{F}{2 \sin \beta} \quad (9a)$$

Po dosazení za F_N bude

$$F_T = \frac{F \cdot f}{\sin \beta} < F_P \quad [N] [N] (10)$$

kde F_P je síla působící ve směru těžistní osy a vyvolávající pohyb. V uvedených vztazích není uvažována síla vyvozená vlastní hmotností pohybujících se součástí. Tato síla zvyšuje třecí sílu a má být brána v úvahu u hmotných saní.



Obr. 7.7

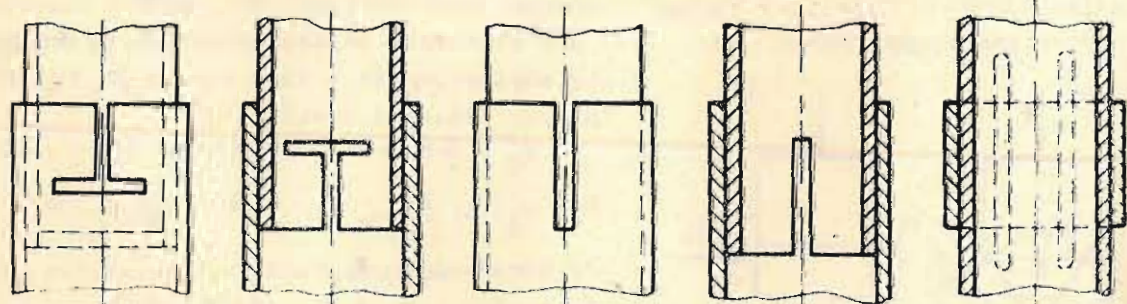
Z funkčního hlediska nás zajímá přesnost vedení. Na přesnost vedení má vliv poáteční vůle mezi vedenou a vodící součástí, přímota vedení, rovnoběžnost a rovinnost ploch, a opotřebení kluzných ploch. Vůle ve vedení způsobuje stranový pohyb resp. u jednoduchých vedení úhlovou výchylku vedené součásti-sání. Nedodržení přímoty vyvolá odchylku od požadované přímé dráhy stranovým pohybem nebo náklonem v rovině vedení. Náklon vedení může být vyvolán také nedodržením rovinnosti.

Úchylnost rovnoběžnosti může být příčinou sevření vedené a vodící součásti. Opotřebení má vliv na zvětšování všech uvedených faktorů a může vyvolat nejen zvětšení stranového pohybu, ale i viklání. Poněvadž není možné vyrábět s absolutní přesností, ani nemůžeme zabránit opotřebení, musíme vždy volit výrobní tolerance a úchylnosti podle požadované funkce vedení v přístrojích, strojích a zařízeních. Dále je nutno pamatovat na možnost vymezení vůlí vhodnou konstrukcí nejen při uvedení vedení do chodu, ale i po opotřebení, přibroušením vodících ploch a novým utěsněním.

U zvlášť přesných vedení i nepatrné vůle vyvolá nepřesnost v pohybu, s níž musíme předem počítat. Zde se zmírnění nepřesnosti dá provést jen vhodným konstrukčním uspořádáním součástí na pohyblivé části tak, aby nutná vůle vykazovala co nejmenší chyby při jejich pohybu např. použitím Abbého principu.

7.1.1. Konstrukce přímých kluzných vedení

Z výrobního hlediska jsou nejjednodušší uzavřená válcová vedení. Jsou po ekonomické stránce nejlevnější a dají se vyrobit i velmi přesně. V nejjednodušší formě tvoří přímé vedení buď plná nebo dutá kruhová tyč, která se posouvá ve válcovém vývrtu nebo se válcová objímka posouvá po tyči kruhového profilu. Použitelnost tohoto vedení je možné jen v těch případech, kdy nevedí nebo je žádoucí rotační pohyb ve směru vedení. Těchto jednoduchých vedení se velmi často užívá při stavbě optických přístrojů. Vedení je zde tvořeno trubkami nejčastěji mosaznými, a to buď taženými nebo stočenými z plechu a zapájenými, u nichž se vodící plochy dodatečně upraví. S výhodou je možno použít trubek tažených, které mají minimální náklady na úpravu válcovitosti. Posuvná část, převážně tvořená trubicí, je utěšňována v nepohyblivé části napružením; napružená může být jak pohyblivá, tak i nepohyblivá součást. Konstrukční řešení těchto vedení je na obr. 7.8 + 7.15. U provedení 7.8 + 7.12 je utěsnění vyvoláno napružením pomocí příčných a podélných zářezů.



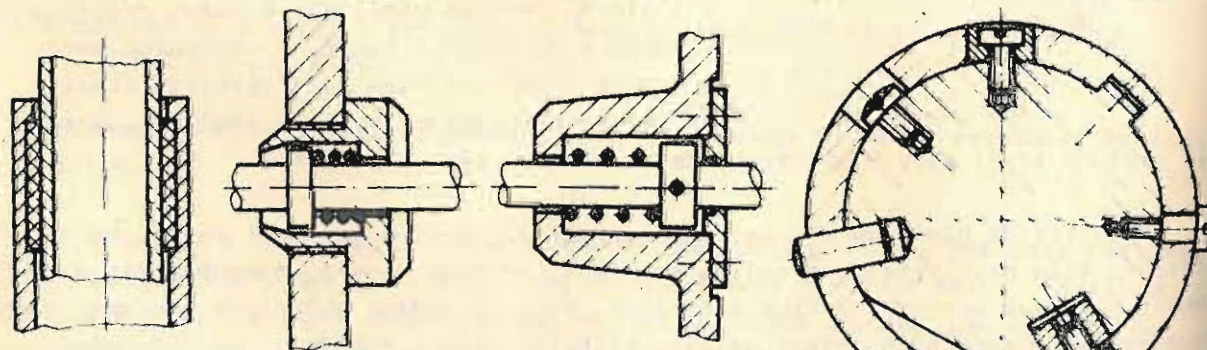
Obr. 7.8

Obr. 7.9

Obr. 7.10

Obr. 7.11

Obr. 7.12



Obr. 7.13

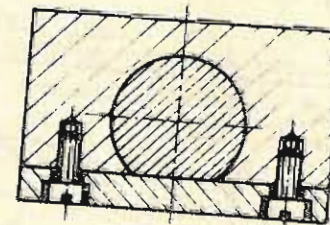
Obr. 7.14

Obr. 7.15

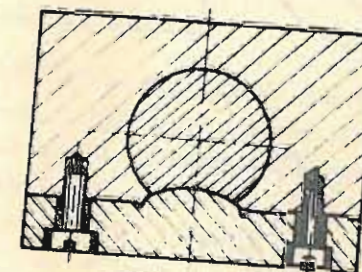
Obr. 7.16

Obr. 17.13 má utěsnění provedeno nalepenou textilní vložkou, která zároveň zabraňuje vniku okolního světla do tubusu. Nedostatek je-li u krátkých vedení tloušťka stěny pro správné vedení, prodlužuje se vlastní vedení buď samostatnou vložkou (obr. 7.14) nebo nálitkem obr. 7.15.

Nemá-li se pohyblivá část otáčet, používáme proti otáčení kolíku, šroubku, válcové nebo hranolovité vložky, pera, kulového vrchlíku a odpovídajících forem drážek, buď na pohyblivé či nepohyblivé části, jak je to znázorněno na obr. 7.16. Mají-li se zachytit větší síly a momenty a docílit zvýšené přesnosti, lze upravit vzájemný vztah mezi vedením a saněmi či smykadly vytvořením rovinné vodící nebo válcové plochy, které se vyfrézují a přebrousí podle konstrukcí naznačených na obr. 7.17, 7.18.

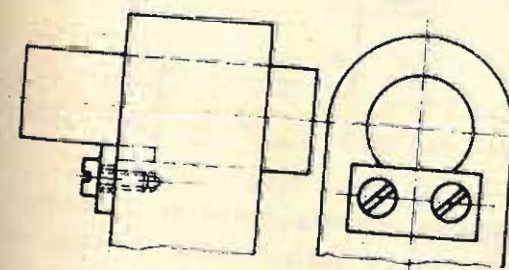


Obr. 7.17

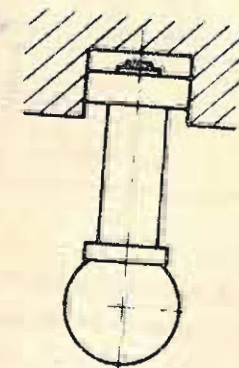


Obr. 7.18

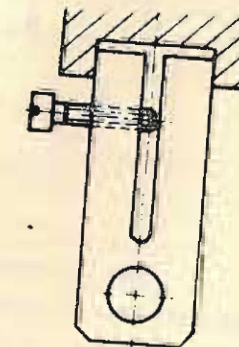
Pro krátké vedení, které lze vyrobit s dostatečně vysokou přesností, lze použít i konstrukce podle obr. 7.19, kde vlastní vedení je tvořeno válcovou a rovinnou plochou vzniklou zfrézováním válcové posuvné části a rovinnou příložkou. Je-li třeba vedenou válcovou tyč vzdálit od vlastního vedení a při tom zachycovat větší či menší kroutící momenty, pak se na válcovou tyč upevní rameno, které se pohybuje v drážce nepohyblivé části. Pro lehký chod se rameno opatří valivým ložiskem (obr. 7.20). Tam, kde větší tření nevedí nebo je žádoucí, se rameno rozřízne a roztahuje se šroubem pro vymezení vůle (obr. 7.21).



Obr. 7.19



Obr. 7.20

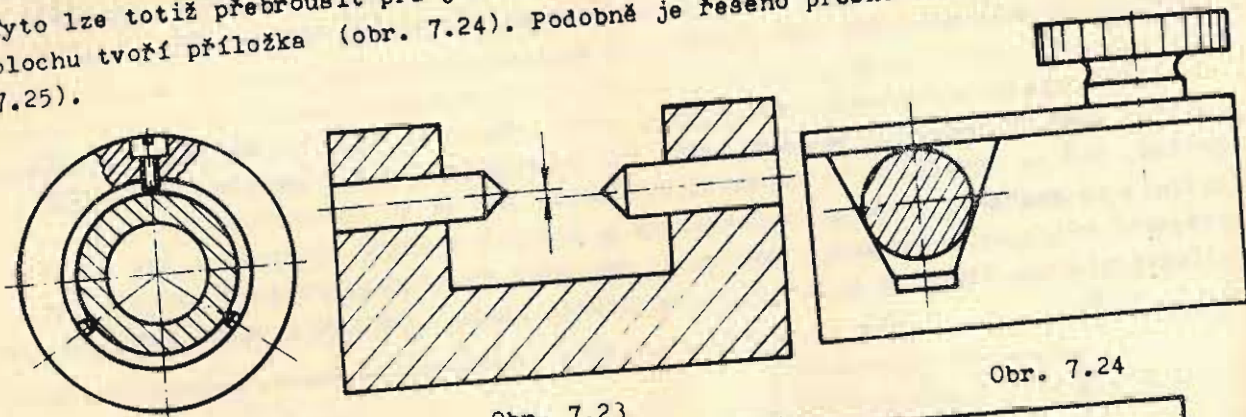


Obr. 7.21

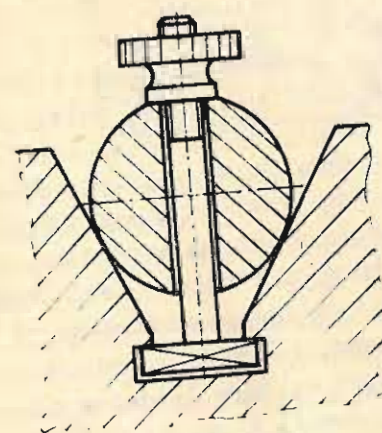
Dlouhá válcová vedení bez odlehčení vykazují větší a nerovnoměrné opotřebení, někdy i ztížený chod vlivem ztuhlého maziva. Zlepšení a i zvýšení přesnosti lze docílit rozdělením dlouhé vodící plochy na dvě kratší, od sebe oddělených osazením průměrů (obr. 7.4).

Nelze-li provést osazení ve vývrtech, je možné si vyjímecně pomoci tím, že vedení nahradíme třemi páry šroubů zasahujícími do díry. (obr. 7.22). Nastavením šroubů lze vedenou součást ustádit a současně i vymežit vůli pro pohyb. Při konstrukci dlouhých přesných vedení protiběžných, např. pro uchycení posuvných hrotů při měření radiální házivosti, nejsou vhodné válcové vývrty (obr. 7.23), protože nelze u nich z výrobních důvodů přesně dodržet souosost. V těchto případech se

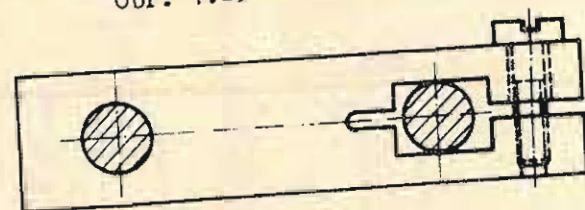
válcové vývrtky v nepohyblivé součásti nahrazují drážkou lichoběžníkového profilu. Tyto lze totiž přebrousit při jednom upnutí. Při uzavřeném vedení třetí vodící plochu tvoří příložka (obr. 7.24). Podobně je řešeno přesné stavěcí vedení (obr. 7.25).



Obr. 7.22



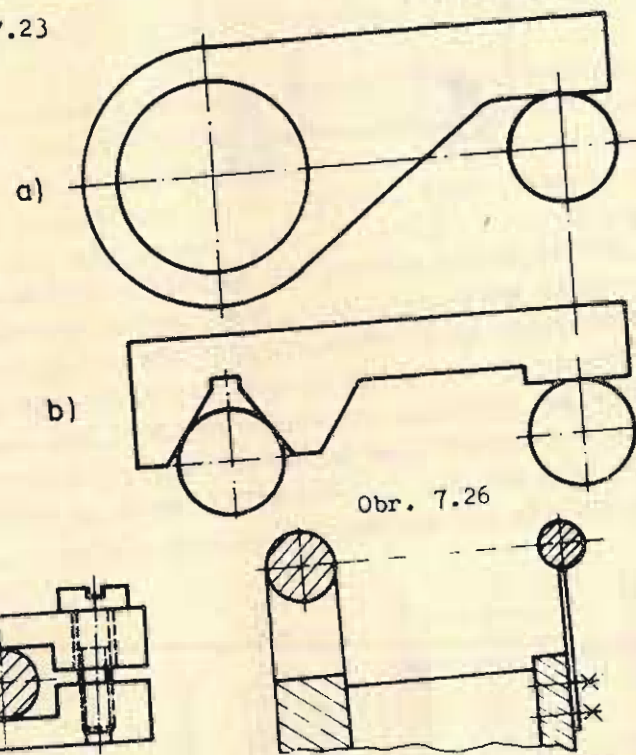
Obr. 7.25



Obr. 7.27

Když válcové vedení má zachycovat větší síly a momenty, nebo se na saně či smykadla mají napojit další konstrukce, používáme místo jednoduchého vedení, vedení dvojitého. Toto opět může být buď otevřené (obr. 7.26) nebo uzavřené (obr. 7.27). Aby nedošlo u dvojitého vedení vzhledem k nedodržení teoretické rovnoběžnosti k sevření nebo ke ztíženému chodu, nesmí být pohyblivá součást (saně) vedena v obou vedeních těsně. Proto se saně vedou těsně pouze na jednom vedení a na druhém je uvolněno. Toto slouží pouze k opoře, k zachycení momentů a k zajištění stability. Přesnost pohybu je zajištěna buď válcovou plochou nebo prizmatickou drážkou na pohyblivé části. Druhé vedení je tvořeno rovinnou plochou, která u uzavřeného vedení má možnost vymezit vůli stažením zářezu např. šroubem. Vedení znázorněné na obr. 7.28 umožňuje těsné uložení pohyblivé části na obou válcových plochách. Případná nerovnoběžnost vodících ploch je kompenzována poddajností listové pružiny, která tvoří součást jednoho vedení.

Dvojité vedení může vykazovat mimoběžnost. Mimoběžnost způsobuje úhlové



Obr. 7.26

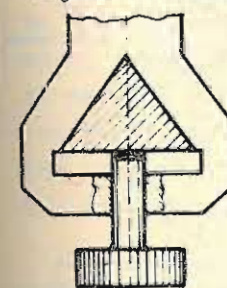
Obr. 7.28

Obr. 7.24

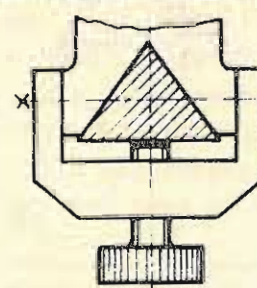
vychýlení saní kolmo na směr vedení a tím i výslednou nepřesnost vedených nebo opracovávaných součástí uchycených na saních. Zmírnění nepřesnosti lze docílit konstrukčním uspořádáním vedení vzhledem k součástem, na nichž by se mohla projevit chyba náklonu saní. Výsledný pohyb saní by měl být k uvedeným dílcům pohybem tečným ve směru vedení, aby se mohla projevit chyba druhého řádu. (Abbého princip)

Chceme-li docílit lehký chod, dá se zmenšit tření uvedením vodících tyčí do rotačního pohybu. Čím menší má být tření, tím větší musí být rotace. Tím se však konstrukce vedení komplikuje, protože se musí zavést přidavný pohon a příslušné převody, což může vyvolat vibrace. Tyto se musí zmírnit zvýšenou přesností zavedených převodů. V těchto případech je pak lépe přejít od vedení kluzného na vedení valivé.

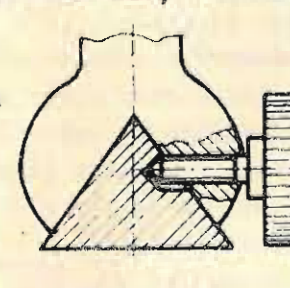
Jednoduché a přesné vedení můžeme získat pomocí rovinných ploch, které lze vyrobit s vysokou přesností. Nejjednodušší otevřené i uzavřené vedení může být provedeno použitím trojbokého hranolu. Všechny tři rovinné plochy lze vyrobit velmi přesně vzájemným zalícováním. Těchto trojúhelníkových vedení bylo dříve používáno např. malých soustruhů v provedení podle obr. 7.29, 7.30. Dnes se tohoto vedení používá stále u optických lavic. Příslušný profil je naznačen na obr. 7.31. Zajištění polohy saní, nesoucí různé optické součásti, se provádí pomocí šroubů s kuželovým zakončením, zapadajícím do podélné lichoběžníkové drážky. Rovinné plochy trojbokého hranolu nemusí svírat jen úhel 60° , ale lze použít i jiných úhlů, např.



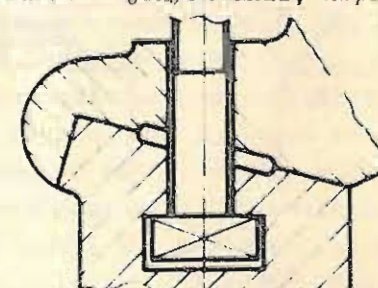
Obr. 7.29



Obr. 7.30

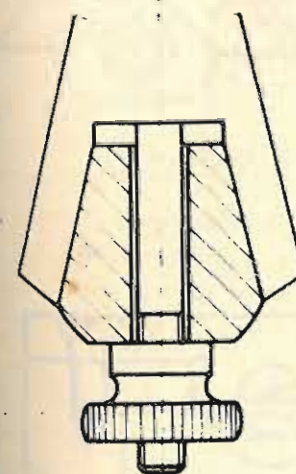


Obr. 7.31



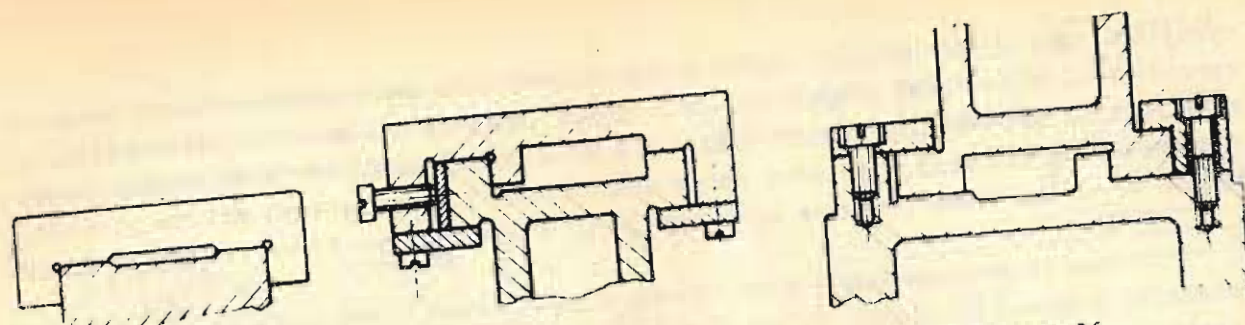
Obr. 7.32

tupého, užívaného u dvojplochého vedení brousících strojů (obr. 7.32), nebo i ostrého znázorněného na stavěcím vedení na obr. 7.33. Toto je vyrobeno z tyče kruhového profilu. Používá-li se u stavěcích vedení k zajištění polohy šroubů, je nutné zaručit kolmost doseďacích ploch matice a podložky k podélné ose šroubu.



Obr. 7.33

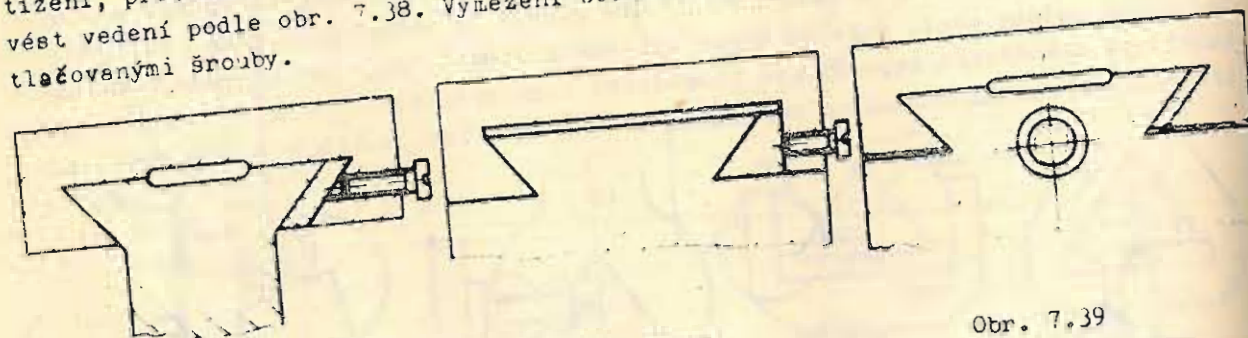
Rovinné vodící plochy můžeme uspořádat i do jiných vzájemných poloh. Můžeme vytvořit vedení hranolové, uzavřené vedení se čtvercovým profilem (obr. 7.2) nebo s obdélníkovým profilem. Těchto se používá při konstrukci robotů a manipulátorů, protože zaručují neotáčivý posuvný pohyb s dostatečnou tuhostí. Otevřené vedení trojploché (obr. 7.34) není zvláště vhodné, protože po opotřebení vzniklé boční vůle nelze vymezit. Pro vymezení bočních vůlí konstruujeme hranolové vedení tak, aby se daly vymezit lištami (obr. 7.35), nebo přišroubovanými vodítky (obr. 7.36). Charakteristické pro toto vedení je to, že vlastní vedení je



Obr. 7.34 provedeno jako jednostranné, druhá vodící rovinná plocha tvoří jen podporu. Chceme-li z tohoto vedení vytvořit vedení otevřené, odstraníme příložky, bránící vsunutí saní.

Dalším typem kluzných vedení jsou vedení rybinová a stříšková resp. kombinovaná.

Rybinové vedení v základním provedení podle obr. 7.37 se hodí pro menší zatížení, protože není schopné zachytit velké klopné momenty. Pro tyto je lépe provést vedení podle obr. 7.38. Vymezení boční vůle se děje bronzovými lištami, přitlačovanými šrouby.



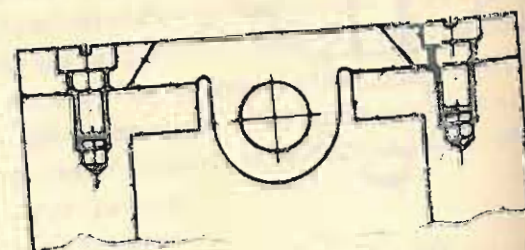
Obr. 7.37

Obr. 7.38

Obr. 7.39

Pokud pohyb saní nelze vyvodit přímo na čelech saní, pak se užívá pohybových šroubů v uspořádání podle obr. 7.39 a 7.40. Uspořádání podle obr. 7.39 má nevýhodu v možnosti většího klopného momentu v podélném směru a tím i většího opotřebení. Řešení podle obr. 7.40 je výhodnější, protože podélná osa pohybového šroubu leží v blízkosti těžiště pohybového systému a vzniká tak menší pravděpodobnost vzniku blokujících sil, např. mimoběžností osy posuvné matice. Úhel sklonu rybin se volí obvykle v rozmezí $50^\circ + 55^\circ$, vyjímku měně 45° . Protože výroba rybin může činit potíže, lze rybinové vedení složit z jednotlivých dílů, jak je znázorněno na obr. 7.41. Nastavení vzájemné polohy a vymezení vůle lze docílit pomocí příložných vodítek.

Při větší šířce vodících ploch, je lépe tuto odlehčit a vytvořit tak dvě vodící plochy, jak je to patrné z obr. 7.37. Užší vodící plochy lze totiž přesněji vyrobit a při zaškrobávání či lapování je zde menší



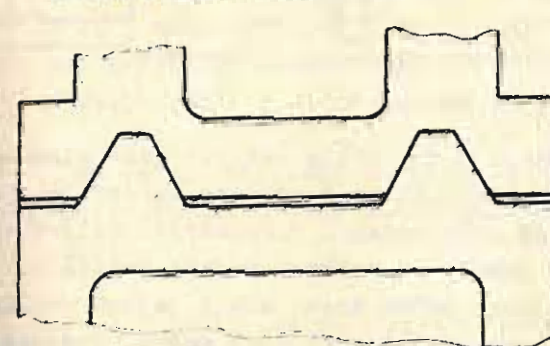
Obr. 7.41



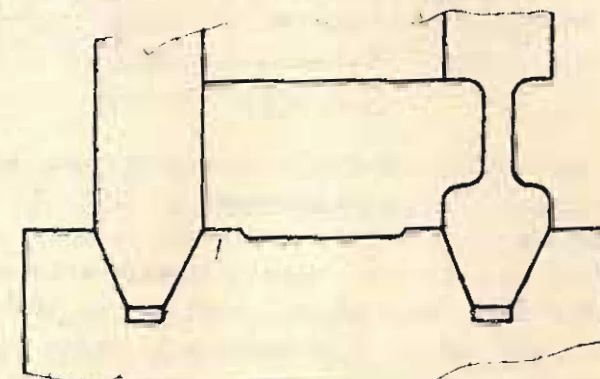
Obr. 7.40

nebezpečí vzniku bombírovaných ploch. Dále je zde výhoda v kratším výrobním čase.

U širších a širokých vedení se častěji užívá vedení stříškového (prizmatického) schematicky znázorněného na obr. 7.42, tvořeného lichoběžníkovým profilem. Ve-



Obr. 7.43



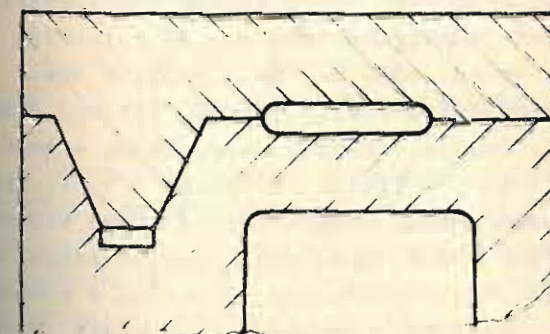
Obr. 7.44



Obr. 7.42

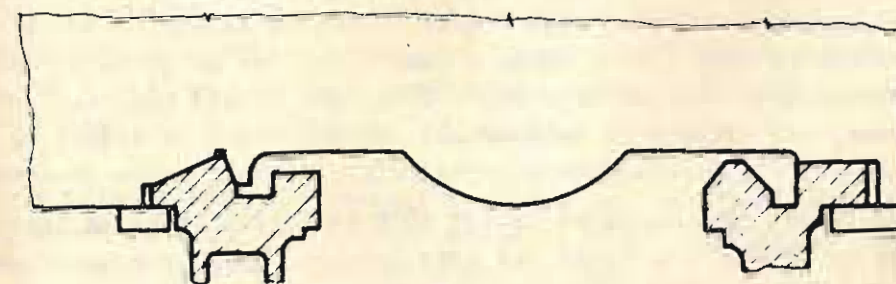
dení může být jednoduché nebo dvojité. Zde je stříškový výstupek umístěn na loži nebo na saních nerozhoduje. U dvojitého vedení provedeného podle obr. 7.43 s tuhými saněmi, dochází ke statické neurčitosti a tím ke ztíženému chodu, protože nelze docílit naprosto přesné rovnoběžnosti vodících drah a dosedacích ploch saní. Je-li však třeba tohoto provedení užít, a to pro svoji relativně vysokou přesnost vedení, pak se sníží tuhost u jednoho z vedení jeho oslabením. Oslabení zvýší pružnost; působí jako pružina (obr. 7.74). Pro snížení vlivu nerovnoběžnosti vodících drah stříškového vedení je lépe provést jednu vodící dráhu se stříškou a druhou jako rovinnou plochu (obr. 7.45). Toto uspořádání omezuje možnost zapříčení ve směru kolmém na dráhu. Úhel sklonu stříšek bývá $60^\circ + 70^\circ$ a profil má tvar rovnoramenného lichoběžníku.

Lichoběžníkový profil pro těžká vedení může být proveden také pod úhlem 90° (obr. 7.46).

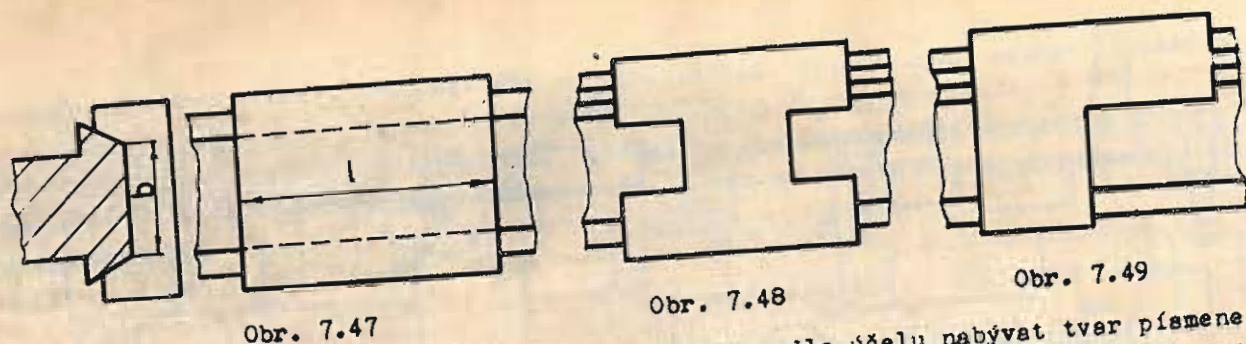


Obr. 7.45

Pokud se týká saní a smykadel, má být jejich délka vždy větší než jejich šířka. Poměr délky l k šířce b má splňovat podmínku $l/b \geq 1,5$ (obr. 7.46). Zachování tohoto poměru snižuje hranové tlaky, a tím i opotřebení a viklání v podélném směru.



Obr. 7.46



Obr. 7.47

Obr. 7.48

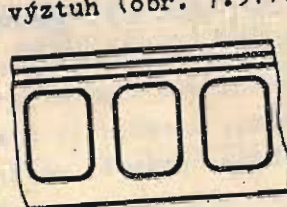
Obr. 7.49

Saně nemusí mít vždy obdélníkový tvar, ale mohou podle účelu nabývat tvar písmene H (obr. 7.48) nebo písmene L (obr. 7.49). Správná činnost přímého vedení je podmíněna dostatečnou tuhostí jak saní, tak hlavně drah vedení. U rozměrově malých vedení je podmínka tuhosti obvykle splněna. U rozměrově velkých vedení, zatížených mimo to velkými silami, musí být zajištěna tuhost nejen drah, ale i jejich podkladu, aby nedošlo k průhybům, a to nejen v podélném, ale i v příčném směru. Nedoodržení příslušné tuhosti vede jednak k nepřesnosti vedení a jednak ke zvýšenému opotřebení. Pokud nejsou vodící dráhy spojeny deskou, používá se ke zvýšení tuhosti podélných (obr. 7.50) nebo lépe šikmých výztuh (obr. 7.51).

U přesných vedení je důležitá správná volba technologie, zvláště při broušení. Při broušení je nutné brusný kotouč po opracování jedné strany vedení pootočit o 180° při přechodu na protilehlou stranu. Opotřebení

vzniklé za provozu lze odstranit pouze novým přebroušením, a to nejen všech drah, ale i utěšňovací lišty. Pouhé přitažení lišty bez jejího přebroušení neodstraní nepravidelnost drah v důsledku opotřebení, a to i proto, že četnost posuvů v různých místech drah bývá různá.

Materiál pro vedení, saně i smykadla má vykazovat dobré kluzné vlastnosti. Pro vedení, zvláště velké, se používá speciální jemnozrnná šedá litina s dobrými kluznými vlastnostmi a malým opotřebením. Na vedení může být dále použita ocel resp. i jiné materiály. Pohyblivé části se vyrábějí z oceli, bronz, litiny. Bronzu se užívá hlavně pro výrobu těsnících lišt. Dvojice bronz - ocel, bronz - šedá litina vykazuje lepší kluzné vlastnosti než litina - litina či litina - ocel. Tyto klasické materiály užívané pro přímočaré kluzné vedení nemají příliš dobré kluzné vlastnosti. Vykazují relativně velký součinitel tření, vyvolávají trhavý pohyb, mají malou životnost v důsledku nízké odolnosti proti opotřebení. Proto se v nových konstrukcích používají vhodná obložení kluzných ploch, pohyblivých součástí, která snižují tření až o 20 + 50 %, dávají plynulejší chod a zmenšují opotřebení. Materiály pro obkládání vodících ploch mohou být pevné, připevňované lepením nebo šrouby, kašovitě, nanášené stěrkou, nebo tekuté, které se zalévají. Obkladové materiály pevné jsou dodávány jako fólie, desky a pásy a lepí se na jednu z funkčních ploch vedení. Obkladovým materiálem bývá např. TURCITEB, dánský výrobek, jehož složení je patentováno, náš výrobek je METALOPLAST SP 25, který se dodává ve fóliích o tloušťce 0,48 + 0,01 - 0,02 mm. V podstatě je to fólie, tvořená nosnou bronzovou mřížkou vyplněnou teflonem. Dále se užívá TEXTIT (ČSN 64 4512), která má lepší vlastnosti než klasické materiály, ale horší než výše uvedené. Materiály nanášené v kašovitě stavu mají epoxidovou bázi s vhodnými plnidly. Takovým naším materiálem je GAMA-PEST. Kašovitě materiály mají horší kluzné vlastnosti než materiály pevné, ale lepší než materiály klasické. Tyto hmoty se dají obrábět i zaškrabávat. Vlastní



Obr. 7.50



Obr. 7.51

kovové plochy vedení nevyžadují speciální opracování, ale dostačuje zfrézování na drsnost Ra - 6,3, na kterou se hmota uchytí. Totéž platí i u materiálů nanášených litím. Tyto materiály jsou v podstatě epoxidové pryskyřice s vhodnými plnidly jak je na př. náš materiál s přísadou 20 % práškového grafitu do epoxidové pryskyřice 110 BG 15; nebo materiál z NDR s označením EPILOX ECK 106. Materiály na bázi epoxidových pryskyřic se vytvrzují po dobu aspoň 3 - 4 dnů. Zalévají se přímo do sestavy dráha - saně, z níž se sejmou po 24 hod. a pak dodatečně opracují.

Pro volbu materiálů na dráhy a pohyblivé části by mělo v zásadě platit, že dráhy mají vykazovat vždy menší opotřebení než saně, protože tyto se dají opravit nebo vyměnit.

U přístrojů s velmi přesným vedením a pracujících v širokém rozmezí teplot, je nutno danou přesnost chodu zachovat i při těchto provozních podmínkách. Proto se při volbě materiálů musí brát v úvahu jejich tepelné roztažnosti a vzájemné uspořádání, zvláště u uzavřených vedení. Důsledkem neuvažování tepelných roztažností může být buď příliš velká vůle ve vedení nebo naopak ztížený chod s velkým opotřebením až sevřením. Materiál s větší tepelnou roztažností má při správné konstrukci obepínat materiál s menší tepelnou roztažností. Nejlépe je však volit materiály se stejnou roztažností. U velmi přesných vedení se doporučuje provádět kontrolu vůle v rozmezí pracovních teplot podle vztahu:

$$v = D [1 \pm \alpha (t - t_0)] - D_1 [1 \pm \alpha_1 (t - t_0)] \quad [\text{mm}] \quad (11)$$

kde v je vůle při pracovní teplotě vedení [mm]

D je nejmenší průměr nebo lineární rozměr s uvážením mezní tolerance uložení u obepínající součásti [mm]

D_1 je největší průměr nebo lineární rozměr s uvážením mezní tolerance uložení obepínané součásti [mm]

α, α_1 jsou součinitelé lineární tepelné roztažnosti použitých materiálů [mm °C⁻¹]

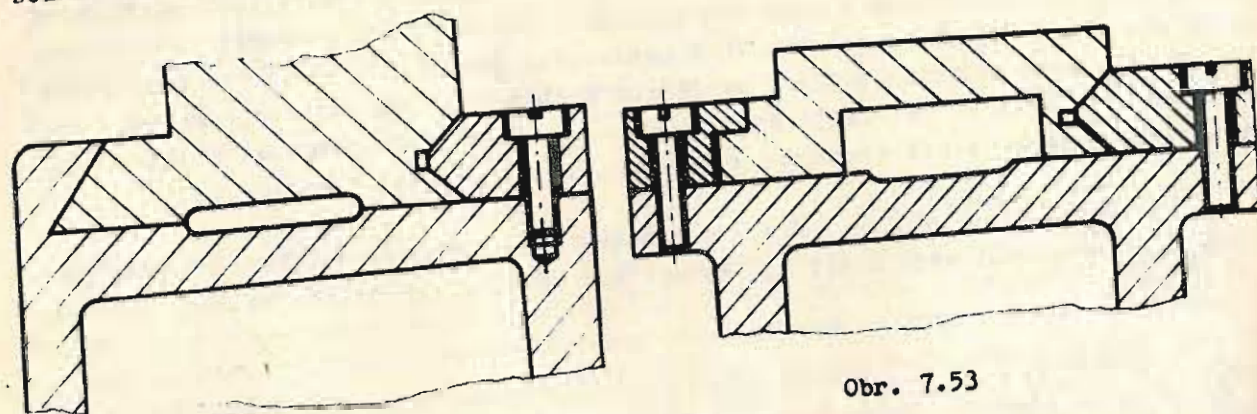
t je pracovní teplota [°C]

t_0 je vztažná teplota kontrolních měřidel [°C] (obvykle 20° C)

Pevnostní výpočet u malých a menších přístrojových vedení zatížených i malými silami obvykle neprovádíme, protože tuhost konstrukce bude z výrobních důvodů vždy zajištěna. U velkých vedení pak nastupuje hlavně tuhostní výpočet a výpočet na opotřebení. Tuhostní výpočet se týká hlavně možných průhybů jak v podélném, tak i v příčném směru. Pro výpočet průhybů se užívá vztahů určených pro tuhost rámu a desek. Opotřebení je závislé na přípustném měrném tlaku. U kluzných vedení můžeme předpokládat vznik polosuchého nebo suchého tření, protože pro vznik hydrodynamického mazání nejsou podmínky. Abychom u velkých vedení snížili tření, přecházíme na mazání hydrostatické. Malá vedení mažeme buď tukem nebo olejem s viskozitou úměrnou zatížení. Tuk a olej se používá u malých vedení hlavně pro ochranu před korozí a k částečnému snížení opotřebení.

Konstrukce přímých vedení se nemusí omezovat jen na uvedené základní profily vodících drah, nýbrž je možno různé tvary vodících ploch kombinovat. Kombinace vodících ploch je zvláště výhodná u menších přesných vedeních. Na obr. 7.52 je např. užito kombinace rybinového vedení s vedením stříškovým. Použití plochého rovinného vedení se stříškovým ukazuje obr. 7.53. Zde je možné vymezovat vůli posuvem přílo-

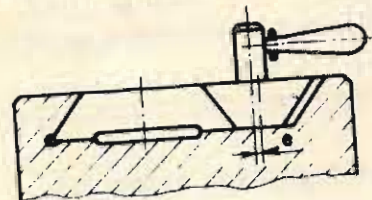
žek z obou stran a současně i saně střídit.



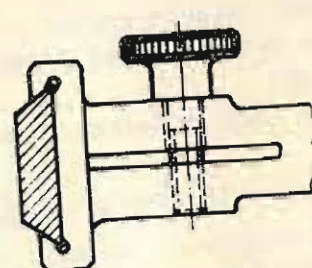
Obr. 7.52

Obr. 7.53

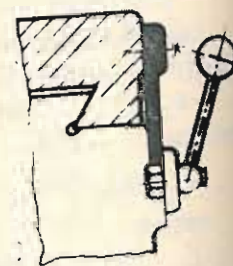
U stavěcích vedení se klade požadavek na pojištění polohy pohyblivé části po jejím přemístění do pracovního místa. Pokud jsou pracovní místa fixní, použijeme pro zajištění polohy kolíků nebo západek a příslušné vedení opatříme děrami nebo tvarovanými zářezy. Mění-li se pracovní poloha, pak vodící plochy nelze porušovat otvory a pro zajištění polohy využíváme především zvýšeného tření, které vyvodíme, po nastavení pohyblivých součástí, buď pomocí šroubů (obr. 7.25, 7.29 až 7.33) nebo excentru (obr. 7.54) či svíracího zařízení (obr. 7.55). Dále lze užít pro sevření vedení přímo i vodící lišty nebo zvláštní vložky dotlačované na vodící plochu šrouby (obr. 7.56).



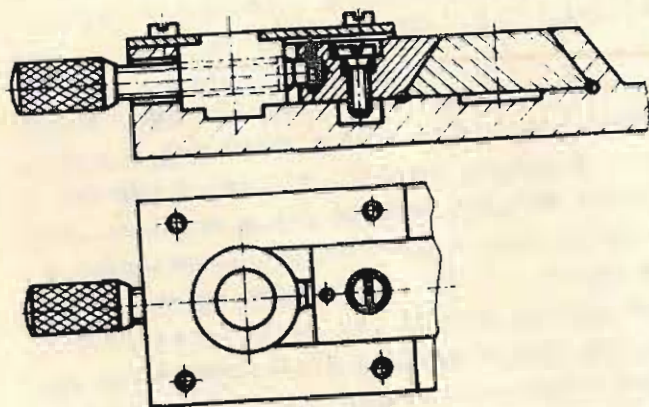
Obr. 7.54



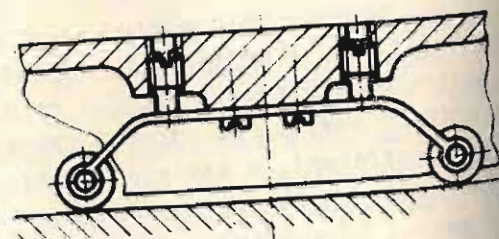
Obr. 7.55



Obr. 7.57



Obr. 7.56



Obr. 7.58

Pro zajištění polohy lze užít i přídavných, plochých pružin, jak je tomu např. u posuvných měřitek nebo v konstrukci naznačené na obr. 7.57, kde se plochá pružina dotahuje k rámu vedení šroubem. Konstrukce fixačních zařízení má mnoho variant řešení.

Pro zmenšení tření ve vodících plochách a tím i opotřebení při velké frekvenci pohybu nebo při velkých působících silách či hmotnostech vznikla snaha od-

kovové plochy vedení nevyžadují speciální opracování, ale dostačuje zfrézování na drsnost $Ra - 6,3$, na kterou se hmota uchytí. Totéž platí i u materiálů nanášených litím. Tyto materiály jsou v podstatě epoxidové pryskyřice s vhodnými plnidly jak je na př. náš materiál s přísadou 20 % práškového grafitu do epoxidové pryskyřice 110 BG 15; nebo materiál z NDR s označením EPILOX ECK 106. Materiály na bázi epoxidových pryskyřic se vytvrzují po dobu aspoň 3 - 4 dnů. Zalévají se přímo do sestavy dráha - saně, z níž se sejmou po 24 hod. a pak dodatečně opracují.

Pro volbu materiálů na dráhy a pohyblivé části by mělo v zásadě platit, že dráhy mají vykazovat vždy menší opotřebení než saně, protože tyto se dají opravit nebo vyměnit.

U přístrojů s velmi přesným vedením a pracujících v širokém rozmezí teplot, je nutno danou přesnost chodu zachovat i při těchto provozních podmínkách. Proto se při volbě materiálů musí brát v úvahu jejich tepelné roztažnosti a vzájemné uspořádání, zvláště u uzavřených vedení. Důsledkem neuvažování tepelných roztažností může být buď příliš velká vůle ve vedení nebo naopak ztížený chod s velkým opotřebením až sevřením. Materiál s větší tepelnou roztažností má při správné konstrukci obepínat materiál s menší tepelnou roztažností. Nejlépe je však volit materiály se stejnou roztažností. U velmi přesných vedení se doporučuje provádět kontrolu vůle v rozmezí pracovních teplot podle vztahu:

$$v = D [1 \pm \alpha (t - t_0)] - D_1 [1 \pm \alpha_1 (t - t_0)] \quad [\text{mm}] \quad (11)$$

kde v je vůle při pracovní teplotě vedení $[\text{mm}]$

D je nejmenší průměr nebo lineární rozměr s uvážením mezní tolerance uložení u obepínající součásti $[\text{mm}]$

D_1 je největší průměr nebo lineární rozměr s uvážením mezní tolerance uložení obepínané součásti $[\text{mm}]$

α, α_1 jsou součinitelé lineární tepelné roztažnosti použitých materiálů $[\text{mm } ^\circ\text{C}^{-1}]$

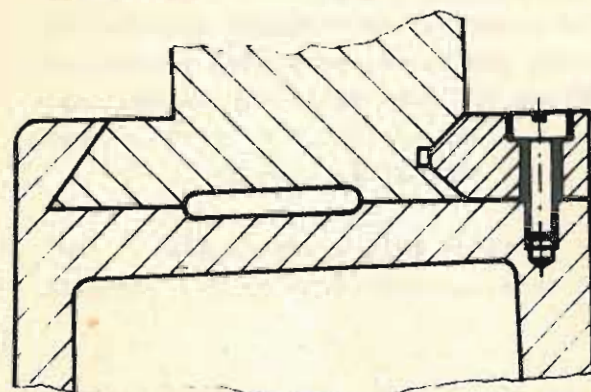
t je pracovní teplota $[\text{°C}]$

t_0 je vztahná teplota kontrolních měřidel $[\text{°C}]$ (obvykle 20°C).

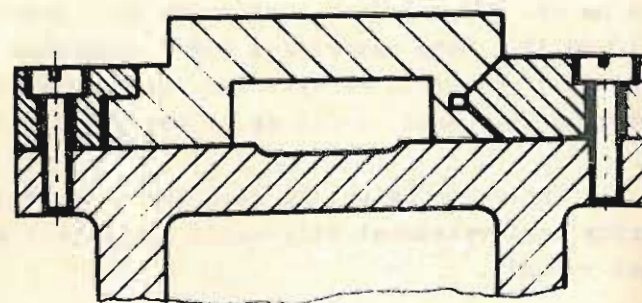
Pevnostní výpočet u malých a menších přístrojových vedení zatížených i malými silami obvykle neprovádíme, protože tuhost konstrukce bude z výrobních důvodů vždy zajištěna. U velkých vedení pak nastupuje hlavně tuhostní výpočet a výpočet na opotřebení. Tuhostní výpočet se týká hlavně možných průhybů jak v podélném, tak i v příčném směru. Pro výpočet průhybů se užívá vztahů určených pro tuhost rámu a desek. Opotřebení je závislé na přípustném měrném tlaku. U kluzných vedení můžeme předpokládat vznik polosuchého nebo suchého tření, protože pro vznik hydrodynamického mazání nejsou podmínky. Abychom u velkých vedení snížili tření, přecházíme na mazání hydrostatické. Malé vedení mažeme buď tukem nebo olejem s viskozitou úměrnou zatížení. Tuk a olej se používá u malých vedení hlavně pro ochranu před korozí a k částečnému snížení opotřebení.

Konstrukce přímých vedení se nemusí omezovat jen na uvedené základní profily vodících drah, nýbrž je možno různé tvary vodících ploch kombinovat. Kombinace vodících ploch je zvláště výhodná u menších přesných vedeních. Na obr. 7.52 je např. užitá kombinace rybinového vedení s vedením stříškovým. Použití plochého rovinného vedení se stříškovým ukazuje obr. 7.53. Zde je možné vymezovat vůli posuvem přílo-

žek z obou stran a současně i saně středit.

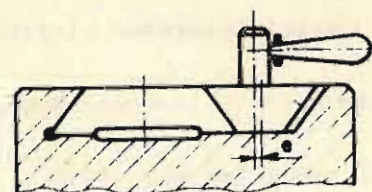


Obr. 7.52

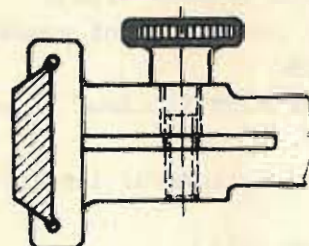


Obr. 7.53

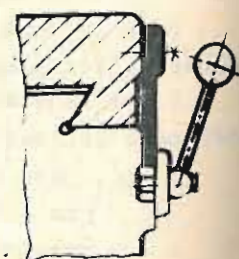
U stavěcích vedení se klade požadavek na pojištění polohy pohyblivé části po jejím přemístění do pracovního místa. Pokud jsou pracovní místa fixní, používáme pro zajištění polohy kolíků nebo západek a příslušné vedení opatříme děrami nebo tvarovanými zářezy. Mění-li se pracovní poloha, pak vodící plochy nelze porušovat otvory a pro zajištění polohy využíváme především zvýšeného tření, které vyvodíme, po nastavení pohyblivých součástí, buď pomocí šroubů (obr. 7.25, 7.29 až 7.33) nebo excentru (obr. 7.54) či svíracího zařízení (obr. 7.55). Dále lze užít pro sevření vedení přímo i vodící lišty nebo zvláštní vložky dotlačované na vodící plochu šrouby (obr. 7.56).



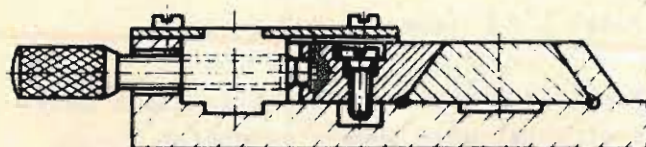
Obr. 7.54



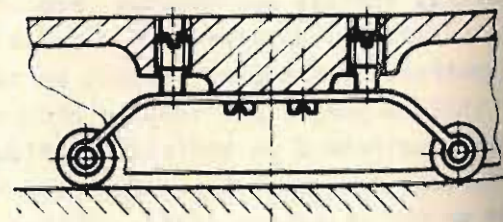
Obr. 7.55



Obr. 7.57



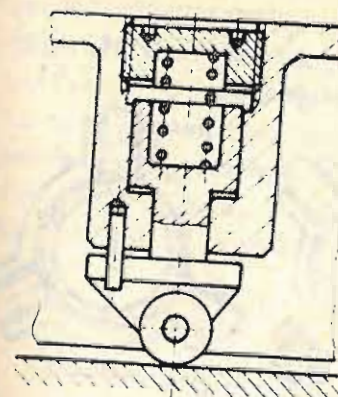
Obr. 7.56



Obr. 7.58

Pro zajištění polohy lze užít i přidavných, plochých pružin, jak je tomu např. u posuvných měřitek nebo v konstrukci naznačené na obr. 7.57, kde se plochá pružina dotahuje k rámu vedení šroubem. Konstrukce fixačních zařízení má mnoho variant řešení.

Pro zmenšení tření ve vodících plochách a tím i opotřebení při velké frekvenci pohybu nebo při velkých působících silách či hmotnostech vznikla snaha od-



Obr. 7.59

lehčovat vedení pomocnými kolečky uchycených na pružinách a vedených po rovinné dráze, obvykle v rámu vlastního vedení. Konstrukční varianty ukazují obr. 7.58 a 7.59. Nadlehčení se provádí obvykle pomocí čtyř koleček. Snaha po zmenšení kluzného tření, opotřebení a zvýšení přesnosti vedla ke konstrukcím vedení, využívajícího valivého tření.

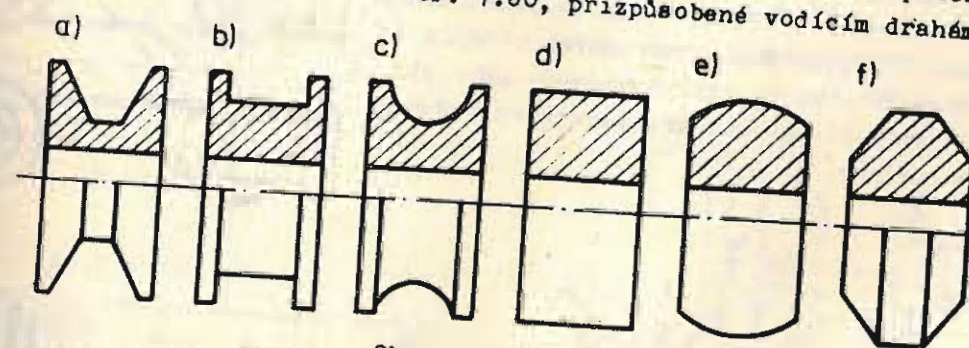
7.2. VALIVÁ VEDENÍ

Přímá vedení valivá se vyznačují tím, že posuv dvou součástí navzájem sdružených se provádí pomocí rotačního pohybu vložených elementů. Kluzné tření se tak nahradí třením valivým, jehož součinitel tření je menší. Valivé vedení se používá všude tam, kde se má zaručit lehký chod, minimální energetické ztráty, zvýšená přesnost a zvýšená necitlivost na teplotní změny.

Valivé vedení, stejně jako vedení kluzné, může být otevřené nebo uzavřené. Jako valivých elementů používáme kladek, radiálních valivých ložisek, válečků a kuliček. Tyto elementy se vkládají mezi pevnou a pohyblivou součást.

Výpočet minimální délky vedení je analogické jako u vedení kluzného. Tato délka vychází však menší, protože součinitel tření jsou menší, resp. úhel působící síly může být větší, aniž dojde ke vzpříčení.

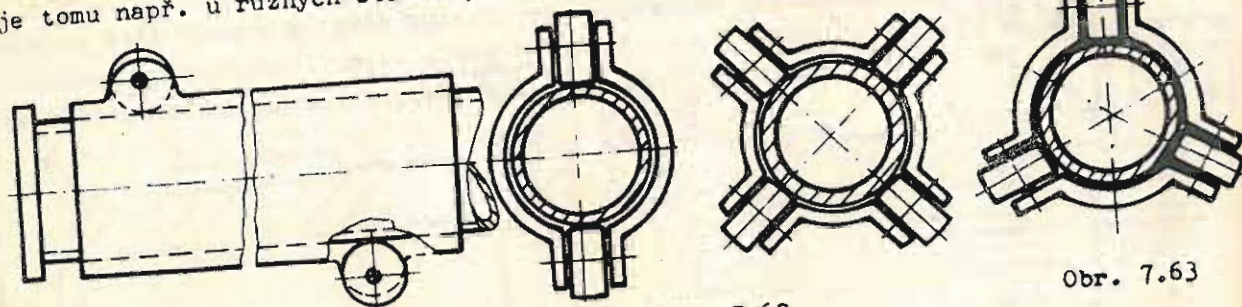
Vodící dráha je buď válcová nebo může být tvořena rovinnými plochami. Kladičky mívají tvary znázorněné na obr. 7.60, přizpůsobené vodícím drahám.



Obr. 7.60

V základním principu valivé vedení představuje dráhu, po níž se přemísťuje součást jako vozík. Při tom je v podstatě jedno, zda pohyblivá součást je opatřena rotujícími elementy, nebo zda kladičky jsou uchyceny ve vedení a pohyblivá součást se po nich posouvá. Pro docílení správného vedení je zapotřebí při jednoduchém vedení nejméně dvou kladiček, které jsou od sebe vzdáleny na minimální vypočtenou vzdálenost. Dvojitě vedení musí mít minimálně tři kladičky, abychom docílili statickou určitost.

Konstrukční provedení valivého vedení se řídí účelem, požadovanou přesností a zátěžnými silami. U jednoduchého vedení bez zajištění rotace pohyblivé části, jak je tomu např. u různých stativů, můžeme použít konstrukčního řešení z obr. 7.61.

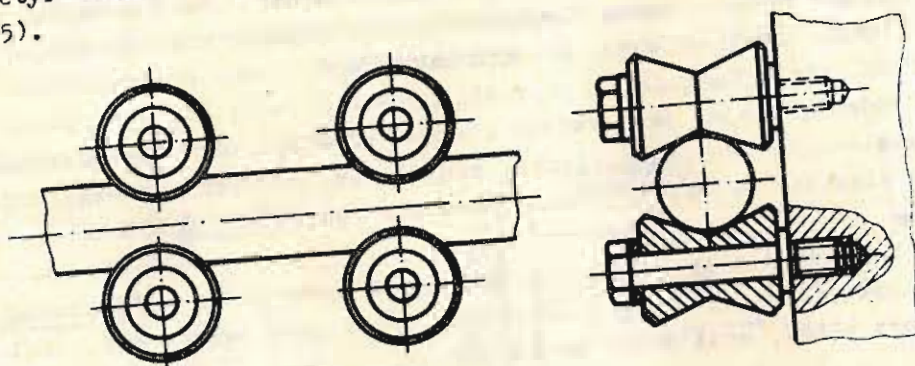


Obr. 7.61

Obr. 7.62

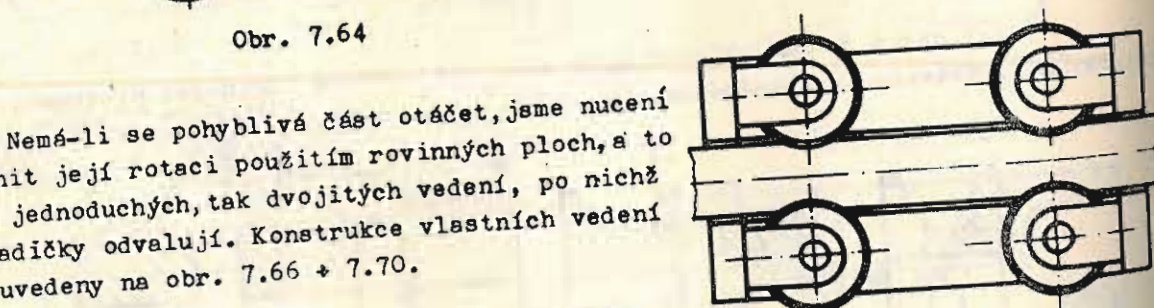
Obr. 7.63

Toto vedení je především určeno pro vodorovný posuv. Působící sílu stačí zachytit dvě kladičky, součást však není středěna. Pro avislý pohyb nebo středění je lépe použít čtyř (obr. 7.62) nebo tří kladiček (obr. 7.63) v párovém provedení, protože jen tak mohou zachytit síly v obecném směru. Pro konstrukci uzavřeného kruhového vedení, musíme použít alespoň tři kladiček pevně uchycených na rámu vedení, (obr. 7.64) nebo čtyř kladiček v páru pokud jsou uchyceny na pohyblivé části (saních) (obr. 7.65).



Obr. 7.64

Nemá-li se pohyblivá část otáčet, jsme nuceni zabránit její rotaci použitím rovinných ploch, a to jak u jednoduchých, tak dvojitých vedení, po nichž se kladičky odvalují. Konstrukce vlastních vedení jsou uvedeny na obr. 7.66 + 7.70.



Obr. 7.65

Obr. 7.66

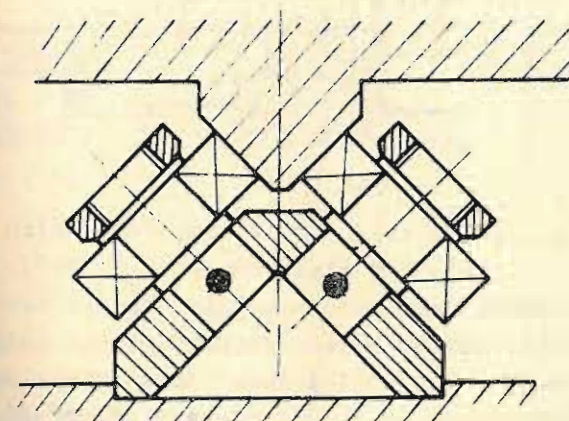
Obr. 7.67

Obr. 7.68

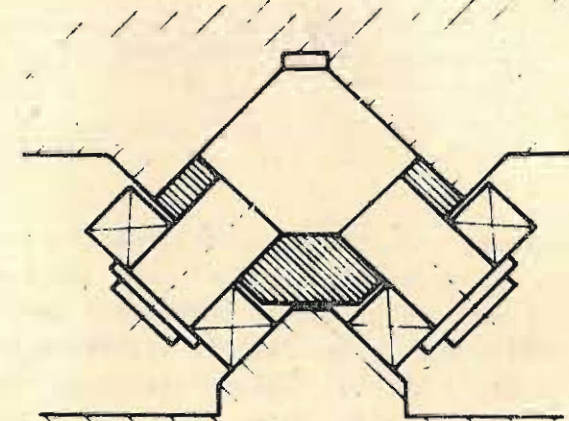
Obr. 7.69

Obr. 7.70

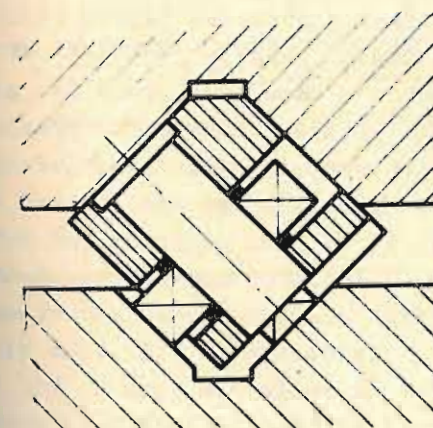
Pro zvýšení přesnosti vedení, zvýšení tuhosti a pro zachycování větších a velkých zátěžných sil je vhodné užití prizmatických nebo žlábkových vodících drah. U těchto vedení se kladičky uchycují na čepy, které se zasazují šikmo do nepohyblivé části nebo do saní buď nalisováním nebo pomocí kolíků. Kladičky se pro zmenšení tření nahrazují kuličkovými ložisky. Provedení jednoduchých vedení jsou znázorněny na obr. 7.71 + 7.73. Z uvedených variant má největší tuhost provedení z obr. 7.73, kde kladičky jsou umístěny kolmo na sebe.



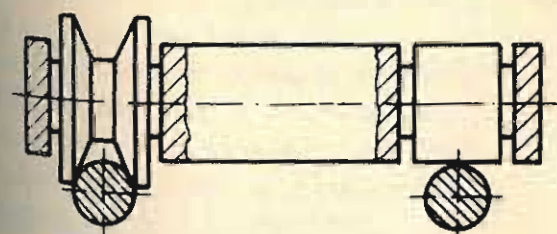
Obr. 7.71



Obr. 7.72



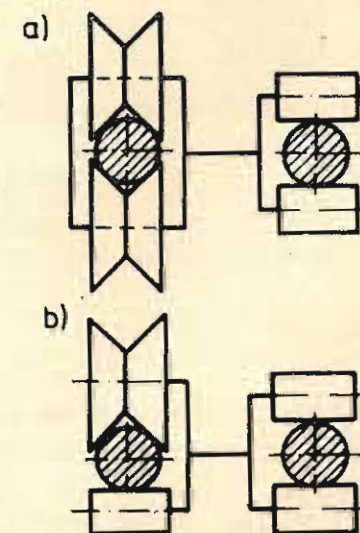
Obr. 7.73



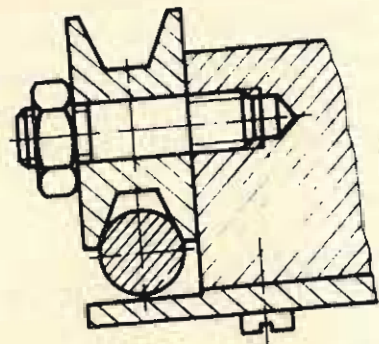
Obr. 7.74

Osy jsou uchyceny ve dvou podporách, což zvyšuje tuhost vzhledem k ostatním provedením. Protože tuhost těchto variant někdy nestačuje, upouští se od nich a nahrazují se tato vedení vedeními válečkovými.

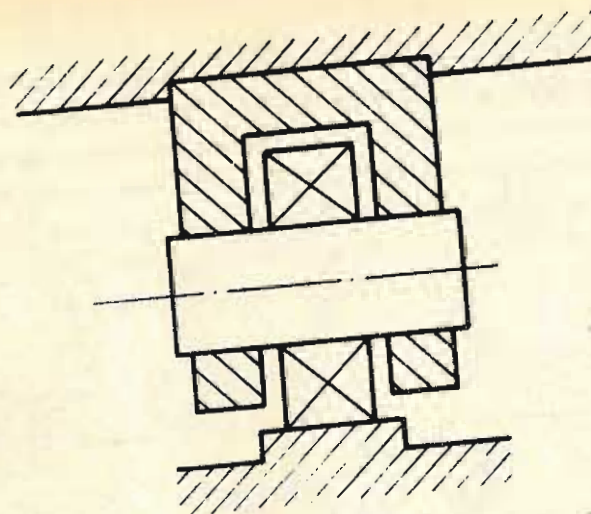
Dvojité valivé vedení je automaticky pojištěné proti otočení. Vodící plochy mohou být válcové, nebo vodící dráhy mohou být tvořeny prízmem či žlábkem a rovinou. Princip otevřeného dvojitého vedení je na obr. 7.74.



Obr. 7.75



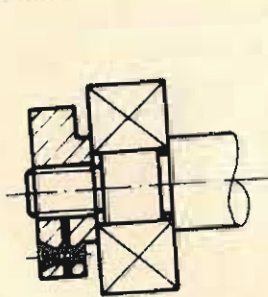
Obr. 7.76



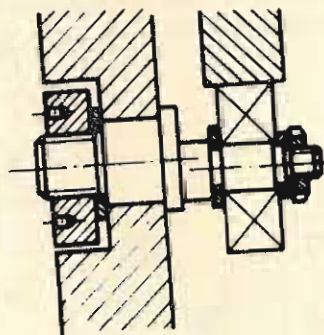
Obr. 7.77

Uzavřené vedení lze provést pomocí čtyř kladiček, z toho buď dvou profilovaných a dvou hladkých (obr. 7.75a) nebo jedné profilované a tří hladkých (obr. 7.75b). Uzavření vedení můžeme uskutečnit také příložkou, nastavenou s určitou vůlí k nepohyblivé části (obr. 7.76). Vytvoření dvojitého vedení z jednoduchého vedení prizmatického nebo žlábkového provedeme připojením druhé vodící dráhy rovinné a kladičky (obr. 7.77) uchycené v saních. Rovinná dráha zaručí, že se saně nevzpříčí vlivem nerovnoběžnosti drah.

Výhodu malého valivého tření ve styku kladičky s vlastním vedením zhoršuje poněkud tvarování kladiček a způsob uložení kladek na osách. U kladiček v provedení a, b, c, f (obr. 7.60) dochází ke zvýšenému tření v důsledku jejich rozdílných obvodových rychlostí ve stykové ploše vodící dráhy. Rozdíly rychlostí vyvolávají prokluzu. Aby se odstranilo tření mezi kladičkou a osou, doporučuje se, pokud je to účelné a žádoucí, uložit kladičky na radiální valivá ložiska. Pro přesné vedení je výhodné nahradit kladičky přímo přesnými (vybranými) radiálními ložisky. (Radiálního valivého ložiska jako kladičky je možno použít i pro méně přesné vedení). Kladičky či radiální ložiska ukládáme na osy, které jsou uchyceny buď letmo nebo ve dvou podporách v rámu saní či vedení (obr. 7.78). Při správné konstrukci všechny kladičky mají doléhat na vodící dráhu. Tento požadavek je zvláště důležitý respektovat při užití více kladiček na společném rámu a kdy z výrobních důvodů nemůžeme dodržet jejich naprosto stejné rozměry a polohy děr pro osy v jedné rovině. V těchto případech je vhodné umístit kladičky na excentrické osy (obr. 7.79), které dávají možnost přesného nastavení kladiček při montáži. Existují i jiné varianty řešení pro dodatečné nastavení polohy, jako např. uložení os do kuličky, která se může pohybovat kolmo na směr dráhy vedení. Po nastavení kuličky se provede její zajištění kolíkem, šroubem a pod.



Obr. 7.78



Obr. 7.79

Na přesnost vedení, ztráty třením a opotřebení hraje velkou roli jakost a tvrdost povrchu vodících drah i kladiček. Čím přesnější má být vedení, lehčí chod a

trvanlivost, tím má být povrchová vrstva tvrdší. Z toho vyplývá, že pro přesné vedení mají být použity jak pro kladičky, tak i pro dráhy kalitelné oceli uhlíkaté nebo legované.

Kuličkové resp. válečkové vedení dostaneme záměnou kladiček kuličkami popř. válečky, které jsou vloženy mezi oběžné dráhy vytvořené jak v nepohyblivé, tak i v pohyblivé součásti vedení. Uvedená vedení mohou být konstruována jako otevřená (obr. 7.80), tak i uzavřená (obr. 7.81).

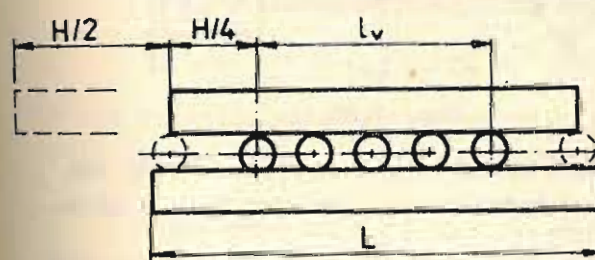


Obr. 7.80

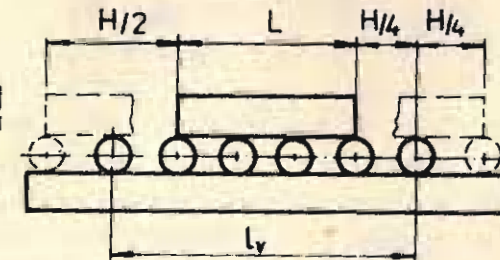


Obr. 7.81

Vložené kuličky či válečky do oběžných drah vykonávají dvojí pohyb, a to rotaci kolem vlastní osy a pohyb unášivý. Tak možno dodržet podmínku čistého valení. Tato podmínka však omezuje pohyb vedení. Valivé vedení můžeme rozdělit na vedení s krátkým zdvihem a na vedení s neomezeným zdvihem. Vedení s omezenými zdvihy mohou mít dvě varianty řešení. Vedení pro krátké zdvihy má valivá tělíska umístěna



Obr. 7.82



Obr. 7.83

stále mezi pohyblivou a nepohyblivou částí. Valivé dráhy jak nepohyblivé, tak i pohyblivé části jsou stejné. Potřebná délka klece s kuličkami se určí ze vztahu

$$l_v = L - \frac{H}{2}$$

Tento vztah zaručí, že po vysunutí pohyblivé části na vzdálenost $H/2$ se dostanou valivé elementy na okraj nepohyblivé části. Dráha valivých tělísek při odvalování se rovná totiž polovině zdvihového pohybu. Toto vedení není schopné přenášet klopné momenty vznikající silou, působící na koncích saní.

Vedení pro velké zdvihy - dráhy (obr. 7.83) musí mít valivá tělíska rozmístěna na délce

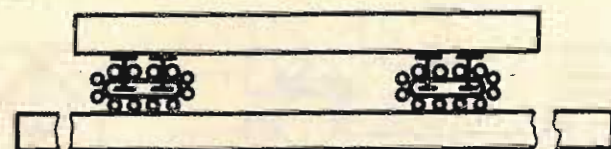
$$l_v = L + H/2$$

kde L je délka pohyblivé části a H je celkový zdvih. Délka dráhy u nepohyblivé části

$$L_c = L + H$$

Pro zajištění stejné rozteče jsou valivá tělíska obvykle vedena v kleci. Tím se omezí nepřesnost chodu způsobená vybíháním a vbíháním saní z mezery do mezery mezi valivými drahami. Přesnost pohybu může být ovlivněna změnou pasivních odporů valivých tělísek při přechodu pohyblivé části z oblasti nezátížené do zatížené oblasti na nepohyblivé části.

Pro neomezené zdvihy je vhodné použít recirkulace kuliček či válečků, z oblasti zatížené do nezátížené, jak to ukazuje obr. 7.84. Aby valivá tělíska a tím pohyblivá část nevyběhla z předepsané dráhy, používá se pro zamezení přeběhu zářezek různých typů.



Obr. 7.84

Kuličkové vedení lze vyrobit s vysokou přesností, protože kuličky se ze strojních součástí dají vyrobit nejpřesněji. Přesnost vedení a plynulost chodu závisí pak hlavně na přesnosti výroby vodících drah a na dodržení uchylek rovnoběžnosti a přímosti. Mimo to zde působí ještě vlivy nabíhání a vybíhání kuliček z oblasti zatížené do nezátížené a naopak. Z uvedených důvodů, konstrukce vedení, znázorněné na obr. 7.80 resp. 7.81 a 7.85 s prizmatickými drážkami, mohou vykazovat ztížený chod, hlavně v důsledku nedodržení



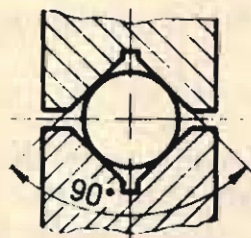
Obr. 7.85



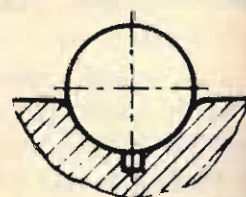
Obr. 7.86

rovnoběžnosti vodících drah. Tento nedostatek odstraňuje konstrukce (obr. 7.86), kde je dána možnost příčného posuvu kuliček pro vyrovnávání nerovnoběžnosti drah v prizmatické drážce.

Prizmatické (stříškové) oběhové drážky mívají úhel rozšíření 90° (obr. 7.87). Výrobně jsou jednoduché, dají se přesně vyrobit, ale vykazují menší trvanlivost, vzhledem k bodovému styku kuliček. Větší trvanlivost vykazuje drážka tvořená kruhovými oblouky (obr. 7.88). Klec pro kuličky je tvořena ze dvou těsně spojených pásek s kuželovými děrami nasměrovanými proti sobě (obr. 7.89).



Obr. 7.87



Obr. 7.88

Ve styku kuliček s oběhovými drážkami dochází i při malých zatíženích k vysokým tlakům. Proto je pro dlouhou životnost nutná vysoká povrchová tvrdost stykových ploch.

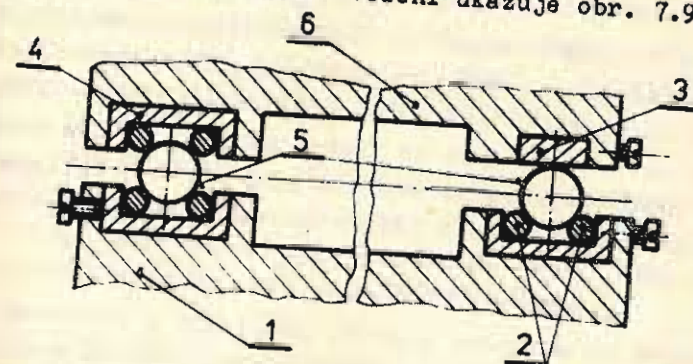


Obr. 7.89

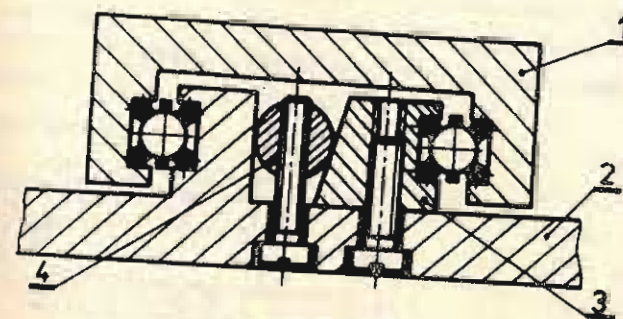
Pro kuličky i oběhové drážky se volí legované kalitelné oceli nebo tvrdé legované litiny. Pro výpočet dotykových tlaků a deformací se užívá Hertzových vztahů.

Protože výroba pohyblivých a nepohyblivých částí z legovaných povrchově kalitelných materiálů, zvláště při větších rozměrech vedení, je po stránce ekonomické

nákladná, vyrábějí se tyto z běžných materiálů a vodící dráhy se provedou pomocí vložek či drátů z kvalitních materiálů. Tyto se vsadí do základních částí. Konstrukční provedení drátového vedení ukazuje obr. 7.90. Nosné kuličky 2 jsou vedeny přesně do kulata vybroušenými dráty 3 a ocelovým pásem 4. Vodící dráty jsou vloženy do přesně vybroušených pouzder 1, zachycených v příslušných drážkách nosného 1 a pohyblivého tělesa 6. Vyrovnání nerovnoběžnosti drah 4 se provede na ploché dráze 3.



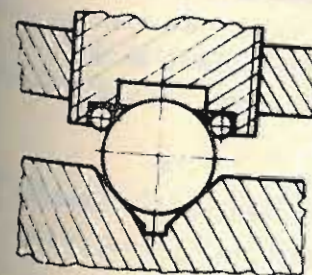
Obr. 7.90



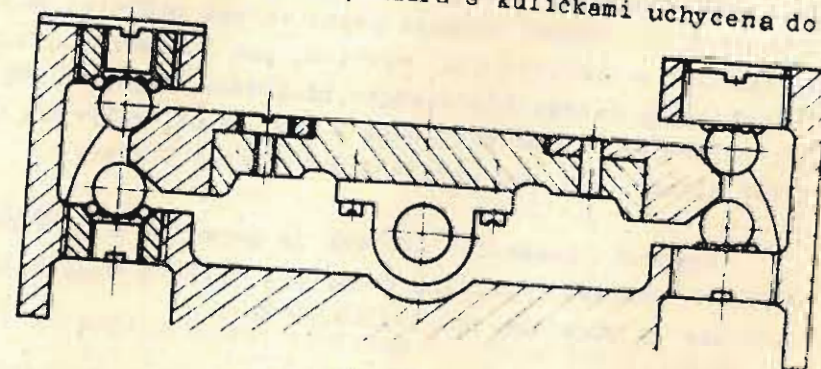
Obr. 7.91

a tím vymezuje vůle. Po nastavení vůle se kulisa zajistí šroubem. Na vymezení boční vůle je pamatováno v konstrukci na obr. 7.81.

Konstrukci valivých kuličkových vedení pro velkou dráhu pohybu resp. pro neomezenou dráhu pohybu, lze v podstatě řešit dvojím způsobem. První způsob řešení spočívá v tom, že pohyblivá část se pohybuje po kuličkách, jejichž poloha je neměnná vzhledem k nepohyblivé resp. pohyblivé části. Kuličky v tomto případě nevykonávají unášivý pohyb, ale pouze rotují v místě uchycení. Stálá poloha kuliček je zajištěna tím, že kuličky se vkládají do pouzdra opatřeného závitem, které se zašroubovává do hlavních těles vedení. Aby se zmenšilo tření kuliček v pouzdře, ukládají se na věnec drobných kuliček, zasazených do pouzdra podle obr. 7.92. Volba počtu kuliček s pouzdry závisí na tom, na které části je umístíme a na zátěžných silách. Pokud se zaměříme na pohyblivou část, je zapotřebí nejméně 3 pouzder s kuličkami, protože tyto určují rovinu saní ve vedení. Když jsou pouzdra s kuličkami uchycena do



Obr. 7.92



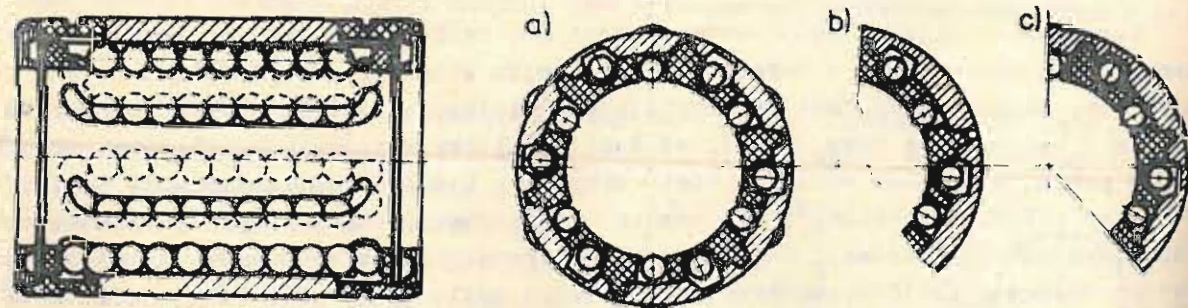
Obr. 7.93

nepohyblivé části, závisí jejich reztež na zátěžné síle a na požadované přesnosti a plynulosti chodu. Konstrukční provedení tohoto druhu vedení ukazuje obr. 7.93.

Druhá varianta řešení přímého valivého vedení spočívá ve využití recirkulace kuliček v uzavřených oběhových drážkách, schematicky znázorněných na obr. 7.94. Kuličky jsou v drážkách uspořádány těsně vedle sebe, rotují a odvalují se po dráze vedení. Po vykonání činného pohybu se vrací zpět do výchozího bodu volným kanálem. Výhodou tohoto vedení, oproti přecházejícím, je zvýšená tuhost proti naklopení ve směru dráhy, zvláště, když jsou tato kuličková hnízda umístěna na koncích pohyblivé části.

S rostoucím požadavkem na zvýšenou přesnost strojů, přístrojů a současně i s nárůstem potřeby přímých vedení, vznikl i požadavek na zavedení sériově vyráběných kuličkových hnízd. Výroby těchto hnízd se ujaly závody pro výrobu valivých ložisek, které navrhly a ověřily vhodný tvar oběhových drážek pro kuličky. Těmto ložiskovým hnízdům pro přímé vedení budeme říkat lineární kuličková ložiska na rozdíl od radiálních či axiálních ložisek, určených pro otáčivý pohyb.

Základní tvary lineárních ložisek tak, jak je vyrábí SKF, jsou uvedeny na obr. 7.95. Lineární ložiska se vyrábějí ve třech variantách, a to jako uzavřená (a), s podélnou spárou (b) a jako otevřená (c). Uzavřený typ lineárního ložiska vkládáme do příslušné díry v pohyblivé části vedení. Typ s podélnou spárou dává možnost regulovat vůli. Otevřeného typu používáme pro uložení pohyblivé části na válcovou nepohyblivou



Obr. 7.95

část, podepřenou na více podporách nebo zachycenou v celé délce. V předcházejících případech je vlastní válcové pevné vedení uchyceno na dvou podporách. Není-li možné opatřit pohyblivou část vývrtem, pak lineární ložisko se vkládá do samostatného ložiskového tělesa, které se na ni přišroubuje. Lineární ložiska mají menší průměry; tolerance a uložení shodné s radiálními valivými ložisky a pro ukládání platí tytéž zásady jako pro ukládání radiálních ložisek.

Výpočet lineárních ložisek je normován a je v podstatě analogický výpočtu valivých ložisek. Základní pojmy pro výpočet mají totéž názvosloví, ale jejich definice je upravena pro jejich funkci.

Volba rozměrů lineárního ložiska a typu vychází z únosnosti ložiska, ze se-

těžné síly a z požadované trvanlivosti a z konstrukčního řešení vedení.

Základní dynamická únosnost C lineárního ložiska je čistě radiální zatížení v N , které ložisko vydrží 10^6 vratných pohybů na dráze 50 mm do příznaků meze únavy za předpokladu, že zatížení je konstantní co do velikosti a směru a že vektor působení prochází řadou kuliček.

Základní statická únosnost C_0 je zatížení v N , při kterém celková deformace kuliček a dráh jejich vedení nepřekročí hodnotu 10^{-4} průměru kuličky. Musí být uvažována v těch případech, kde vedení nekonečně žádný pohyb a je staticky nebo impulsně namáháno zatížením krátkého trvání.

Trvanlivost lineárního ložiska je dána dráhou, kterou lineární ložisko vykoná před vznikem pittingu na kuličce nebo na vodících drahách.

Početní trvanlivost je trvanlivost při stanovených podmínkách, kterou překročí alespoň 90 % všech zkoumaných lineárních kuličkových ložisek reprezentativního výběru stejného provedení.

Trvanlivostní rovnice má tvar

$$L = \frac{50}{s} f_1^3 \left(\frac{C}{F_{ekv}} \right)^3 \text{ resp. } L_s = f_1^3 \left(\frac{C}{F_{ekv}} \right)^3 \quad (11)$$

kde L je výpočtová trvanlivost v milionech vratných pohybů
 L_s je výpočtová trvanlivost v 10^5 metrech [m]
 C je základní dynamická únosnost [N] (udává výrobce)
 F_{ekv} je ekvivalentní zatížení lineárního ložiska [N]
 f_1 je součinitel tvrdosti povrchu vodících drah
 s je délka dráhy pohybu [m].

V případě, že frekvence vratných pohybů n je konstantní, lze proto vypočítat trvanlivost v hodinách ze vztahu:

$$L_h = \frac{50\,000\,000}{s \cdot n \cdot 60} f_1^3 \left(\frac{C}{F_{ekv}} \right)^3 [\text{hod.}] \quad (12)$$

kde n je frekvence pohybů v min^{-1} .

Ekvivalentní zatížení je konstantní zatížení, co do velikosti a směru vyjádřené vztahem

$$F_{ekv} = f_2 F$$

kde F_{ekv} je ekvivalentní zatížení [N]
 F je vnější skutečné zatížení [N]
 f_2 je posílní součinitel vektoru zatížení vzhledem k poloze řad kuliček.

(13)

Výpočtová statická únosnost se určí ze vztahu

$$C_{ov} = f_1 f_{20} F \leq C_0 \quad (14)$$

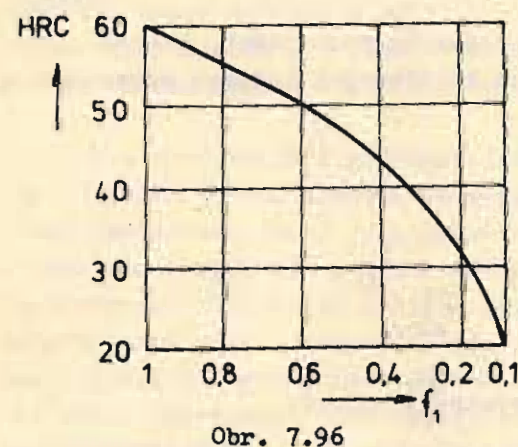
kde C_{ov} je výpočtová statická únosnost [N]

F je maximální statické zatížení [N]

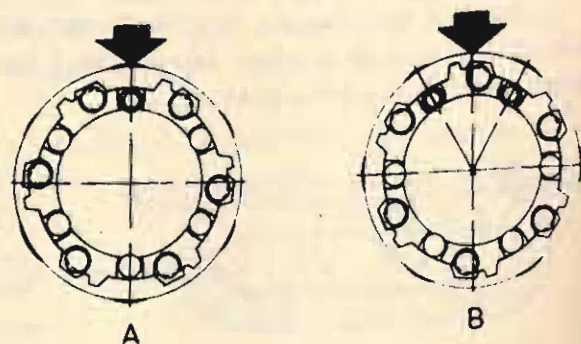
f_1 je součinitel tvrdosti pro vodící dráhu

f_{20} je posícní součinitel vektoru zatížení pro statickou únosnost.

Součinitel tvrdosti povrchu f_1 má hodnotu 1 pro tvrdost válcového vedení odpovídající hodnotě 60 HRC. Se snižováním tvrdosti má f_1 klesající charakter podle diagramu na obr. 7.96. Posícní součinitel f_2 se řídí podle polohy zátěžné síly vzhledem k poloze řad kuliček. Síla může zaujmout dvě polohy znázorněné na obr. 7.97.



Obr. 7.96



Obr. 7.97

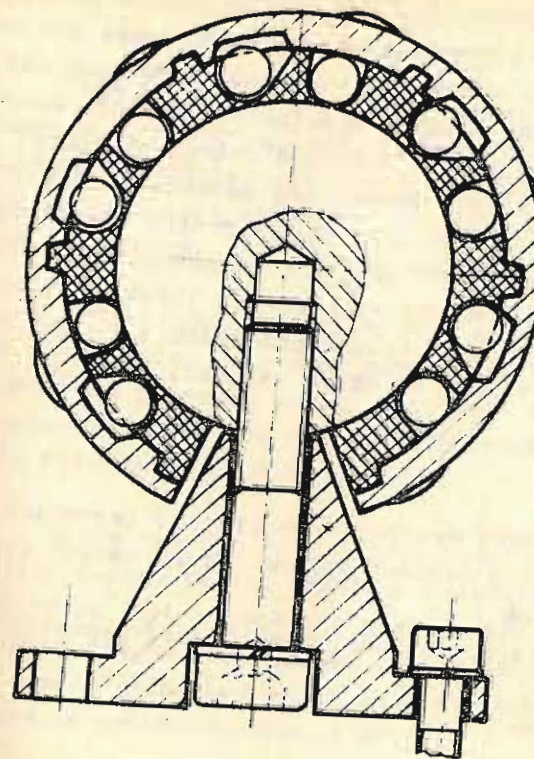
V základní poloze A působí síla na řadu kuliček, která je v přímém styku s válcovým vedením. V tomto případě má $f_2 = f_{20}$ hodnotu 1. V poloze síly B se hodnoty součinitelů f_2 a f_{20} mění v závislosti na vnitřním, tj. určujícím průměru lineárního ložiska.

Při konkrétním výpočtu lineárních kuličkových ložisek se doporučuje opírat se o údaje výrobce, který v katalogu uvádí nejen základní geometrické rozměry, ale i příslušné hodnoty C a C_0 , součinitele f_1 , f_{10} , f_2 , f_{20} .

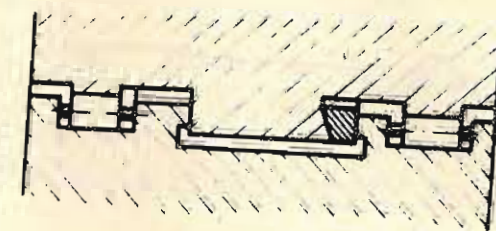
Vodící kruhová tyč má uložení h6 a h7. Uložení díry pro uchycení vnějšího průměru lineárního ložiska bývá H6, JS 6, K 6, M 6, H 7, JS 7, K 7, M 7, a to podle vnější zátěžné síly a provozních podmínek. Vložená vodící tyč musí mít dodrženy tolerance tvaru: pro přímost 0,1/1000, tolerance kruhovitosti a válcovitosti se řídí průměrem a uvádí jej výrobce v katalogu.

Protože lineární ložiska mohou dovolit mimo posuvný pohyb i pohyb rotační, užívá se vedení dvojitého, které zachytí klopný moment kolmo na směr pohybu. Aby nedošlo k jednostrannému přetížení ložiska vlivem průhybu vodící tyče, musí být tato poměrně velmi tuhá. Velkou tuhost docílíme podepřením vedení na více podpěrách, která však vyžaduje otevřený typ ložiska. Konstruktivní řešení s otevřeným lineárním ložiskem ukazuje obr. 7.98.

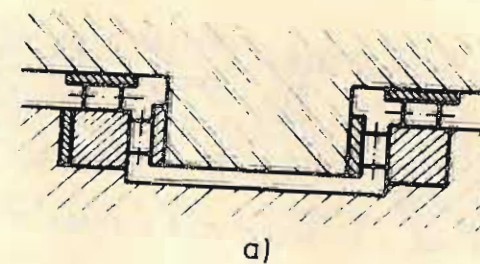
Pro velké zatížení se místo kuliček jako valivých elementů používá jehel nebo válečků, které se vkládají mezi rovinné plochy pohyblivé či nepohyblivé části valivého vedení. Válečky a jehly mají přímkový styk a tudíž větší únosnost. Valivý



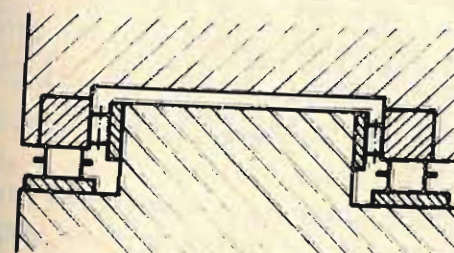
Obr. 7.98



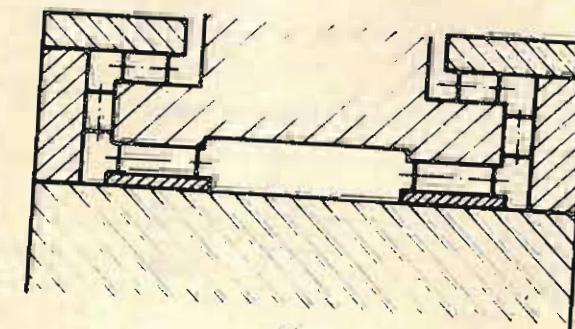
Obr. 7.99



a)



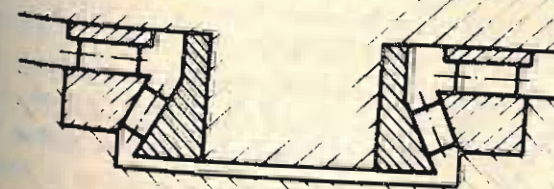
c)



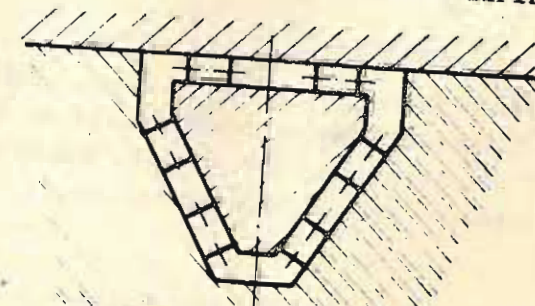
b)

Obr. 7.100

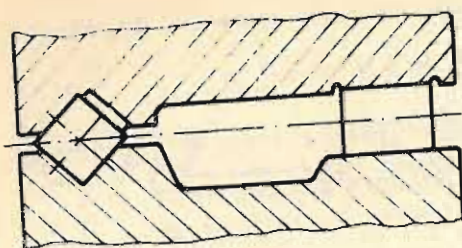
vedení s válečky či jehlami může mít různé konstrukční uspořádání. Vedení může být např. ploché s jehlami (obr. 7.99), pravouhlé s válečky, provedené jako otevřené či uzavřené (obr. 7.100), vedení se skloněnými valivými drahami (obr. 7.101), trojúhelníkové (obr. 7.102) či vedení s křížově uspořádanými válečky, které běží v prizmatické dráze, a s opornou plochou drahou (obr. 7.103). Válečky či jehly mohou být opatřeny klecemi nebo mohou běžet těsně vedle sebe, jak je tomu u zkřížených válečků.



Obr. 7.101



Obr. 7.102



Obr. 7.103

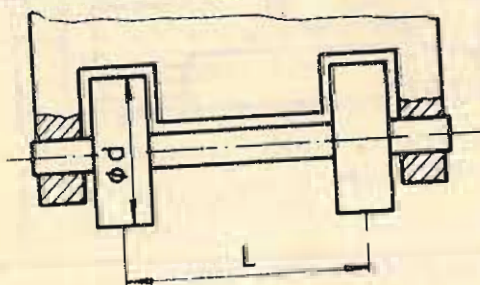
v přechodu válečků ze zatížené oblasti do kanálku s volným průchodem tak, jak to ukazuje obr. 7.94, s tím rozdílem, že místo kuliček se užívá válečků.

7.3. PŘÍMÁ VEDENÍ PŘÍBLIŽNÁ

Přímá vedení přibližná jsou taková, která vykazují odchylky od teoretické přímé dráhy, po níž chceme, aby byla pohyblivá součást vedena. Přímá vedení přibližná můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na :

- vedení po teoretické stránce správná, ale s nedokonalou realizací mechanického principu
- vedení i po teoretické stránce přibližná.

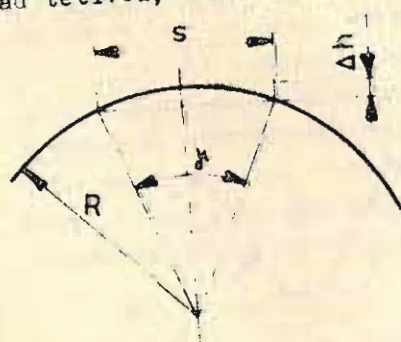
K první skupině vedení počítáme např. vedení dvěma koly, na obvodě hladkými nebo rýhovanými, spojenými mezi sebou nápravkou (obr. 7.104). Za teoretického předpokladu stejného průměru kol, bude se toto soukolí pohybovat po přímce. Budou-li mít však kola z výrobních důvodů odlišný průměr, a to i v mezích tolerancí, soukolí se již nebude pohybovat po přímce, ale bude opisovat oblouk o poloměru



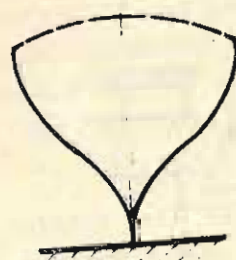
Obr. 7.104

Jak je patrné z výše uvedeného vztahu, je poloměr oblouku přímo úměrný průměru a rozchodu kol a nepřímo úměrný rozdílu průměrů.

O použitelnosti tohoto vedení v přesné mechanice pak rozhoduje dovolená odchylka od přímosti na daném úseku dráhy. Velikost odchylky je dána výškou oblouku nad těživou, která představuje přímou teoretickou dráhu na úseku s (obr. 7.105).



Obr. 7.105



$$\Delta h = R \left(1 - \cos \frac{\gamma}{2} \right) \quad (7.16)$$

$$s = 2 R \sin \frac{\gamma}{2} \approx R \cdot \gamma$$

Protože úhel γ bývá relativně malý, lze položit $\sin \frac{\gamma}{2} \approx \frac{\gamma}{2}$ a $\cos \frac{\gamma}{2} \approx 1$ nahradit prvními dvěma členy rozvoje kosinu v řadu:

$$\Delta h \approx R \left[1 - 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\gamma}{2} \right)^2 \right] \approx R \cdot \frac{\gamma^2}{8} = \frac{s^2}{8R} \quad (7.17)$$

Tak např. při středním průměru $d = 60$ mm, rozdílu průměrů $\Delta d = 0,05$ mm a rozchodu $L = 400$ mm, bude poloměr oblouku $R = 480$ m a odchylka vedení od přímosti $0,65$ mm na vzdálenosti $s = 0,5$ m. Zda tato odchylka bude přijatelná, závisí na tom, k čemu toto vedení má sloužit. Např. u lineárního planimetru je tato odchylka přijatelná.

Přibližným vedením se může stát i normální přímé vedení jednoduché i dvojitě, pokud budou vůle mezi pohyblivou a nepohyblivou částí větší, než předepisuje požadovaná přesnost vedení nebo není dodržena povolená úchylka od přímosti a rovnoběžnosti drah. Při dodržení předepsaných tolerancí a úchylek může nepřesnost dále vzniknout opotřebením.

Druhá skupina přibližných vedení je převážně tvořena pákovými mechanismy. Většina těchto vedení zaručuje požadovanou přesnost pouze na určité délce dráhy. Používá se jich hlavně pro převod otáčivého pohybu na přímý posuvný pohyb nebo ke zvětšení malého přímočarého pohybu na větší. Převod se dá uskutečnit tímto způsobem : malý přímočarý pohyb se převede na otáčivý pohyb páky a tento zpětně na přímočarý se zvětšenou dráhou pohybu.

Převod rotačního pohybu na přímočarý pomocí pákovcového mechanismu je v pravoúhlém souřadnicovém systému popsán rovnicemi vyšších řádů a v polárních souřadnicích pak rovnicemi transcendentními. Z těchto důvodů se vyvozený pohyb přímočarý pouze přibližuje k teoretické přímce na předem zvolené dráze. Další odchylky mohou vyvolat nepřesnosti uložení pák v kloubech. Pro realizace přímých přibližných vedení, zvaných také p ř í m o v o d y , se používá nejčastěji těch křivek, u nichž odchylka tečny resp. sečny od daného průběhu křivky je v použitém úseku dráhy malá a odpovídá požadované přesnosti vedení. Z uvedeného plyne, že průběh zvolené křivky v uvažovaném úseku vedení musí být plochý.

Pro vyvození malých přímočarých pohybů postačí jednoduchou pákou realizovanou plochou pružinou (obr. 7.105). Při požadavku přímého vedení na dráze 5 mm s přesností $\Delta h = 0,01$ mm bude délka ploché pružiny, u níž se využívá průhybu, rovná poloměru

$$R \approx \frac{s^2}{8\Delta h} = \frac{25}{8 \cdot 0,01} = 312,5 \text{ mm.}$$

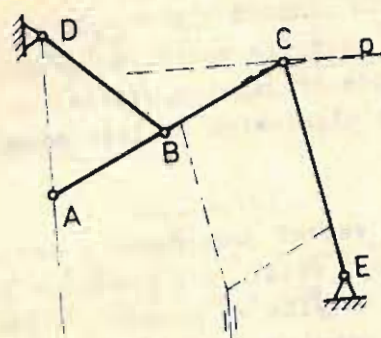
Připustíme-li i chybu opačného znaménka, délka dráhy se prodlouží na

$$s = \sqrt{8 \cdot R \cdot 2 \Delta h} = \sqrt{50} = 7,1 \text{ mm.}$$

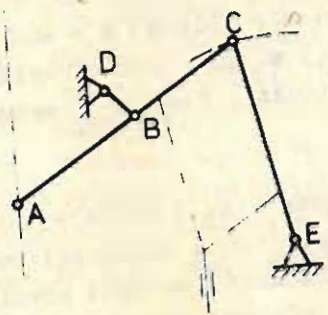
Má-li být délka dráhy při požadované přesnosti větší, jsou pákové mechanismy - přímovody, komplikovanější. Tyto přímovody se často aplikují u mechanických měřicích přístrojů, kde se žádá buď lineární zápis nebo pohyb ukazatele podél lineární stupnice se současným zvětšením pohybu buď přímočarého nebo rotačního pohybu. Přímovody jsou např. vybaveny mechanické indikátory. Převod bývá v poměru $3 : 1$ až $10 : 1$.

Páková přibližná vedení mají mnoho variant řešení. Nejužívanější pákový přímovod představuje např. eliptický přímovod, který je schematicky znázorněn na obr.

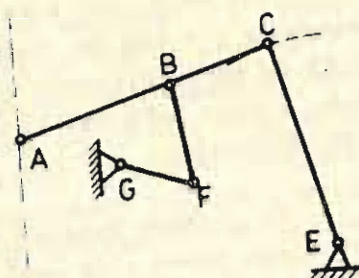
7.106. Při dodržení délek $\overline{AB} = \overline{BC} = \overline{DE}$ a při vedení bodu C po přímce p vykonává bod A pohyb přesně po přímce AD.



Obr. 7.106

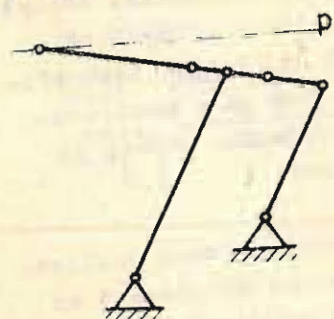


Obr. 7.107

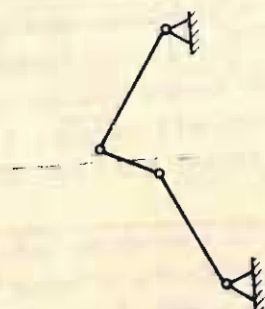


Obr. 7.108

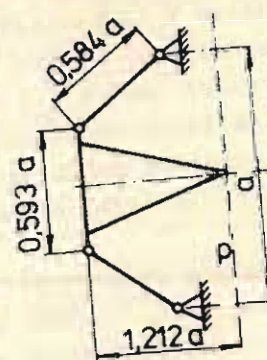
Z konstrukčních a z realizačních důvodů se pohyb bodu C převádí na pohyb po ploché kružnici se středem v bodě E, tedy s poloměrem EC. Není-li možné kloub D umístit na dráhu přímočarého pohybu, poněvadž by kloub mohl překážet, pak se užívá zkráceného přímovodu (obr. 7.107), u něhož bod B nepůlí již vzdálenost AC. Délka ramen AB, BC, DB se musí určit zvlášť, a to podle požadované přesnosti. Velikost odchylky je závislá u těchto přímovodů na délce ramen EC. Chceme-li zvětšit přímočarý pohyb, připojujeme k základnímu mechanismu paralelogram, naznačený čárkově (Tyto přímovody se nazývají Evansovými, který jich poprvé užil). Dalším typem přímovodu je přímovod paralelogramový (Thompsonův) znázorněný na obr. 7.108. Kloubové uchycení páky AC se provede pomocí rovnoběžné páky BF a ramenem GF, jehož délka se určí zkusmo.



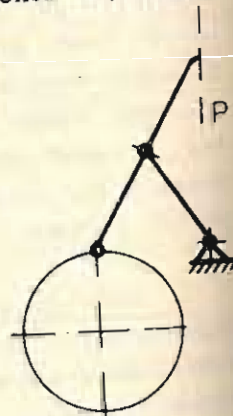
Obr. 7.109



Obr. 7.110



Obr. 7.111



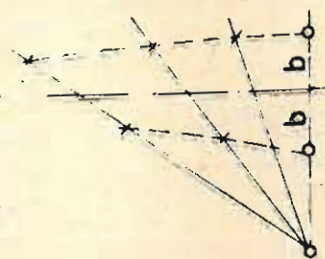
Obr. 7.112

Jednodušší, ale méně přesné vedení znázorňuje obr. 7.109. Přibližné vedení lemniskátového typu (obr. 7.110) využívá té vlastnosti lemniskáty, že tečna v počátku souřadnicového systému svírá s osami pravouhlého systému úhel 45° a vykazuje těsnou přiléhavost ke křivce na poměrně dlouhém úseku. Dalším čistě kloubovým přibližným vedením, vykazující dobrou přesnost vzhledem k pohybu po přímce p, je i s poměrnými hodnotami znázorněn na obr. 7.111. Přibližným přímočarým vedením je i drapákový podávací mechanismus (obr. 7.112), který vykonává přímočarý pohyb jen v určitém úseku křivky výsledného pohybu, opísaného koncovým bodem drapáku.

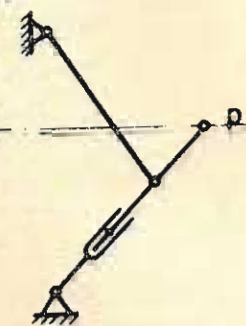
Z čistě pákových kloubových přibližných vedení se vymyká přibližné vedení, založené na využití vlastností konchoidy. Konchoidu (obr. 7.113) vytvoří bod na otáčivém rameni, který má konstantní vzdálenost b od přímky, vedené v dané vzdále-

nosti od pólu otáčivého pohybu. Realizaci tohoto přibližného vedení ukazuje obr. 7.114, z něhož je patrné, že je nutné mimo kloubového uchycení pák, ještě u natáčivého ramene zavést kluzné vedení, aby se mohla jeho délka měnit.

Analytický výpočet těchto vedení je pro návrh značně náročný. Rychleji vede k cíli řešení geometrické nebo řešení modelové. Model lze snadno realizovat pomocí pásků z průhledného materiálu, které sestavíme do vzájemné konfigurace a bod, jehož pohyb nás zajímá opatříme písátkem (např. hrotem tuhy). V případě, že navrhované poměry nedávají potřebnou přesnost, měníme číselné poměry délek ramen tak dlouho, až bude vedení vyhovovat. Známe-li nyní číselné poměry, pak si můžeme přesnost ověřit i analyticky.



Obr. 7.113



Obr. 7.114

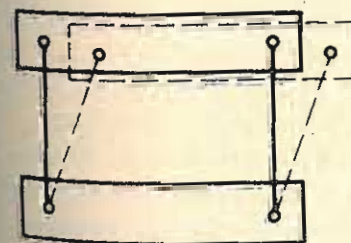
Uvedená přibližná vedení vykazují při rovnoměrném pohybu základního členu, nerovnoměrnost pohybu ostatních členů mechanismu a tím i setrvačné síly. Setrvačné síly mohou do zápisu zanášet další chybu v důsledku nedostatečné tuhosti jednotlivých členů mechanismu.

Zjištění velikosti setrvačných sil, pokud je nutné, se obvykle provádí grafickoanalyticky. Pro zmírnění nerovnoměrnosti chodu, jako např. u drapákového mechanismu, se zavádí do obvodu náhonu setrvačník, jehož hmotnost se určí na základě energetických a silových poměrů a požadované nerovnoměrnosti chodu.

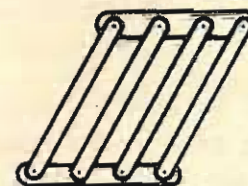
7.4. PARALELNÍ VEDENÍ

Paralelní vedení má za úkol vytvořit takové podmínky pro pohyb vedené součásti, aby tato konala translační pohyb ve směru daném vedením. U přímých paralelních vedení se jedná o vyvození pohybu ve směru rovnoběžném s přímoúhrou, určenou nepohyblivou částí, při čemž se nemusí žádat ani zvětšení ani zmenšení dráhy pohybu.

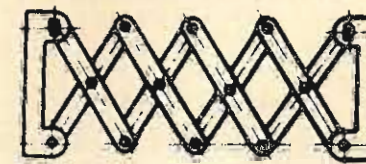
Jedním z nejjednodušších paralelních vedení je kloubový rovnoběžník (paralelogram), který se skládá ze dvou rovnoběžných pravítek spojených mezi sebou pákami stejných délek (obr. 7.115).



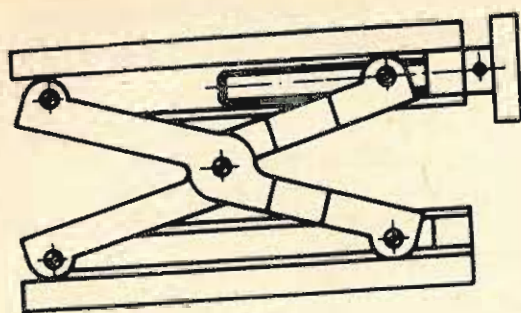
Obr. 7.115



Obr. 7.116



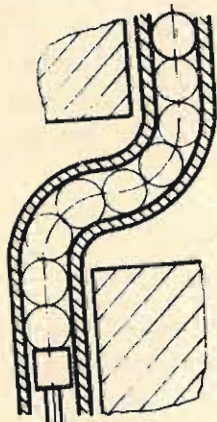
Obr. 7.117



Obr. 7.118

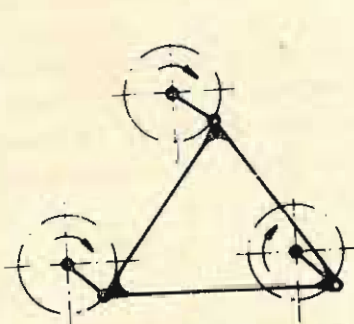
Na obdobném principu je zkonstruována i mřížka (obr. 7.116) sloužící k rozdělení uzavřené křivky na úseky stejné šířky při zjišťování její plochy podle obdélníkového, lichoběžníkového či Simpsonova pravidla. Posuv ve směru vodorovném či svislém lze docílit pomocí pantografu, složeného buď z jednoho či více párů zkřížených pák, kloubově spojených mezi sebou a se základnou. Konstrukční řešení ní tohoto způsobu vyvození paralelního pohybu ukazují obr. 7.117, kterému se říká "norimberské nůžky" a obr. 7.118, který se užívá v optických zařízeních pro přesné nastavování výškové polohy optických součástí (čoček, odrazových zrcátek či hranolů). Na rozdíl od norimberských nůžek, kde složený paralelogram je tvořen v podstatě pákami ležícími v jedné rovině, musí být pro zvedací stolek použito prostorové konstrukce.

Je-li třeba docílit paralelního pohybu ve dvou konstantních úrovních, můžeme přenos pohybu provést pomocí kuliček vedených v ohnuté trubce s patričnými poloměry podle obr. 7.119. Délka trubkového vedení v přímočaré části závisí na požadované délce pohybu.

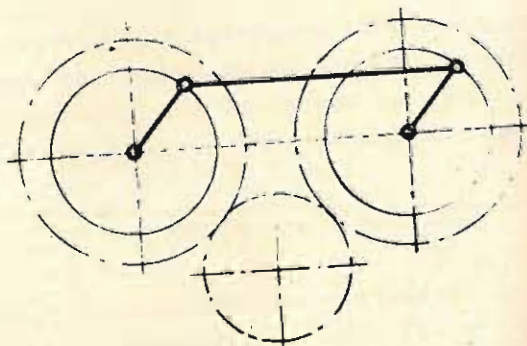


Obr. 7.119

Paralelní vedení s vratným pohybem a s konstantní frekvencí změn poloh v daných úrovních je znázorněno na obr. 7.120. Je tvořeno trojúhelníkovým nosičem, který nese ložiska nebo čepy pro otočné uložení rotujících pák. Správná funkce vyžaduje stejné rozměry pák. Další variantu konstrukčního řešení ukazuje obr. 7.121. Nosič je opatřen ložisky nebo čepy, které zapadají do příslušných dílců na rotujících kotoučích. Stejnou frekvenci otáčení kotoučů zaručuje naznačené ozubené soukolí.



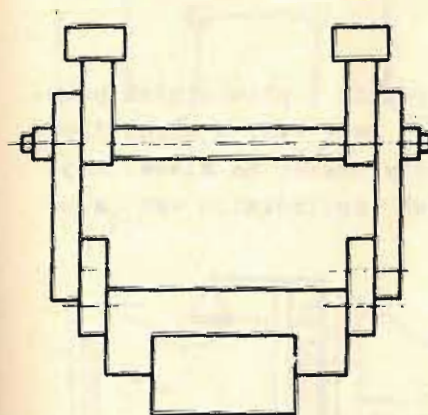
Obr. 7.120



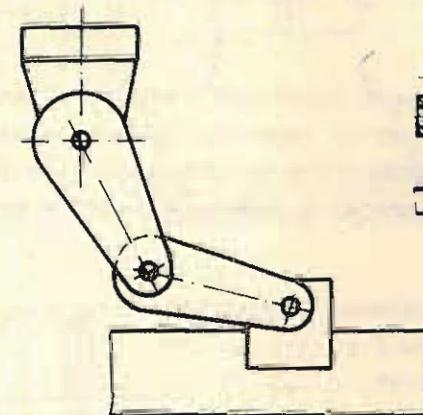
Obr. 7.121

Paralelního vedení se užívá i ve spojení s přímými vedeními, u nichž by vzhledem k malé délce a velké šířce saní mohlo snadno dojít ke vzpříčení. Vzpříčení zabránuje buď pákový mechanismus (obr. 7.122), který koná kývavý pohyb kolem pevné osy nebo se pohyb úzkých saní provede pomocí pastorku a ozubeného hřebenu (obr. 7.123). Aby se docílilo plynulého pohybu, používá se šikmého ozubení. Analogického řešení se používá pro posuv suportu u obráběcích strojů.

Pro vyvození posuvného paralelního pohybu s cílem obsáhnout větší rovinnou plochu se používá komplikovanějších mechanismů.

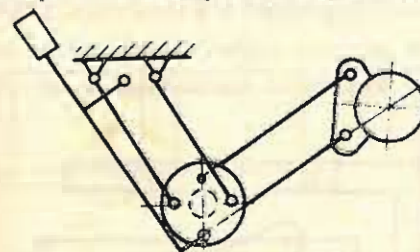


Obr. 7.122

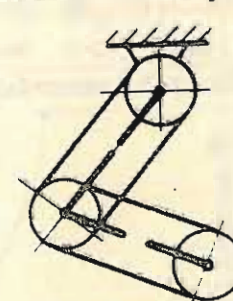


Obr. 7.123

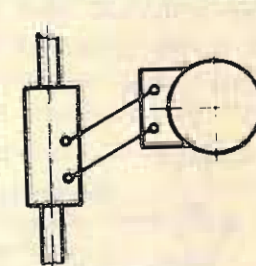
Takovými mechanismy jsou např. mechanismy rýsovacích stolů. Běžné jsou mechanismy tvořené dvěma rovnoběžníky, z nichž jeden je kloubově uložen na pevný nosič a druhý pak na rýsovací hlavě. Vzájemné kloubové spojení obou rovnoběžníků je provedeno přes křížový kus (obr. 7.124). Přesnost pohybu závisí na dodržení stejných



Obr. 7.124



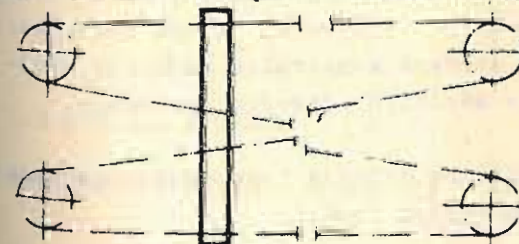
Obr. 7.125



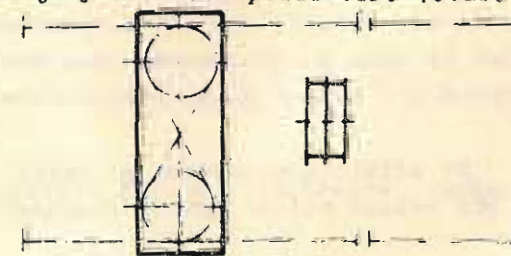
Obr. 7.126

délek jednotlivých ramen rovnoběžníku a vymezení vůle v kloubech. Klouby jsou tvořeny přesnými ložisky, uloženými na excentrických čepech, aby byla možná regulace délek ramen. Rovnoběžníky lze nahradit ohebnými pásy obepínající kladivky. Napínání pásek se děje prodlužováním rozpěrných tyčí rektifikačními maticemi (obr. 7.125). Provedení paralelního vedení podle obr. 7.126 se skládá z přímého vedení podél svislé vodící tyče. Pohyblivá část je opatřena rovnoběžníkem, který zaručuje paralelní posuv v rozsahu určeném délkou pák. Aby se obsáhla celá rovinná plocha, musí být svislá vodící tyč vedena ve vodorovném směru dalším přímým vedením.

Má-li být paralelní vedení použito na relativně dlouhé dráze např. při posuvu páskového ukazatele hodnot podél dlouhé vodorovné stupnice, používá se pro posuv ukazatele zkříženého lankového převodu. Uvedené vedení je založeno na použití buď čtyř kladíček podle obr. 7.127 nebo dvou dvojítych kladek podle obr. 7.128.



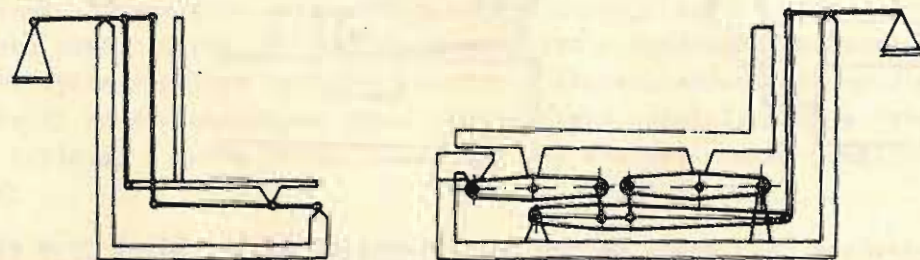
Obr. 7.127



Obr. 7.128

Lanko má být ohebné, ale nepružné. Při větších silách namáhajících převod je možné použít i lanka ocelového. Je možno použít také řetězu s dlouhými články. Přesnost vedení závisí na správném ustavení řetězových kol, aby náběh článků byl u všech kol stejný.

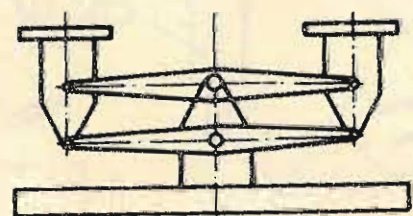
Není-li potřebné přesné paralelní vedení, můžeme použít i přibližných pákových paralelních vedení. Těmito vedeními jsou vybaveny ty typy vah, u nichž dochází k podepření misek zespodu, aby se vyloučil vliv polohy břemen na misce. Nejstarší pákové přibližné paralelní vedení užívané u prvních decimálních vah je na obr. 7.129 (Quintenz).



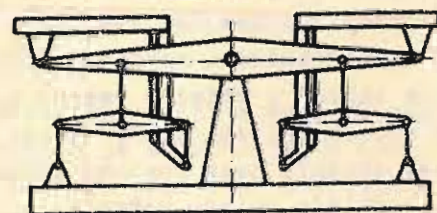
Obr. 7.129

Obr. 7.130

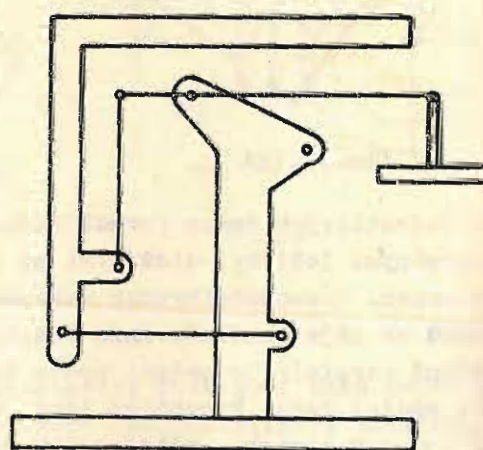
Vyšší přesnost vykazuje řešení pákového mechanismu podle obr. 7.130. Převod páky mezi můstkem a miskou je 1 : 10. V tomto převodu se pohybuje i miska vzhledem k můstku a proto je přesnost vážení dostačující. Méně přesné vedení miskových dvou-ramenných vah je na obr. 7.131. Přesnější provedení vykazuje mechanismus na obr. 7.132.



Obr. 7.131



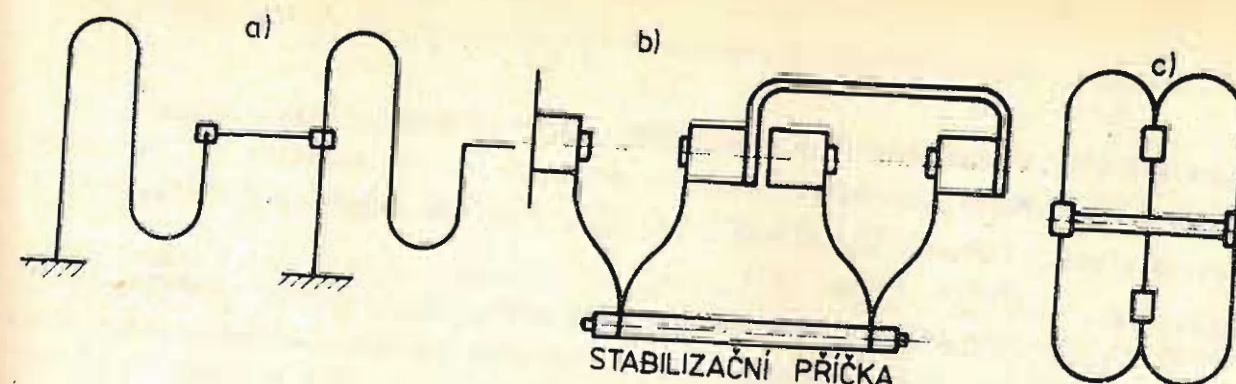
Obr. 7.132



Obr. 7.133

Po uvedení misek do rovnovážného stavu se přidáním závaží malé nepřesnosti vykompenzovávají. Pro výkyvné váhy použití uvedených mechanismů je nevyhovující, protože se jejich údaj změní přesunutím zboží. U těchto vah je výhodnější použít rovnoběžníkového vedení, schematicky znázorněného na obr. 7.133 resp. jejich modifikací. I když se nyní miskových vah přestává používat, uvedené konstrukce mají své opodstatnění při řešení zatěžovacích mechanismů či v měřicích pákových systémech.

Do přibližných vedení na kratší vzdálenosti lze zařadit také pružinová vedení. Pro vedení můžeme použít plochých nebo membránových pružin.



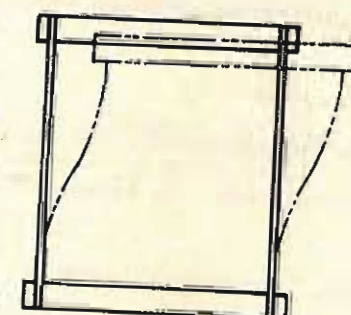
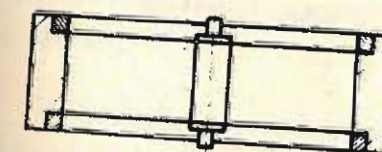
STABILIZAČNÍ PŘÍČKA

Obr. 7.134

Jednoduché vedení s jednou plochou pružinou na jednom konci vetknutou je na obr. 7.105. Je-li třeba dráhu vedení zvětšit, použijeme uspořádání pružin za sebou podle schématu na obr. 7.134 a, b, c. Z obrázku je patrné i tvarování pružin. Pružinu membránovou, užitou pro krátké vedení, ukazuje obr. 7.135. Membrána má vytlačovací charakteristiky. Návrh pružiny pro danou dráhu musí být podložen výpočtem.

Obr. 7.135

Místo membrány s vytlačenými výřezy je možné použít i ploché membrány. Zmenšení tuhosti této membrány a tím i zvětšení dráhy pohybu lze docílit příslušně tvarovanými výřezy. Na obr. 7.136 má znázorněné vedení provedené v membráně tři výřezy ve tvaru půlkruhových drážek. Pro krátké vedení a při požadavku na jeho malé rozměry lze



Obr. 7.137



Obr. 7.136

Vlastní dráha pohyblivé části se blíží parabole. Velikost dráhy je omezena a řídí se požadovanou přesností.

LITERATURA

- Breník, Píč a kol.: Technický průvodce 59, Obráběcí stroje, Konstrukce, výpočty. SNTL, Praha 1982
- Perenczy: Konstrukce přístrojů přesné mechaniky. SNTL, Praha, 1964

- Frölich: Nové směry ve vývoji valivých uložení. Strojírenská výroba, svazek 29, č. 10, 1981
- Hajn: Základy jemné mechaniky a hodinářství. Práce, Praha, 1953
- Hajn: Přehled přesné mechaniky. SNTL, Praha 1969
- Kamarád a kol.: Základní kvalifikační učebnice - přesná mechanika a optika. Práce, Praha, 1974
- Gevondjan, Kiselev: Dětalí mechanizmov točnoj mechaniki. Oborongiz, Moskva, 1953
- Charinskij: Osnovy konstruirovanija elementov radioaparatury. Gosenergoizdat, 1959
- Čurabo: Dětalí i uzly priborov. Mašgiz, Moskva 1952
- Spravočnik tehnologa priborostroitelja. Mašinostrojenije, Moskva, 1980
- Berger: Genaue Linearführungen mit Linearkugellagern. Kugellagerzeitschrift č. 200
- Berger: Genaue Linearführungen mit Linearkugellagern. Kugellagerzeitschrift č. 201
- Becker: Anwendungsmöglichkeiten von Lagerungen hoher Präzision. ZVDI 100, 1958
- Bondy: Blattfedern-Parallelführungen. Acta Imeko, Budapest, Bd. 1, 1961
- Hildebrand: Feinmechanische Bauelemente. Verlag Technik, Berlin, 1971
- Kunert: Kraftverteilung in wälzkörpergelagerten Geradführungen. Konstruktion 12, 1960
- N.N.: Geradführungen. ZVDI 100, 1958
- Richter, Voss: Bauelemente der Feinmechanik. Verlag Technik, Berlin, 1957
- Schiler: Tragfähigkeit und Lebensdauer von Linear-Wälzlager. Kugellagerzeitschrift 205
- SKF - Produktinformation 109/I, Linearkugellager
- Taschenbuch Feingeräte Technik. Verlag Technik, Berlin, 1971
- Enst: Wirtschaftliche Linearführungen in Gleitlagerabmessungen. Kugellagerzeitschrift 210

E. OTOČNÁ ULOŽENÍ

Otočným uložením rozumíme takové uspořádání kinematických dvojic, která dovolují jejich vzájemný otáčivý pohyb kolem jedné či více os. Ve velké většině případů se jedná o zajištění otáčivého pohybu kolem jedné osy.

Požadavky na otáčivé uložení v přesné mechanice jsou velmi rozdílné. Někdy se žádá otočné uložení s velkým třením, jindy zase se třením minimálním. Zatížení kinematické otočné dvojice může být buď téměř zanedbatelné nebo naopak může jít až do několika tun, jako je tomu např. u radioteleskopů či hvězdářských dalekohledů. Obdobně je tomu i s přesností uložení, kdy na jedné straně jdeme až na hranici dosažitelnosti např. u uložení hřídelů přesných dělicích strojů nebo na přesnost uložení neklademe žádné zvláštní požadavky, jako je tomu např. u listových vah. Rovněž jsou značně rozdílné požadavky na rychlost otáčení, a to od velmi malých frekvencí otáčení až po frekvence jdoucí do statisíců otáček za sekundu. Průměry čepů hřídelů jdou od setin milimetrů až do průměrů řádově se pohybujících v metrech.

Aby se vyhovělo všem uvedeným požadavkům, nemůžeme v přesné mechanice vystačiti s otáčivým uložením užívaným ve všeobecném strojnictví. V průběhu doby se v přesné mechanice vyvinuly různé druhy otočných uložení, které jsou charakterizovány určitými hlavními znaky, typickými pro to které uložení a které slouží k rozdělení otočných uložení.

Žádná kinematická dvojice pro otáčivé uložení se neobejde bez tření. Tření u otáčivých uložení může být buď kluzné nebo valivé. Podle druhu tření můžeme otočná uložení rozdělit na:

- a) kluzná
- b) valivá

Kluzná otočná uložení můžeme dále dělit podle tvaru rotujícího čepu ve vlastní úložné části - pánci na:

- aa) kluzná ložiska ve vlastním slova smyslu
- ab) čípková uložení
- ac) hrotová uložení

Hrotová uložení tvoří již přechod na uložení valivá.

Otočná uložení valivá rozdělujeme na uložení:

- ba) pro vyvození otáčivého pohybu
- bb) pro oporu rotujících součástí - valivá ložiska
- bc) pro umožnění natáčivého pohybu - břitová uložení

Speciální požadavky na otočná uložení, které nemohou splňovat výše uvedené rozdělení, zahrnujeme do speciálních otočných uložení. Tyto pak dělíme s ohledem na přesnost nebo na požadavek více stupňů volnosti na:

- ca) ložiska úhloměrných strojů a přístrojů
- cb) kulové a kuličkové klouby
- cc) závěsná uložení.

Podle směru zátěžné síly jsou otočná uložení

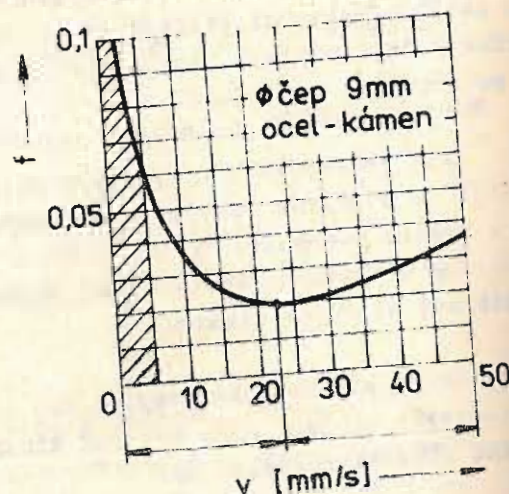
- d - radiální
- e - axiální
- f - kombinovaná.

8.1. OTOČNÁ ULOŽENÍ KLIZNÁ

Kinematická dvojice otočných kluzných uložení je tvořena čepem a pávní. Vzájemný relativní rotační pohyb mezi čepem a pávní umožňuje radiální vůle. V důsledku zatížení dochází u otočného kluzného uložení při rotaci ke kluznému tření. Tření vyvolává odpor proti pohybu a jeho vlivem dochází v místě styku k vývinu tepla, které se musí z ložiska odvádět mazivem, tělesem ložiska či stěnami přístroje a sáláním.

V přesné mechanice se u kinematických kluzných dvojic - ložisek - setkáváme se všemi druhy kluzného tření, a to se třením suchým, polosuchým a kapalinovým. Suché tření se vyskytuje při rozběhu či doběhu strojů a přístrojů nebo jej používáme tam, kde chceme zajistit polohu natočení. Hodnota součinitele suchého tření závisí na materiálu čepu a pávne a na rychlostních poměrech. Z obr. 8.1 vidíme, že se vzrůstem obvodové rychlosti součinitel kluzného tření klesá, až dosáhne určité minimální hodnoty. S dalším růstem obvodové rychlosti součinitel tření opět narůstá.

Největší hodnoty nabývá součinitel suchého tření při rozběhu z klidové polohy a bývá asi o 30 + 50 % vyšší než za pohybu. Na velikost součinitele tření mimo uvedené činitele působí řada dalších vlivů, jako je zrychlení, vzájemné fyzikální a chemické působení materiálů, jejichž vlivy nejsou dosud plně objasněny. Druhým krajním případem kluzného tření je tření kapalinové. Toto tření vzniká, když mezi čepem a pávnou vpravíme takové množství oleje, aby vznikl souvislý olejový film. U hydrodynamického mazání je pro vznik olejového filmu nutná určitá obvodová rychlost čepu. Minimální tloušťka olejového filmu musí být větší než je součet drsností povrchu čepu a pávne. U hydrostatických ložisek se požadované tloušťky olejového filmu dosáhne bez ohledu na obvodovou rychlost tlakem mazací tekutiny, t.j. oleje nebo plynu. V přesné mechanice se však velmi často setkáváme s pohyby kývavými, jak je tomu u pákových mechanismů, nebo hřídelových čepů. Máme s pohyby kývavými, jak je tomu u pákových mechanismů, nebo hřídelových čepů. Máme s pohyby kývavými, jak je tomu u pákových mechanismů, nebo hřídelových čepů.

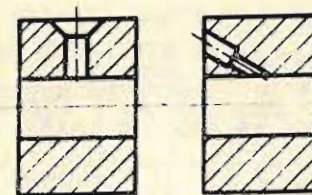


Obr. 8.1

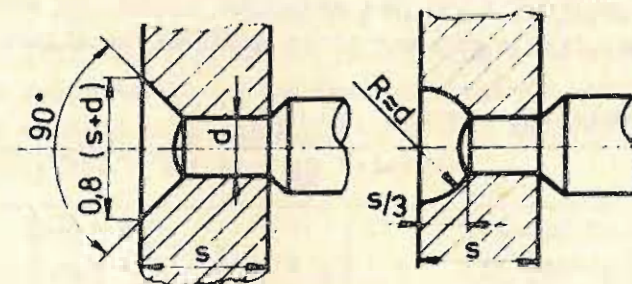
ji malé průměry a pak i při dostatečně velké frekvenci otáčení je velmi obtížné dodržet podmínky pro vznik hydrodynamického mazání. V uvedených případech vzniká tření polosuché, které se ve stavbě přístrojů stává hlavním druhem tření. Dodržení podmínek správného mazání a volby maziva je proto někdy velmi obtížné. Týká se to především hřídelových čepů s velmi malým zatížením např. u mechanických hodin. Zde i volba oleje s velmi malou viskozitou mnoho mazání nepomůže. Vratva oleje se tu chová jako lepkavá hmota, která zvětšuje odpory nebo dokonce jímá prach, který brání správnému pohybu. Abychom zmírnili vliv uvedených faktorů na mazání, snažíme se konstruovat kinematické dvojice malých průměrů tak, aby byl styk buď bodový nebo přímkový. Pokud nanášíme na uvedené otáčivé dvojice vrstvu oleje, musí být tato velmi tenká a olej pak plní funkci zábrany oxidace povrchu čepu resp. pávne.

Pro mazání kluzného ložiska musíme vytvořit v pávní nebo ve skříní otvory a možnost vytvoření zásoby oleje. Nejjednodušší provedení přívodu maziva při občasné a přerušované mazání spočívá v použití příčného nebo šikmého kanálku

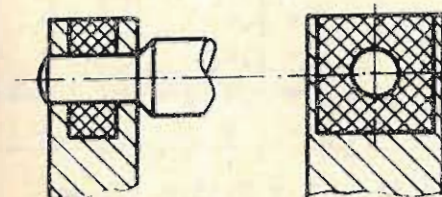
(obr. 8.2). Pokud nelze pro malou tloušťku stěny vyvrtat příčný nebo šikmý kanálek, mazání se provede kuželovým nebo kulovým vývrtem v axiálním směru podle obr. 8.3.



Obr. 8.2



Obr. 8.3



Obr. 8.4

Pro dlouhodobější mazání používáme např. kroužkového mazání nebo mazání plstěnou olejovou napuštěnou vložkou, obepínající čep (obr. 8.4). Mazací otvory lze opatřit normovanými mazničkami. Pro trvalé mazání čepů větších průměrů používáme mazání oběhového, mazání v olejové lázni resp. mazání olejovou mlhou, používaného při uložení rychloběžných hřídelů, hlavně na valivých ložiskách.

Volba maziva pro mazání kluzných otočných uložení je závislá na zatížení, rozměrech uložení, obvodových rychlostech, druhu chodu zařízení, teplotách a dalších specifických podmínkách. Pro mazání se používají mazací tuky, živočišné, rostlinné, minerální a syntetické oleje s různými hodnotami viskozit. Pro plynová ložiska tvoří mazivo obvykle vzduch nebo jiný netečný plyn.

Otočná kluzná uložení se vyrábějí z ocele, mosazi, bronzů, ze spékanych kovů, z umělých hmot a z kamenů (achát, rubín, safír). Čep bývá obvykle ocelový, ale může být i z jiných materiálů např. i porcelánový. Pro pávnu se užívá všech uvedených materiálů. Zásada, kterou se při volbě materiálů máme řídit, je tato: čep a pávna mají být navzájem z rozdílných materiálů. Tím můžeme zabránit případnému zadření resp. "zakousnutí" otáčivé dvojice. Zatížitelnost pávny z různých druhů materiálů při kluzném tření je závislá na součinu $p \cdot v$, kde p je měrný tlak v MPa (Nmm^{-2}) a v je obvodová rychlost v ms^{-1} . Zatížitelnost materiálů pávny je udána v tabulce obr. 8.5.

8.1.1. Kluzná ložiska

Analogicky jako v částech strojů se kluzná ložiska rozdělují podle směru záložné síly na ložiska:

- a) radiální
- b) axiální

Tyto dále se mohou dělit podle tvaru čepu na:

- aa) válcová
- ab) válcová krční
- ac) kuželová
- ad) kulová
- ba) patní
- bb) prstencová
- bc) kuželová
- bd) kulová

Výpočet kluzných ložisek s malými průměry a malými zátěžnými silami se obvykle neprovádí, pouze se navrhnou s patřičným volným uložením. U kluzných ložisek s většími a velkými zátěžnými silami se výpočet provádí za účelem stanovení průměru čepu a pro zajištění podmínek kapaliného tření.

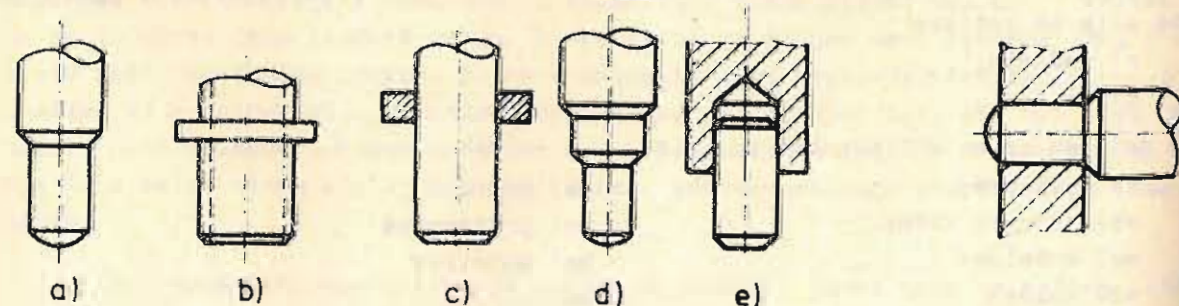
Materiál pánve	Kluzná rychlost ms^{-1}	Měrný tlak při mazání		
		jednorázovém	pečlivě domazávaném $\text{MPa} \quad [\text{Nmm}^{-2}]$	oběhovém
Zinkový bronz	8	$0,4 + 0,5$	$2 + 3$	$25 + 30$
Spec. mosaz	6	$0,4 + 0,5$	$2,5 + 4$	$20 + 25$
Spékané bronzy	4	$1,0 + 1,2$	$2,0 + 2,5$	$3 + 4$
Spékaný želez. prášek	4	$1,0 + 1,2$	$2,0 + 2,5$	$3 + 4$
Šedá litina	5	$0,3 + 0,4$	$0,8 + 1,0$	$4 + 5$
Hliníkové slitiny	8	$0,1 + 0,15$	$0,4 + 0,6$	$25 + 35$
Horčičkové slitiny	7	$0,1 + 0,15$	$0,3 + 0,4$	$7 + 10$
Jemnozrn. zink. slitiny	5	$0,05 + 0,1$	$1,0 + 1,2$	$12 + 15$

Zatížitelnost materiálů pánví s olejovým mazáním ($v = 0,15 + 1,5 \text{ ms}^{-1}$)			
Umělá pryskyřice s SiC	Nmm^{-2} 5	Hliníková slitina AlZnCuMg	Nmm^{-2} 12
Tvrzená vrstevnatá tkanina	5	Hliníková slitina AlCuSi	12
Umělá pryskyřice bez plnidel	14	Olověný bronz 29 Pb	12
Speciální šedé litiny	2	Cínolověný bronz CuSnPbNi	10

Obr. 8.5

Čepy se kontrolují na ohyb, krut a na měrný tlak v dosedací ploše. Užívá se vztahů uvedených v částech strojů. Kontrolu podmínek pro vznik hydrodynamického mazání provádíme podle normy ČSN 02 3090 a to v závislosti na ložiskovém čísle a na oteplení. Pro volbu materiálů kluzných ložisek se můžeme opírat o normu ČSN 02 3092 s odkazem na normu ČSN 02 3011.

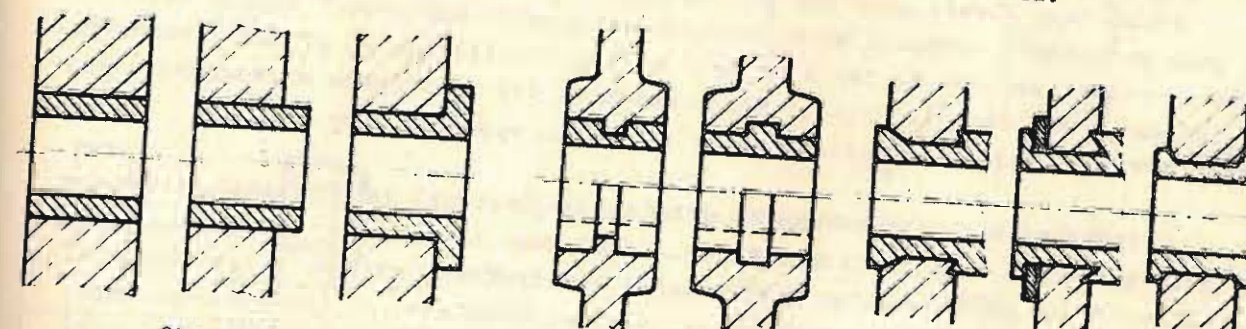
Při konstrukci přístrojů jsou válcové čepy u malých ložisek navrhovány s ohledem na výrobní možnosti a na bezpečnost při dopravě. Tvary používaných přístrojových čepů jsou na obr. 8.6, kde provedení a se získá osazením hřídele při soustružení, b vysoustružením osazení na dutém hřídeli, c nalisováním kroužku z jiného materiálu, d dvojím osazením hřídele, e zalisováním čepu z vysoce kvalitního materiálu do hřídele z měkkého materiálu nebo z materiálu majícího špatné kluzné vlastnosti. Ložisková pánve se pro případy méně náročné provádí prostým vývrtem v nosné části. (obr. 8.7).



Obr. 8.6

Obr. 8.7

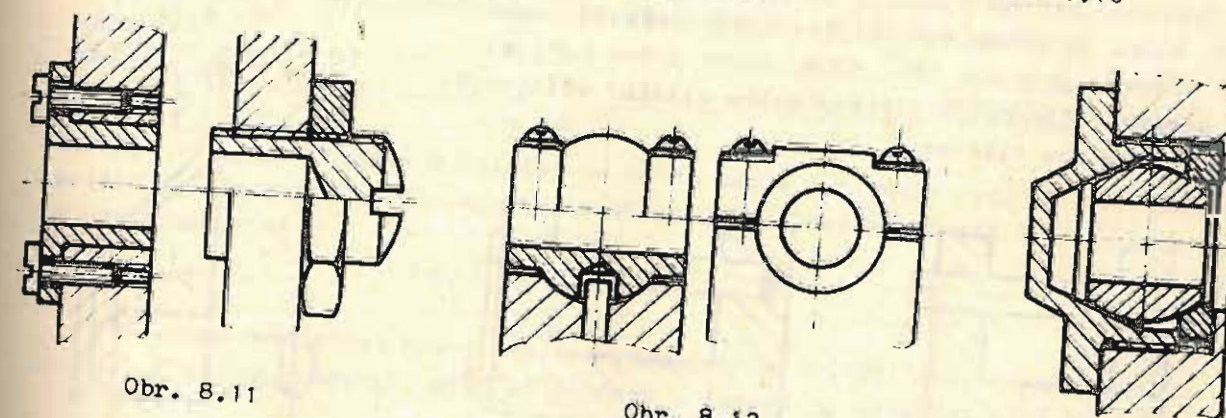
Pokud materiál nosné stěny nemá dobré kluzné vlastnosti nebo je tenší než požadovaná délka čepu, pak se používá ložiskových pouzder, které se do stěny zalisovávají (obr. 8.8), zalévají (obr. 8.9), roznýtovávají buď bez nebo s podložkou (obr. 9.10) nebo se zašroubovávají (obr. 8.11). Není-li hřídel dosti tuhý a je obava z velkých hranových napětí, používá se radiálně nebo i axiálně stavitelných pouzder opatřených kulovými plochami. Proti otáčení se pojišťují nejčastěji kolíkem (obr. 8.13). Větší pouzdra se opatřují výstelkou z ložiskových materiálů.



Obr. 8.8

Obr. 8.9

Obr. 8.10

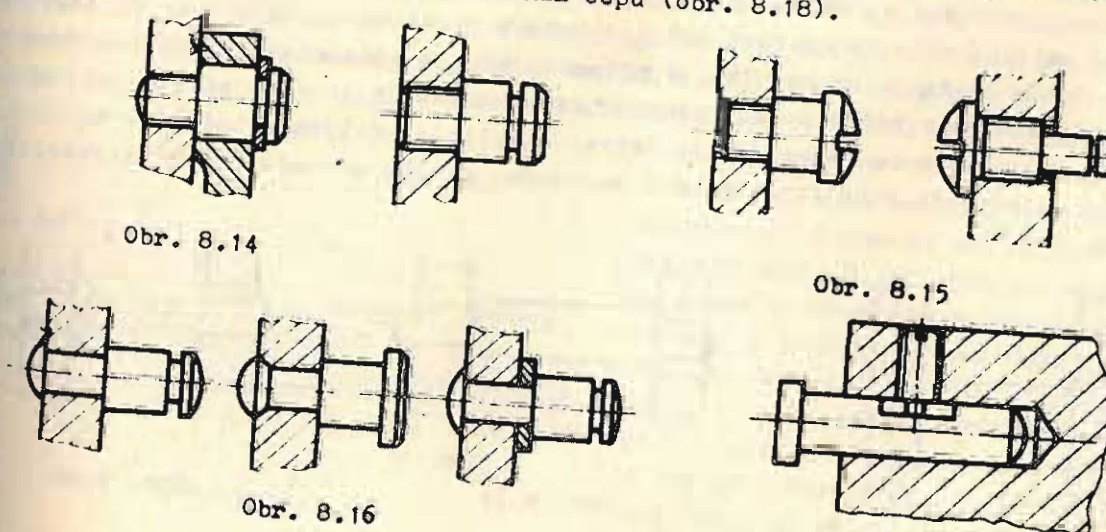


Obr. 8.11

Obr. 8.12

Obr. 8.13

Slouží-li čep k vedení otáčejících se částí, jako např. kladek nebo pák, pak se letmé čepy ukládají do rámu přístroje nalisováním (obr. 8.14), zašroubováním (obr. 8.15), nýtováním (obr. 8.16) nebo svěrným spojením (obr. 8.17). Svěrné spojení zajišťuje snadnou smontovatelnost a nastavitelnost jak axiální (obr. 8.17), tak i radiální, a to excentrickým provedením čepu (obr. 8.18).



Obr. 8.14

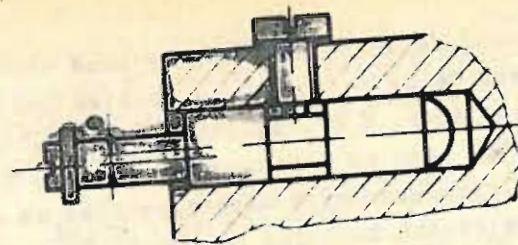
Obr. 8.15

Obr. 8.16

Obr. 8.17

Jinak je možno aplikovat i jiné typy axiálních spojení.

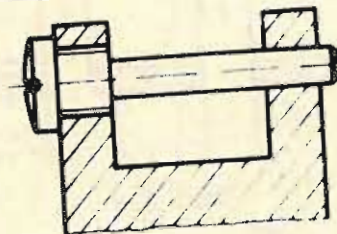
Axiální pojištění kladek proti vysunutí provádíme osazením os, pojistnými drátěnými kroužky či třmenovými pojistkami.



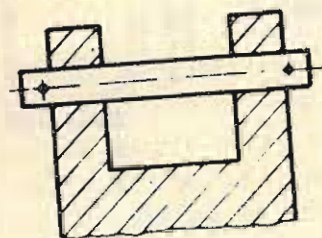
Obr. 8.18

Pokud čepy slouží jako osy uložené na dvou podporách, uchycují se u drobných zařízeních buď pomocí závitu (obr. 8.19) nebo se prostě zasunou do děr a pojistí kolíky, závlačkami po případě třmenovými pojistkami (obr. 8.20). Dále je možno zasunout čep do slepého a průběžného souosého vývrtu a pojistit pružinou proti axiálnímu vysunutí (obr. 8.21).

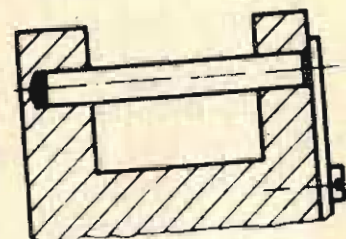
Hřídele se v přesné mechanice ukládají nejčastěji na dvou podporách t.j. do dvou ložisek. Pokud máme zabránit axiálnímu vůlí, musíme tyto vymezit konstrukčními způsoby, při čemž máme pamatovat na tepelnou dilataci. Naprosto nevhodný způsob uložení je naznačen na obr. 8.23, které je přeuročeno. Nejčastějším řešením uložení čepů hřídele je podle obr. 8.24, které ovšem musí mít pro správnou činnost zajištění malou axiální vůli, umožňující tepelnou dilataci.



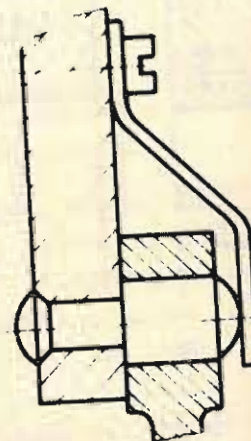
Obr. 8.19



Obr. 8.20

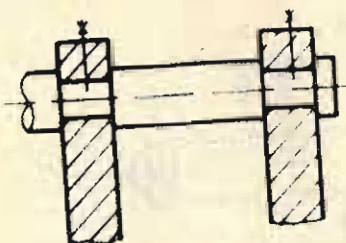


Obr. 8.21

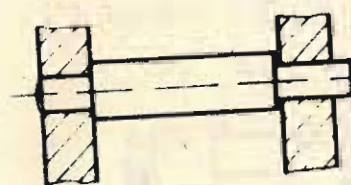


Obr. 8.22

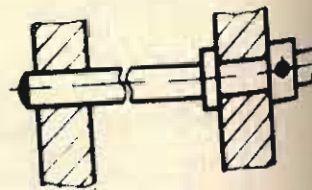
Analogické je i řešení na obr. 8.25, kde je proti vysunutí hřídele použito stavěcího kroužku. Je možné také hřídel opatřit nákrůžkem (obr. 8.26), který se zasadí do kruhového vybrání ve skříní a proti axiálnímu vysunutí se pojistí víčkem. Patříčná axiální vůle se nastaví buď dodatečným opracováním čelní plochy nákrůžku nebo použitím distančních kroužků. V případě kdy je žádoucí nastavení správné polohy hřídele, je výhodné použít pouzder zašroubovaných do stěn přístroje (obr. 8.27). Axiální síla se zachycuje zalisovanou kuličkou malých průměrů. U hřídelů stejného průměru se dosedací plochy a zajištění polohy provede pomocí stavěcích kroužků.



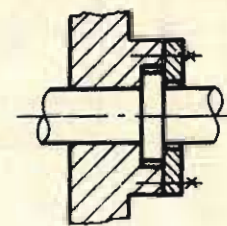
Obr. 8.23



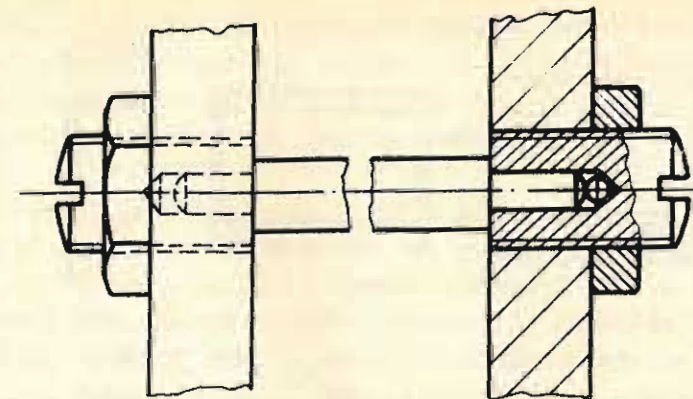
Obr. 8.24



Obr. 8.25



Obr. 8.26



Obr. 8.27

Doporučená uložení čepů v pánvi se dají vybrat z tabulky obr. 8.28

Točné uložení s nepatrnou vůlí	H7/g6	G7/h6
Točné uložení hřídelů převodovek	H7/f7	F7/h6
Točné uložení rychloběžných hřídelů	D9/h9	H7/d7
Lehce otočné uložení hřídelů z taženého drátu	D11/h9	
Běžné uložení pák	D11/h11	H11/d11

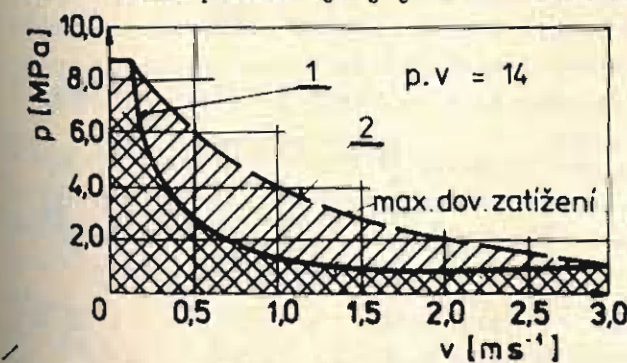
Obr. 8.28

Únosnost kluzného ložiska s ohledem na vývin tepla pro různé dvojice kluzných materiálů je dán součinem měrného tlaku (MPa) a obvodové rychlosti (m s^{-1}), který má být konstantní

$$pv = \text{konst.}$$

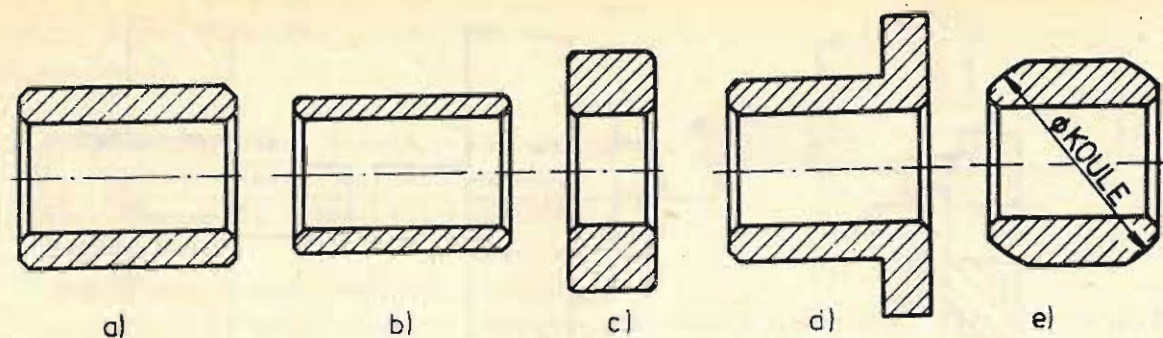
Uvedenou závislost udává výrobce kluzných materiálů. Aby ložiska mohla v provozu bezpečně pracovat, mají se zaběhat a teprve po zaběhání plně zatížit.

Ložiskový uzel, který je těžko přístupný nebo jej nelze často domazávat, se opatřuje samomazným pouzdem. Samomazná pouzdra se vyrábějí ze spékanych kovů nebo se na ocelový podklad naplétuje umělá hmota s dobrými kluznými vlastnostmi. Samomazná spěkaná pouzdra se vyrábějí ze železitého mechanického prášku o velikosti zrn $0,4 + 0,06$ v určitém procentuálním poměru nebo se užívá bronzového prášku. Spékační teplota bývá u železných prášků $1000^\circ + 1100^\circ \text{C}$, u bronzových prášků $730^\circ + 830^\circ \text{C}$. Po výrobě se pouzdro kalibruje a sytí olejem vhodných vlastností. Únosnost spěkaných samomazných pouzder ze ZVL Mokraď udává diagram obr. 8.29. Výhodou těchto pouzder je jejich okamžitá zatížitelnost na plnou hodnotu měrného



Obr. 8.29

tlaku. Životnost těchto ložisek s přetížením nad max. hodnotu pv klesá. Samomazná ložiska se dodávají v různých tvarech (obr. 8.30), kde provedení a je normální pouzdro, b pouzdro tenkostěnné, c pouzdro hrubostěnné pro náhradu valivých ložisek, d přírubové pouzdro, e pouzdro kulové pro naklápačci ložisko. Ložisková vůle bývá $0,002$ až $0,004$ průměru hřídele. Materiál čepu se volí ocel kalená na HRC 50.



Obr. 8.30

Jen pro málo zatížená ložiska se čep nemusí kalit. Ložisková pouzdra se zalisovávají do děr ve skříní nebo rámu v uložení H 7. Doporučená konstrukční provedení uzlů ukazuje obr.

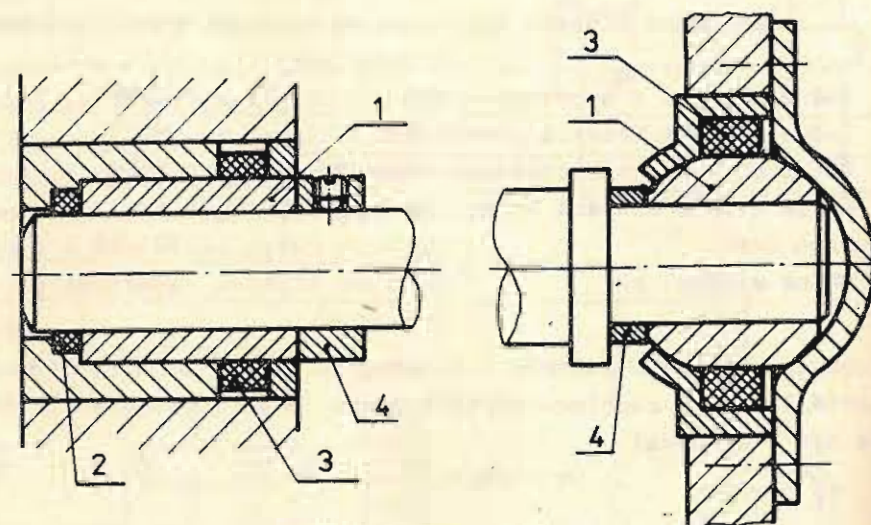
8.31, kde 1 je samomazné pouzdro, 2, 3 jsou plastěnné kroužky, 4 jsou vymezovací kroužky. Plastěnné kroužky se napouštějí olejem a tvoří tak zásobník oleje.

V případech omezeného mazání se dají používat tenkostěnná pouzdra vyráběná zkružováním

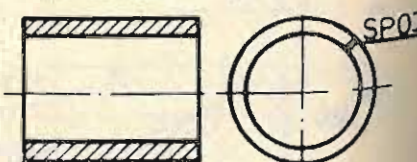
ocelového pásu s nanesenou kovovou výstelkou práškovou technologií. Tato technologie zaručuje rovnoměrnou strukturu a dobré kluzné vlastnosti. Výstelku tvoří vrstva hliníku, mědi, cínu a olova v různém procentním složení, které také určuje oblast zatížitelnosti. Výstelky mohou být také opatřeny mazacími drážkami.

Objev plastických hmot s velmi dobrými kluznými vlastnostmi, jako je teflon nebo polyacetát, umožní použít těchto materiálů jako výsterek pro ložisková pouzdra. Základem těchto pouzder je ocelový pás, na němž je nanesena vrstva pórovitého bronzu s 10 % Sn, tloušťky asi 0,25 mm. Na tento podklad se naválcuje za tepla ($t = 327^\circ \text{C}$ pro materiál polytetrafluoretylen (teflon)) směs teflonu a okysličeného olova. Bronzová vrstva napomáhá nejen uchycení teflonu, ale dobře odvádí teplo do stěny přístroje. Po naválcování se ocelový pás zkruží do tvaru válcového pouzdra. (obr. 8.32). Toto se nalisuje do příslušné díry ve stěně přístroje. Průměr otvoru ve stěně musí být určen tak, aby spára pouzdra vzniklá po zakružení, po nalisování vymizela.

Únosnost ložiska z materiálu PTFE, označené výrobcem ZVL Dolný Kubín UK, bývá $0,1 + 7 \text{ [MPa, N mm}^{-2}]$ a součin $p \cdot v = 0,2 \text{ MPa m s}^{-1}$. Maximální dovolená provozní teplota je dána teplotou přeměny plastu $\sim 300^\circ \text{C}$. Životnost ložiska je však teplotou ovlivněna a proto by tato ložiska



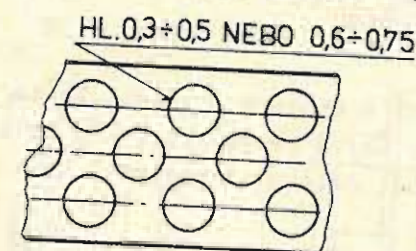
Obr. 8.31



Obr. 8.32

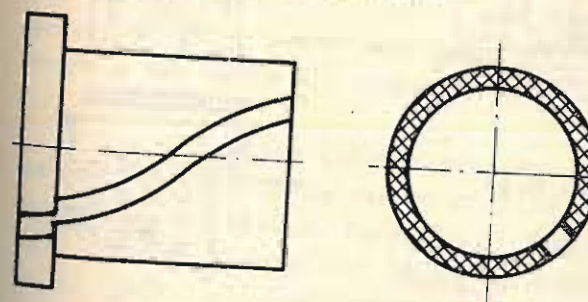
naměla pracovat v příliš vysokých teplotách. Pro životnost ložiska je také důležitá jakost opracování čepu hřídele. Obvykle se žádá, aby $R_a = 0,4$. Při vysokých tlacích $20 + 40 \text{ MPa}$ je třeba jít s drsností až na hodnotu $R_a = 0,05$. Těchto výsterek lze použít i pro axiální ložiska, kde pak mají tvar kotouče.

Pouzdra z polyacetátem, označený jako materiál KX (ZVL Dolný Kubín) se vyrábí obdobným způsobem. Na rozdíl od materiálu UK, který nelze opracovávat, lze materiál KX dodatečně opracovávat. Dále má materiál KX dobrou přizpůsobivost a je schopen odolávat i hranovým tlakům. Materiál KX je nutno mazat a i při malém množství mazadla je součinitel tření nízký $f = 0,01$. Tento však začíná stoupat s ukončováním životnosti maziva až na hodnotu $f = 0,1$ (při mazání tukem). Aby se toto ložisko nemuselo domazávat, opatřuje se výstelka jamkami, které tvoří zásobníky. Vzhled výstelky pouzdra v rozvinutém tvaru ukazuje obr. 8.33. Pracovní teplota ložiska je $-40 + 110^\circ \text{C}$, krátkodobě 130°C , kluzná rychlost $0,5$ až $2 + 3 \text{ m s}^{-1}$. Max. zatížení 14 MPa při mazání tukem a s malou rotací; při mazání olejem $4,5 \text{ MPa}$. Ložisková vůle bývá $0,04 + 0,02$ v závislosti na velikosti ložiska. Tvarování pouzdra a podmínky pro jeho ukládání jsou stejné jako u ložisek KU.



Obr. 8.33

Ložisková pouzdra lze vyrábět také celá z umělých hmot. Tato pouzdra mají až 100 násobně větší tlumicí schopnosti než ocel. Umělé hmoty vykazují velkou tepelnou roztaživost, a některé materiály, jako je nylon a silon i hygroskopičnost a vlivem maziva i vlhkosti narůstají na objemu. Proto musí tato nylonová či silonová ložiska mít větší počáteční vůli, než je tomu u kovových pouzder a dále se musí zajistit dobrý odvod tepla hřídelem. Aby vůle v ložisku mohla být udržována v určitých mezích a materiál se mohl roztahovat, opatřují se pouzdra zářezem ve tvaru šroubovice (obr. 8.34).



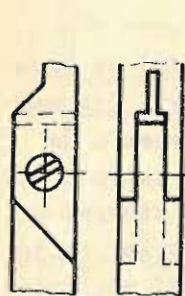
Obr. 8.34

pouzder ze spěkaných kovů.

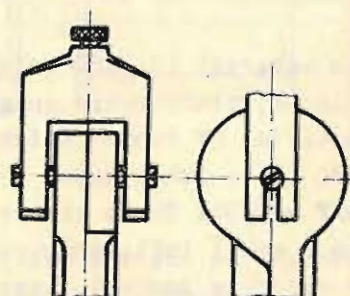
Někdy se umělé hmoty plní grafitem pro zlepšení kluzných vlastností. Ložisková pouzdra opatřená vrstvou z umělé hmoty nebo vyrobená celá z ní se musí z počátku zaběhávat, aby se přizpůsobila čepu. Pouzdra ložisek pracujících za vysokých teplot (až 450°C) nebo za nízkých teplot či v silně korozivních prostředích se dělají také z umělého grafitu. Vůle v ložisku činí $3 + 15 \%$ průměru čepu. Tvary uvedených pouzder jsou analogické tvarům

V přesné mechanice se někdy žádají otočná uložení s velkým třením, aby se nastavená poloha jedné součásti vzhledem ke druhé neměnila, pokud není vyvozena další vnější síla větší, než vyvozená třecí síla. Zvýšené tření v uložení dosahuje pomocí šroubů nebo pružin či napružením čepu resp. pouzdra. Tohoto zvýšeného tření se užívá např. u otočného uložení ramen kružídel. Zde u jednoduchých kružídel se styčné otočné plochy dotlačují přímo šroubem (obr. 8.35) nebo se užije těmto nesoucí závit pro tlačné šrouby (obr. 8.36), popř. je šroub umístěn mimo

střed natáčení a ve středu natáčení jsou kulové čípky dotlačované k sobě stažením třmenu (obr. 8.37). Napružení pouzdra či čepů ukazuje obr. 8.38, používané např. u natáčivých zrcátek mikroskopů či zástrček.



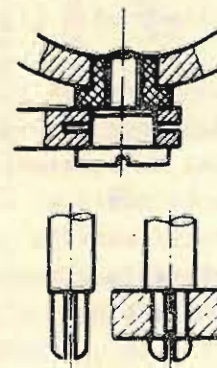
Obr. 8.35



Obr. 8.36



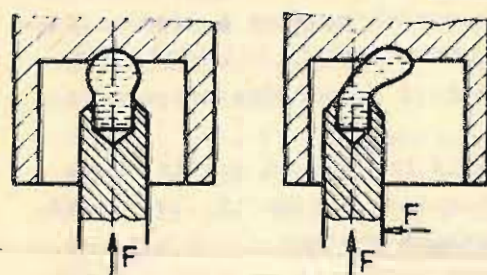
Obr. 8.37



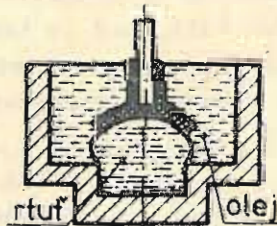
Obr. 8.38

Opačným případem je požadavek minimálního tření v otočném uložení. Tento požadavek realizujeme pomocí, t.zv. plovoucích ložisek. Užívá se jich např. u velmi citlivých přístrojů pro uložení otočných částí, buzol, dále u ultracentrifug atd.

U stabilních přístrojů může být lehký systém nesen kapkou rtuti. Rtuť má vysoké povrchové napětí, které je schopno unést malé zatížení, vyvozené nejčastěji hmotností otočného systému. Princip uložení na kapce rtuti ukazuje obr. 8.39. Vzhledem k velké pohyblivosti rtuti dochází při bočních slabých rázech k posunutí otočného systému a tím i k odchylce osy rotace po případě i k vykývnutí. Praktické provedení jednoduchého rtuťového ložiska je na obr. 8.40.



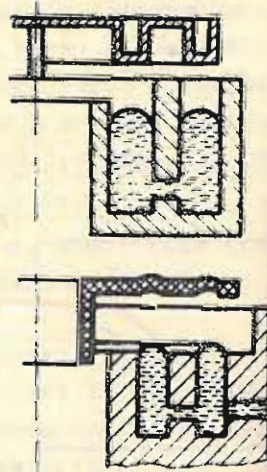
Obr. 8.39



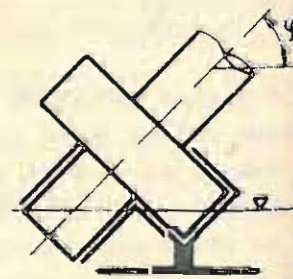
Obr. 8.40

Při větších zatíženích se užívá jednoho nebo dvou mezikruhových žlábků (obr. 8.41) naplněných rtutí. U velkých přístrojů dá se užít rtuť k nadlehčení čepů a současně k zmenšení tření v uložení. Takto je např. uložen čep hvězdářského dalekohledu, schematicky znázorněný na obr. 8.42. Součinitel tření čisté rtuti a materiálu čepu je velmi nízký. Oxidací rtuti resp. kovového čepu se součinitel tření rychle zvyšuje a proto se rtuť musí chránit před oxidací, např. vrstvou oleje. Materiál čepu nesmí vytvářet se rtutí amalgámy. Tuto podmínku dobře splňují amělé hmoty, které mohou tvořit přímo čep nebo výstelku.

Plovoucího účinku můžeme dosáhnout využitím koer-



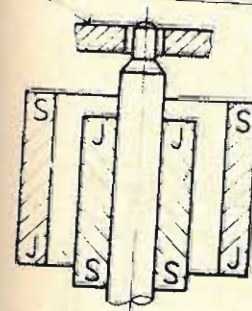
Obr. 8.41



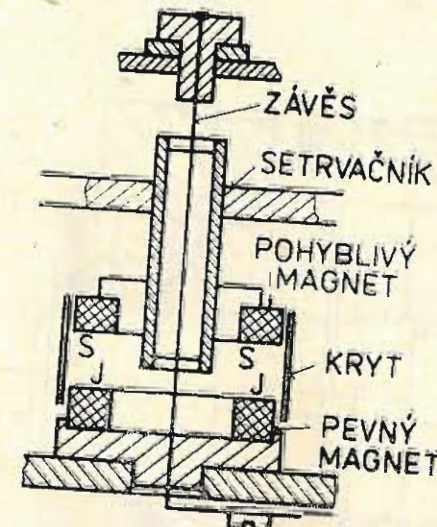
Obr. 8.42

permanentních magnetů nebo elektromagnetů. Vhodným uspořádáním magnetů na tělese a rotující části můžeme rotující část nadlehčit a oddělit od magnetické pánve vzduchovou mezerou, v níž čep plave. Tímto dostáváme magnetická ložiska. Pro odlehčení a středění svislých hřídelíků používáme nejčastěji dvou ferritových trubčkových nebo kroužkových magnetů. Jeden magnet je uchycen na hřídelíku, druhý je uložen v tělese přístroje, a to tak, aby se navzájem odpuzovaly. Velikost koerzivní síly resp. vzdálenosti magnetů musí být taková, aby nastal vzájemný rovnovážný stav mezi vnějším zatížením, t.j. obvykle hmotností rotující části a silou vyvozenou magnety. Provedení magnetických ložisek s trubčkovými magnety ukazuje obr. 8.43 a s kroužkovými magnety obr. 8.44, který představuje uložení setrvačky elektroměru. Elektromagnetické radiální ložisko je znázorněno na obr. 8.45.

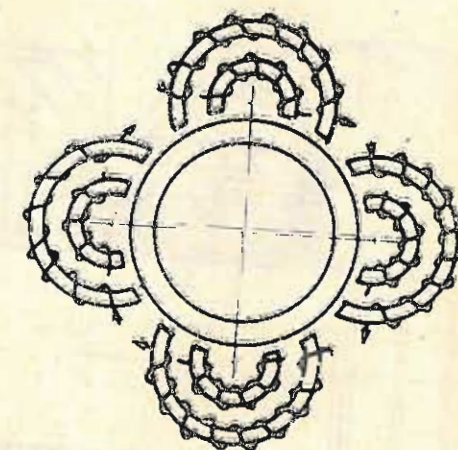
VODÍČÍ LOŽISKO



Obr. 8.43



Obr. 8.44

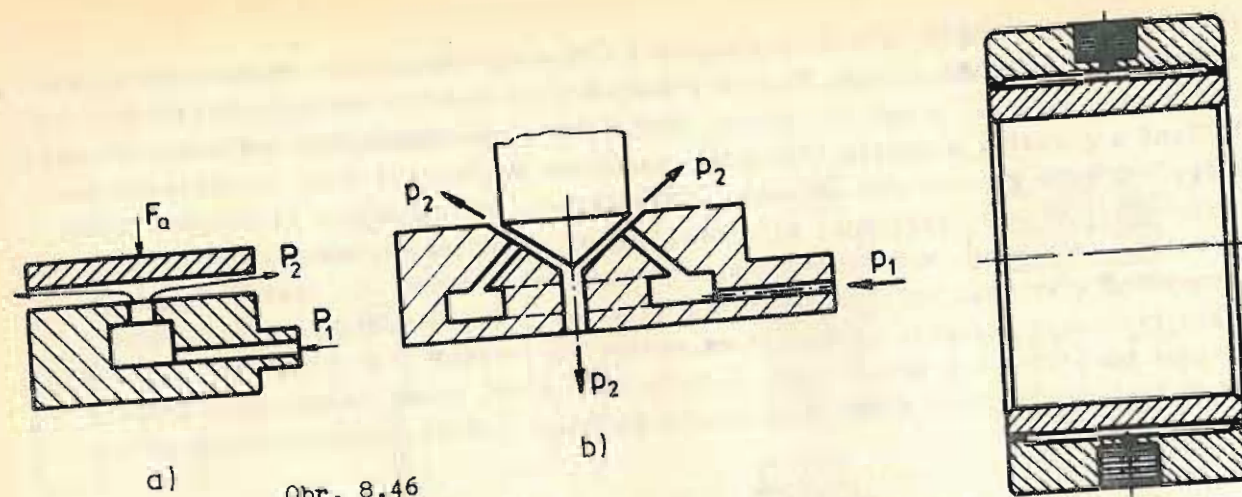


Obr. 8.45

Čtyři elektromagnetické cívky jsou umístěny ve skříní a obklopují čep hřídele. Velikost napájecího proudu cívek řídí čtyři senzory tak, aby po zatížení ložisek vnějšími silami se hřídel udržoval ve středové poloze. Úlohu maziva přebírá vzduch a tak je opotřebení ložiska minimální. Výroba tohoto ložiska je dosud velmi drahá a tak našla jen omezené použití, např. u gyroskopů.

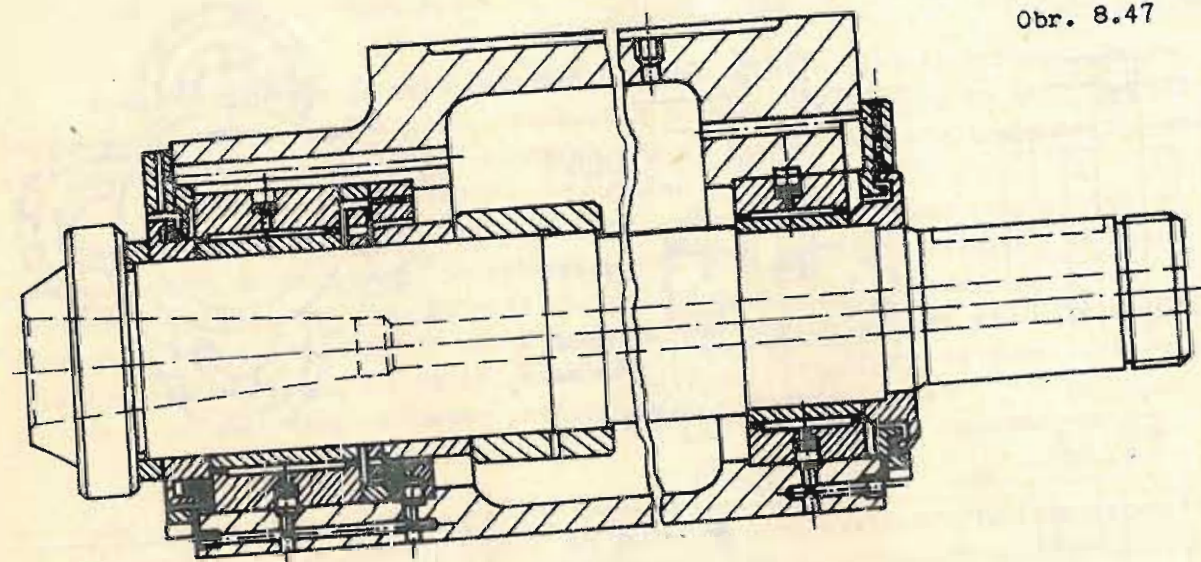
Do plovoucích ložisek počítáme také hydrostatická nebo aerostatická proudová ložiska, kde úlohu maziva přejímá buď kapalina nebo plyn. Menší tření vykazují aerostatická ložiska. Do místa uložení je vháněna kapalina nebo vzduch či plyn pod takovým tlakem, aby se styčné plochy od sebe oddělily. Výpočet těchto hydrostatických a aerostatických ložisek je založen na teoretických základech výtoku kapalin úzkou štěrbinou. Výslednice tlakových sil při výtoku kapalin a plynů musí být rovna závažné síle na čep. Proudových ložisek můžeme použít jak pro zachycení axiálních, tak i radiálních sil za rotace hřídele. Princip axiálních proudových ložisek je na obr. 8.46 a, b, při čemž provedení a nezaručuje stálou polohu otáčení. Toto je odstraněno u uspořádání b.

Konstrukční provedení hydrostatického radiálního ložiska je na obr. 8.47. Uložení přesný chod proudového ložiska je žádoucí, aby ložisko se otáčelo v teoretické ose otáčení. To předpokládá jednak přesné rozmístění otvorů pro přívod mazací látky podél a okolo čepu a pak správnou hodnotu tlaku, která odpovídá vnějšímu zatížení. Pro řízení chodu ložiska v teoretické ose otáčení se používá mřížkového



a) Obr. 8.46

Obr. 8.47

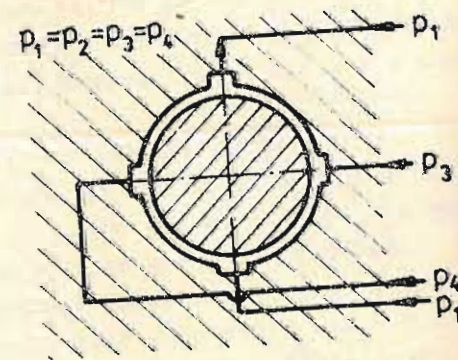


Obr. 8.48

zapojení přívodů a regulace tlaku oleje podle změn polohy čepu vnějším zatížením. Signálem pro regulaci polohy je stoupnutí resp. snížení tlaku v přívodním potrubí přiblížením či oddálením čepu od přívodních otvorů. Regulace tlaku zasáhne a změní tlakové poměry v místku tak, aby se dosáhlo původní polohy čepu. Obvodová rychlost čepu pro vzduchové ložisko má být $v < 120 \text{ m s}^{-1}$, pro olej je menší.

Hydrostatických proudových ložisek se užívá hlavně pro uložení těžkých rotorů. Plynová ložiska mají hlavní užití pro velmi vysoké frekvence otáčení. Hydrostatického uložení je používáno i v regulačních přístrojích a i u kluzných přímých vedení.

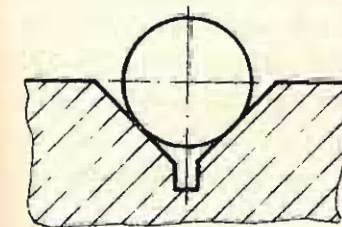
V přesné mechanice se setkáváme s požadavky na vysokou přesnost vedení rotačního pohybu. Přesná a velmi přesná uložení žádají velmi malou radiální po případě axiální vůli, a to jak při malých, tak i vysokých frekvencích otáčení. Při velmi malých vůlích vznikají problémy s mazáním i při nízkých otáčkách. Na př. vůle $3 \mu\text{m}$ vyvolává vysoké vnitřní tření v olejovém filmu a tím i nepříznivý vývin



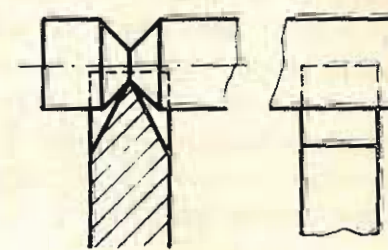
Obr. 8.49

tepla, který má vliv zase na tepelnou roztažnost jak čepu, tak i pánve. Při špatně volených dvojicích kluzných materiálů může pak dojít i k zadření ložiska. K zabránění zadření ložiska se mají na čep a pánev volit materiály s přibližně stejnou tepelnou roztažností. V případě, že materiály mají rozdílnou tepelnou roztažnost, pak materiál s větší tepelnou roztažností má obepínat čep, či-li tvořit pánev. Základní vůle má být stanovena pro minimální pracovní teplotu.

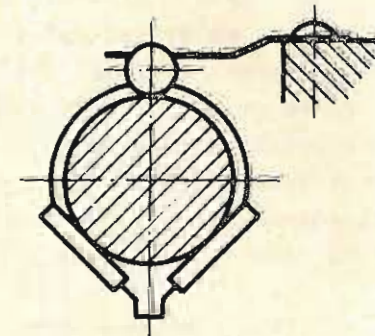
Pokud se týká uložení pracující občasné s malými otáčivými rychlostmi a s malými tlaky, omezujeme styk na několik bodů. Vzniká tak kinematické ložisko. Např. jednoduché otevřené ložisko s možností axiálního posuvu může tvořit otevřená prizmatická pánev (obr. 8.50), která je schopna plně vymezit radiální vůli.



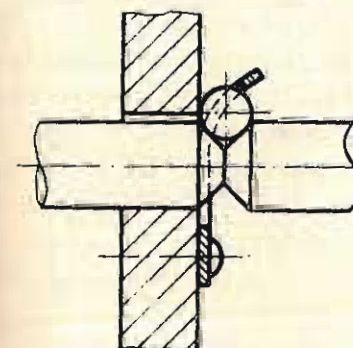
Obr. 8.50



Obr. 8.51



Obr. 8.52

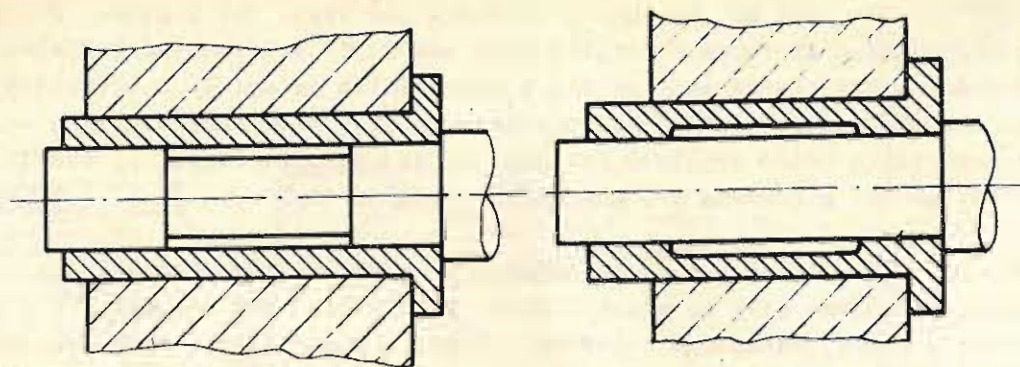


Obr. 8.53

Má-li být zabráněno i axiálnímu posuvu, pak se čep opatří ostrým zápichem, do něhož zapadá břit vytvořený na prizmatické pánvi. (obr. 8.51). Když nevyhovuje otevřené uložení, pak se čep může do-tlačovat do žlábků pánve pružinou přes kulíčku (obr. 8.52), která umožňuje valivé vedení. Nemá-li se hřídel axiálně pohybovat, je možno mimo břitu použít i kulíčky, zatlačované současně do ostré drážky a na těleso plochou pružinou (obr. 8.53). Tímto způsobem lze vymezit při oboustranném umístění kulíček i radiální vůli. Této konstrukce se užívá např. u ladících kondenzátorů, kde je

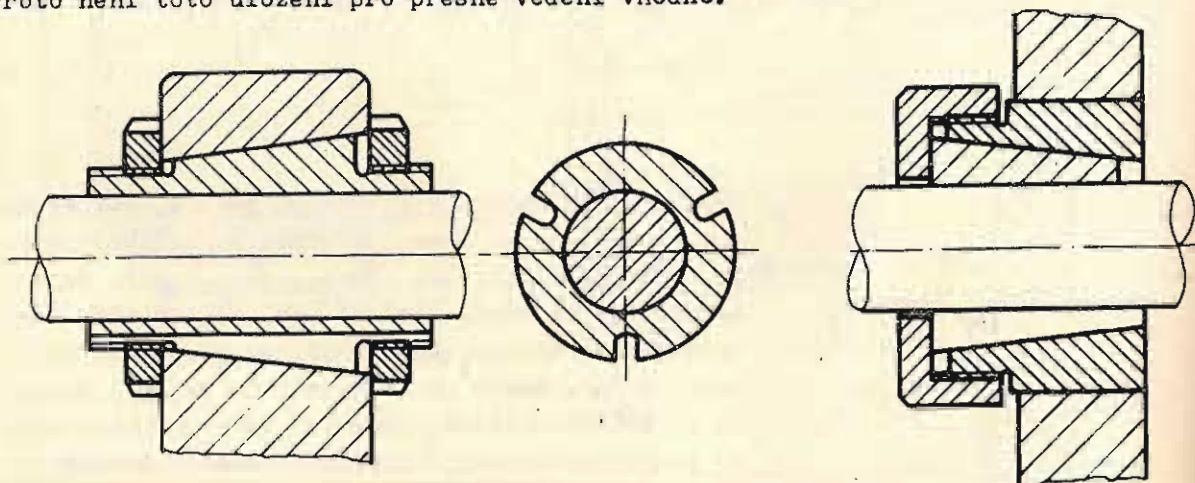
nutno zachovávat stále stejnou vzájemnou polohu elektrod. Kinematické ložisko je základní typ uložení u přístrojů na dynamické vyvažování rotačních součástí nebo všude tam, kde se žádá vysoká přesnost uložení válcových čepů s malými otáčkami a tlaky. Přesné dodržení souososti vyžaduje, aby prizmatické pánve byly pokud možno obráběny při jednom upnutí a ustavení nástroje a obráběcího vřetene. Nevýhodou kinematických ložisek je velké opotřebení a tření v bodech dotyku čepu s pánví. Toto také omezuje rozsah použití těchto ložisek.

Podmínka současného opracování vnitřních průměrů pánví při jednom upnutí by měla platit i pro přesná kluzná ložiska v normálním provedení. Pokud se kluzná otočná uložení mají užít na kratší vzdálenosti nebo i pro letmé uchycení hřídelů, lze místo dvou pánví navrhnout jednu pánev, ale kluzné plochy se od sebe oddělí osazením buď na pánvi nebo na čepu (obr. 8.54).



Obr. 8.54

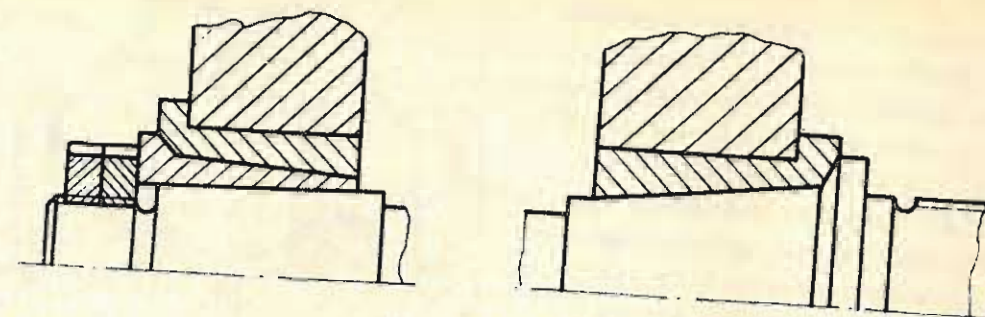
Pro přesné uložení hřídelů malých a středních strojů, jako např. vřeten u soustruhů, se dříve, než se přešlo na ukládání do přesných valivých ložisek, užívalo přesných kluzných ložisek, jejichž pánve byly na vnější straně kuželové. Tyto pánve se vkládaly do kuželových děr v rámu a dotahovaly se maticí (obr. 8.55). Dotahováním matice se mohla při odlehčení pánví podélnými zářezy nastavovat vůle resp. vymezovat vůle po opotřebení. Nedostatek tohoto uložení spočíval v tom, že při dotahování se porušila válcovitost a čep byl pak veden jen třemi ploškami. Proto není toto uložení pro přesné vedení vhodné.



Obr. 8.55

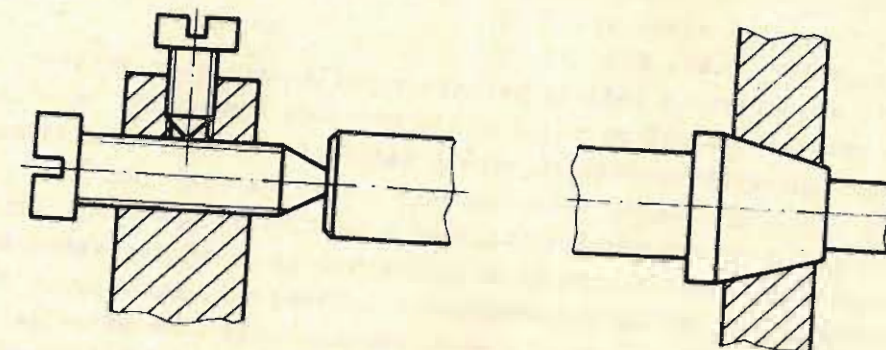
Snaha po zachování kruhovitosti a válcovitosti vedla k zavedení kuželových tenkostěnných pánví, které byly do kuželové díry vtlačovány maticí (obr. 8.56). Pánve jsou rozříznuty, aby se mohly jejich deformací upravit vůle.

Konstrukčně vhodnějších způsobů vymezování vůlí po opotřebení se dosahovalo rozdílným tvarováním předního a zadního ložiska. Přední čep je kuželový s malou kuželovostí přecházející do kuželového osazení, které se opírá o kuželovou plochu zabudované pánve. Zadní čep je válcový, uložený do dvojitého kuželovitého pouzdra a dotahovaný maticí (obr. 8.57). Toto uspořádání umožňuje zachycení axiálních sil. Pánve pro kuželové čepy jsou ocelové kalené a zalisované. Jejich dobroušením lze docílit dobré přesnosti i pro nejnáročnější uložení. Ocel na oceli nedává však dobré uložení pro trvalý a rychlý chod. Pro malé stroje se dá dosáhnout dobrého uložení pomocí hrotu a kuželového čepu (obr. 8.58). Toto uložení je jednoduché s možností vymezování vůle po opotřebení, nedovoluje však použití dutého vřetena.



Obr. 8.57

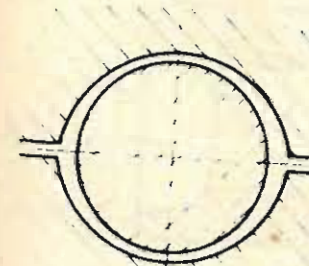
Pro přesné uložení rychloběžných hřídelů jsou někdy vhodnější kluzná ložiska než ložiska valivá, protože tato mají omezenou trvanlivost a přesnost danou maximálními dovolenými otáčkami.



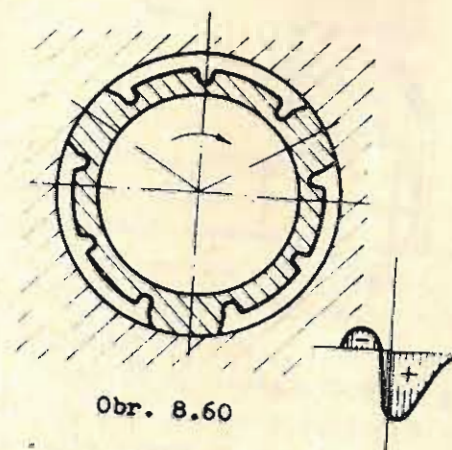
Obr. 8.58

Kluzná uložení rychloběžných hřídelů vykazují potřebnou přesnost a tichost chodu. Tato uložení mohou být provedena buď hydrostatickými nebo hydrodynamickými ložisky. Hydrostatické ložisko pro uložení vřetene obráběcích strojů ukazuje obr. 8.48. U hydrodynamických ložisek pro rychloběžné hřídele dáváme pánvím obvykle nekruhový vnitřní profil, a to jednak pro snadnější vytváření klínové olejové vrstvy a jednak pro lepší odvod tepla z ložiska. Jak již bylo řečeno, při malých vůlích vzniká vlivem zvýšeného tření větší teplo, které z ložiska musí být včas odvedeno, aby se zabránilo přehřátí ložiska. Toto kruhová mezera nedovoluje v důsledku omezeného proudění oleje.

Vodící plocha pánví hydrodynamických ložisek má tvar podobný citrónu (citrónové ložisko) (obr. 8.59) a čep je veden na dvou plochách.

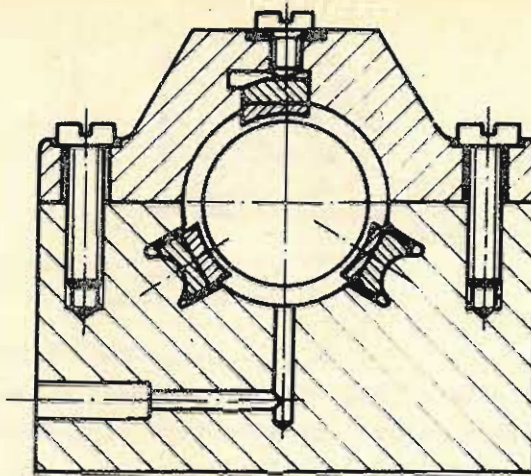


Obr. 8.59



Obr. 8.60

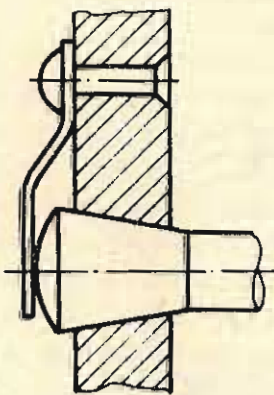
Dalším pokrokem bylo zavedení víceplochého ložiska. Víceploché ložisko má tři oblasti s malými vůlemi a tři oblasti s vůlemi většími, které jsou vůči sobě pootočený o 120° . Vytvoření uvedených rozdílných vůl lze docílit předepnutím speciálně tvarovaného pouzdra (obr. 8.60), zasouvaného do kuželového otvoru buď ve skříni nebo v dalším pouzdru, vkládaného do válcového otvoru skříně. Průběh tlaku v klínové spáře ukazuje obr. 8.60 a. Víceploché ložisko můžeme vytvořit také použitím speciálně tvarovaných segmentů, uchycených do děleného ložiskového tělesa. Provedení takto tvarovaného ložiska ukazuje obr. 8.61. Klínová vrstva se u těchto samostatných ložisek nastavuje podle velikosti zatížení, při předem nastavené poloze segmentů na požadovanou přesnost chodu. Aby bylo zaručeno správné mazání a odvod tepla, potřebují tato ložiska přívod oleje pod tlakem.



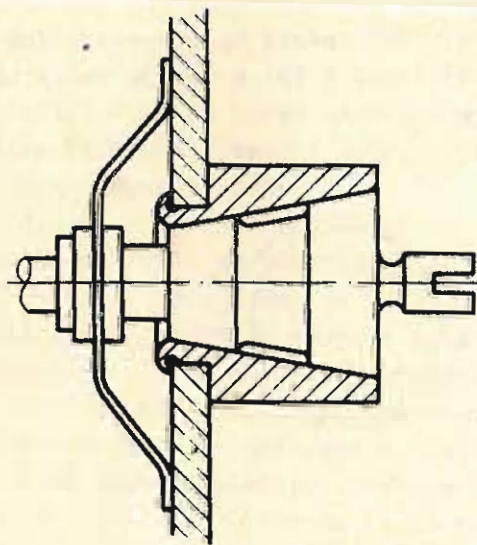
Obr. 8.61

Přesné otočné uložení můžeme docílit také pomocí kuželových čepů. Pro běžné uložení, zatížené radiálními silami, se kuželových čepů užívá omezeně, protože vlivem těsnosti vykazují větší ztráty třením než ložisko válcové. Hodí se však pro otočné uložení s malými otáčkami, při občasné chodu, a to v těch případech, kdy je žádána minimální vůle, vodotěsnost (na př. u kohoutů) nebo má být zaručena elektrická vodivost.

Pro vymezení vůle ve stykové ploše se musí poloha čepu zajistit buď pomocí matic (obr. 8.57) nebo při požadavku na těsnost a vodivost pak zavedením axiální síly zatlačující čep do díry. Zatlačování čepu se provádí nejčastěji pomocí ploché (obr. 8.62), membránové (obr. 8.63) a válcové šroubové pružiny. Pro dlouhé kuželové čepy se vrcholový úhel kužele volí $14 + 15^\circ$. Aby se kužel nerovnoměrně neopotřeboval a dosáhlo se lepšího těsnění, odlehčuje se čep přibližně uprostřed délky příčným osazením (obr. 8.63).



Obr. 8.62



Obr. 8.63

Protože kuželové čepy lze přesně zabrousit s pánví a vymezovat tímto způsobem vůle i po opotřebení, užívají se tato kuželová ložiska u velmi přesných přístrojů úhlových. O uložení u úhlových přístrojů bude mluveno ve zvláštní kapitole.

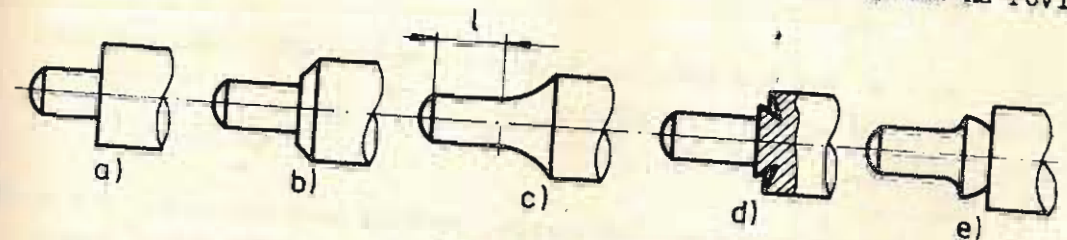
Axiální kluzná ložiska jsou, pokud se týká tvarů, užití a výpočtů, analogická ložiskům ve všeobecném strojnictví a proto o nich se zmiňovat nebudeme. O speciálních případech řešení uložení na axiálních ložiskách bude upozorněno v dalším výkladu.

Související normy ČSN.

ČSN 02 3403 + 02 3405 ; 02 3410, 02 3420, 02 3481, 02 3495, 02 3496, 02 3497, 02 3499, 02 3090 + 02 3092.

8.1.2. Č í p k o v á u l o ž e n í

Otočné uložení hřídel malých průměrů spočívá na čepěch, kterým říkáme č í p k y . Čípky jsou zpravidla vysoustruženy přímo z hřídele, pouze někdy bývají vsazovány. Průměry čípků se pohybují v rozsahu $5 + 0,08$ mm, a to podle zatížení hřídelíku. Průměr $\phi 5$ mm se používá pro větší zatížení např. u perovníku budíku, $\phi 0,08 + 0,12$ u setrvačky. U měřicích přístrojů se průměr čípku pohybuje okolo 1 mm. Tvary používaných čípků jsou uvedeny na obr. 8.64. Provedení a je nejjednodušší, ale používá se jej poměrně málo, protože má vzhledem k velkému vrubovému účinku malou únosnost a tření při dosednutí na čelní plochu osazení rychle vzrůstá. Téměř standardní provedení je u čípku b. Kuželové plošky dovolují střídit čípek i při dalších přešetření; třecí poměry při dosednutí na čelní plochy jsou menší než u a. Výhodnější pevnostní poměry má čípek c, s táhlým přechodem do průměru hřídelíku. Čípky d a e mají ještě výhodu v tom, že brání roztekání oleje. Čípek f je určen pro vsazení do hřídele z měkkého materiálu nebo při opravách zalomených čípků. Konec čípku je zaoblen nebo opatřen malou rovinnou ploškou, která slouží k zachycení axiálních sil při opření na rovinnou plochu dorazu.



Obr. 8.64

Délka čípku se vzhledem k namáhání ra ohyb volí maximálně $l = 3d$. Doporučuje se provádět pevnostní kontrolu na ohyb a na otláčení, protože při malých průměrech čípků i malé zatížení vyvolá velká napětí. Dovolená napětí čípku na ohyb $\sigma_{o\text{dov}} \leq 100$ MPa a na otláčení $p_{\text{dov}} \leq 2$ MPa. Větší měrný tlak urychluje opotřebení. Volba nízkého dovoleného napětí na ohyb je zdůvodněna tím, že čípek je vystaven náhodným silám, které mohou být větší než provozní. Materiál čípku i při malých dovolených napětích a malých měrných tlacích vyžaduje kvalitní ocel, která se kalí a popouští do

modra, aby se dala ještě opracovat. Drsnost povrchu čípků má být co nejmenší a proto se leští.

Velikost třecího momentu se určí ze vztahu

$$M_T = \frac{1}{2} F \cdot f \cdot d \quad [\text{N mm}] \quad (8.1)$$

resp. $M_T = \frac{2}{\pi} F \cdot f \cdot d \quad [\text{N mm}],$

a to podle přímkykavosti čípku k pánvičce.

V uvedeném vztahu F je radiální zatížení čípku $[\text{N}]$

d je průměr čípku $[\text{mm}]$

f je součinitel tření.

Hodnota součinitele tření se podle provedených výzkumů pohybuje v mezích $0,12 + 0,3$, v závislosti na rychlostních poměrech, způsobu uložení a mazání. Zde je nutno podotknout, že mazání nijak nesnižuje tření, ale naopak jej může i zvýšit při malých vůlích nebo při znečištěném oleji. (Olej má při tomto uložení spíše funkci ochrannou). Menší hodnoty součinitelů tření se vyskytují u čípků, které jsou uloženy v kamenech, kde při rozbíhání je $f = 0,1$ a za pohybu $f = 0,05$.

Kvalita přístrojů je posuzována podle velikosti třecího momentu, který vyvolává chybu třením a tím ovlivňuje přesnost přístroje. Chyba třením nemá u přesných přístrojů překročit hranici $0,5 \%$ rozsahu přístroje. U provozních přístrojů se může chyba třením pohybovat v rozmezí $1 + 2 \%$ délky stupnice. Aby bylo možno při daném třecím momentu M_T určit hnací (vychylovací) moment M , zavádí se pojem jakostní třecí činitel, definovaný vztahem

$$J_R = \frac{M_T}{M} \cdot 100 \%. \quad (8.2)$$

Zvolíme-li si nyní hodnotu jakostního třecího činitele a určíme-li si hodnotu třecího momentu, vypočteme hodnotu hnacího momentu ze vztahu

$$M = \frac{M_T}{J_R} \quad (8.3)$$

Pomocí rovnice 8.1 a 8.2 lze dále vypočítat potřebný průměr čípku z výrazu

$$d = \frac{2 M_T}{F \cdot f} = \frac{2 J_R \cdot M}{F \cdot f} \quad (8.4)$$

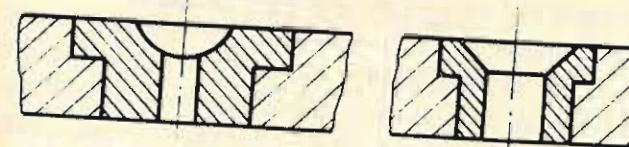
Bude-li např. hmotnost otáčivé části přístroje, tvořící zátěžnou sílu, $G = 0,005 \text{ kg}$, součinitel tření $f = 0,1$, jakostní třecí činitel $J_R = 1 \%$ a hnací moment $M = 0,1 \text{ Nmm}$, pak $M_T = M \cdot J_R = 0,1 \cdot 0,01 = 0,001 \text{ Nmm}$,

$F = G \cdot g = 0,005 \cdot 9,81 = 0,04905 \text{ N}$ a průměr čípku

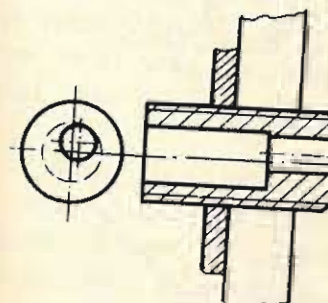
$$d = \frac{2 M_T}{F \cdot f} = \frac{2 \cdot 0,001}{0,04905 \cdot 0,1} \approx 0,4 \text{ mm}$$

Ložiska pro uložení čípku se u méně náročných ložiskových uzlů provádějí prostými vývrtky v nosných deskách analogicky podle obr. 8.2 a 8.3, avšak bez mazacích drážek. Provedení dle obr. 8.2 je méně vhodné. V případě, že nosné součásti pro uložení čípků nevyhovují svými kluznými vlastnostmi, používáme ložisková pouzdra,

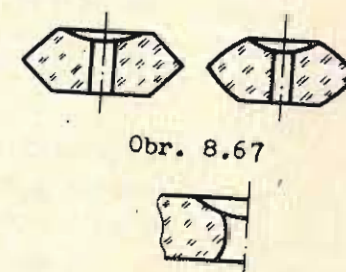
která se do stěny nalisovávají (obr. 8.65). Tento způsob řešení má ještě tu výhodu, že pouzdro můžeme po opotřebení vyměnit. Ložiskové pouzdro je možné opatřit šroubovým závitem s jemným stoupáním a toto zašroubovat do nosné stěny a pojistit proti uvolnění. Aby bylo umožněno vyrovnat nesouososti, bývá ložiskový vývrt umístěn excentricky vzhledem k ose šroubu (obr. 8.66).



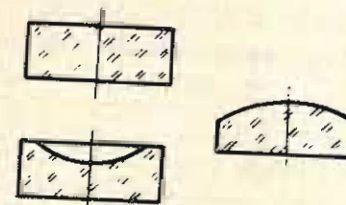
Obr. 8.65



Obr. 8.66

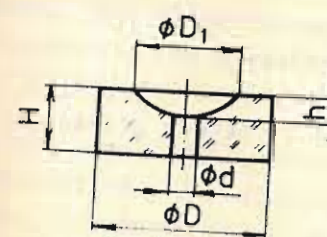


Obr. 8.67

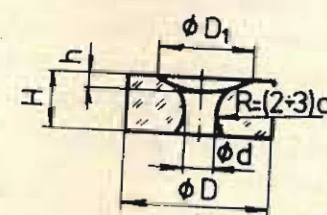


Obr. 8.69

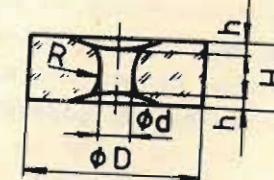
Kvalitního uložení čípku v ložisku dosáhneme, uložíme-li čípek do kameného ložiska. Toto uložení zaručuje dobré vedení a zmenšuje opotřebení. Jako kamené používáme tvrdých látek, a to především korundu, červeného rubínu a safíru, dnes vyráběných vesměs uměle. Kameny lze dokonale vyleštit a jsou chemicky netečné vůči olejům. Kamenům dáváme různé tvary, a to podle účelu k jakému mají sloužit. Mají-li kameny sloužit k radiálnímu vedení, jsou provrtané. Vrtání je buď válcové (obr. 8.67) nebo je zaoblené t. zv. olivové vrtání (obr. 8.68). Válcové vrtání je vhodné např. pro letecké palubní přístroje. Ložiska s olivovým vrtáním jsou určena především pro nejcitlivější přístroje, protože snižuje vnitřní tření a lépe vede hřídelíky s větší úhlovou rychlostí. Pro opěrná ložiska se dělají kameny plné s rovinnými čely, nebo s konvexní a konkávní plochou. (obr. 8.69). Tvary kamenů a jejich rozměry jsou výrobcem normovány a dodávány v ustálených formách. Vrtaná a krycí safírová ložiska, vyráběná Turnovskými brusírnami, n.p., jsou uvedena na obr. 8.70, 8.71 a 8.72.



VK_s 36-1



VK_s 36-2



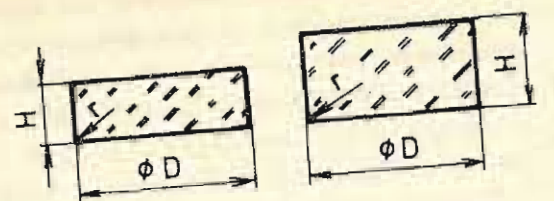
VK_s 36-3

	ϕD	ϕd	H	h	ϕD_1
36/11	1,5	0,3	0,5	0,15	0,8
36/15	1,8	0,8	0,6	0,15	1
36/16	2	0,3	0,5	0,15	1,2
36/110	2	0,8	0,5	0,15	1,2
36/112	2,2	0,8	0,8	0,2	1,5

Obr. 8.70

	ϕD	ϕD_1	ϕd	H	h	R
36/21	1,8	1	0,5	0,6	0,15	-
36/22	1,8	1	0,8	0,6	0,15	-
36/23	2	1,2	0,5	0,8	0,2	-
36/31	2,5	-	0,6	1	0,3	1

Obr. 8.71



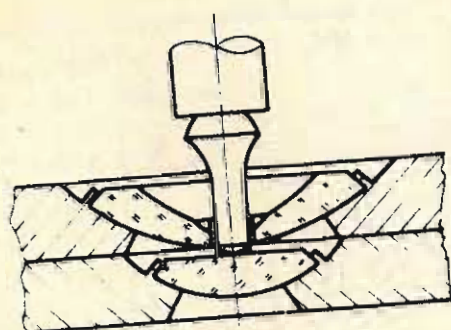
KK_s 26-1 KK_s 26-2

	ϕD	H	r
26/11	1,5	0,5	0,05
26/13	1,8	0,5	0,05
26/15	2,5	0,7	0,05
26/21	2	0,8	—
26/22	2	1	—

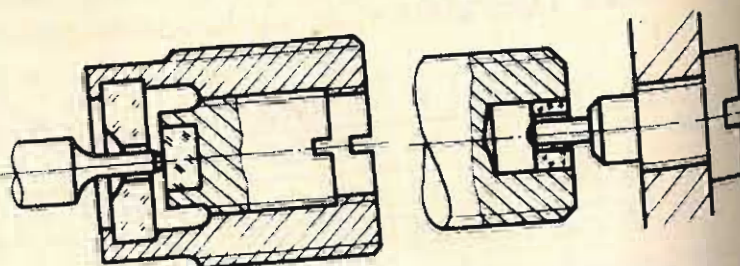
Obr. 8.72

Kameny se zasazují do nosných částí (v hodinách zvaných platiny) nalisováním a mohou se pojistit přehybem (obr. 8.73). Pří-
mé nalisování je umožněno výrobou kamenů v úzkých tolerancích. Pro výrobu a montáž je pak nutné mít pouze přesné výstružníky pro díry a pákový lis. Toto umožňuje také snadnou opravu.

Nejlepší čípkové uložení dává spojení vodícího (radiálního) ložiska s krycím kamenem. Užívá se jej ve většině přesných přístrojů, dobrých chronometrech ap.. Provedení tohoto uložení je na obr. 8.74. Tvar vodícího vrtaného kamene je volen tak, aby olej vzlínal kapilárními silami (olej naznačen černě). Krycí kámen může být také z diamantu ve tvaru jednoduché routy. Pro regulaci osové vůle hřídelíku se kameny vlisovávají do pouzder opatřených vnějším závitem s malým stoupáním a vývrt s maticovým závitem pro další pouzdro s krycím kamenem (obr. 8.75). Základní poloha se nastaví zašroubováním nosného pouzdra do tělesa přístroje a axiální vůle se vymezí posuvem vnitřního pouzdra.

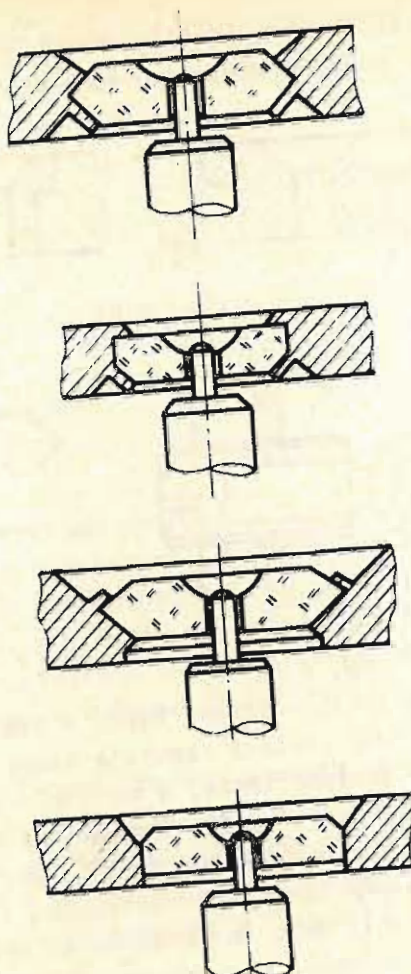


Obr. 8.74



Obr. 8.75

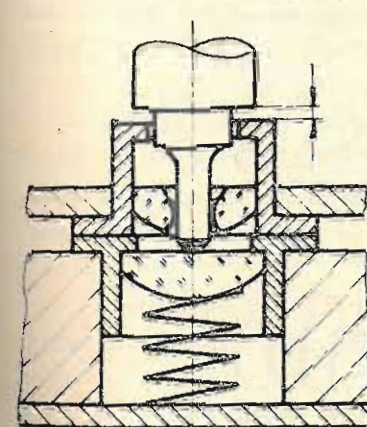
Obr. 8.76



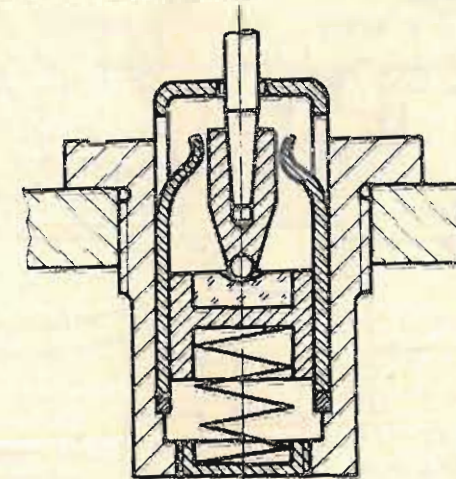
Obr. 8.73

Čípek nemusí být proveden na hřídeli, nýbrž může být vysoustružen na šroubku, který se zašroubuje do nosné části (obr. 8.76). Hřídel je opatřen dírou, když je z plného materiálu nebo může být vyroben z trubky. Do těchto děr jsou vložena buď kovová ložisková pouzdra nebo kameny. Tohoto řešení se používá v těch případech, kdy hřídel je z materiálu se špatnými kluznými vlastnostmi nebo má být velmi lehký. Vlivem vůle mezi čepem a ložiskem se hřídelík při vibracích přístroje snaží natáčet. Smysl natáčení má rozdílné znaménko, a to podle toho zda čípek je na hřídelíku nebo na šroubku. Toto natáčení ovlivňuje přesnost přístroje. Aby se zabránilo přídavné rotaci vibracemi, doporučuje se volit pro uložení hřídelíku obou uvedených způsobů současně. Protože tření se vyskytuje i při nejlepším uložení, lze chybu tření odstranit nebo zmírnit mírným poklepáním na přístroj před odečítáním. Tuto operaci nemusíme provádět, je-li přístroj vystaven vibracím.

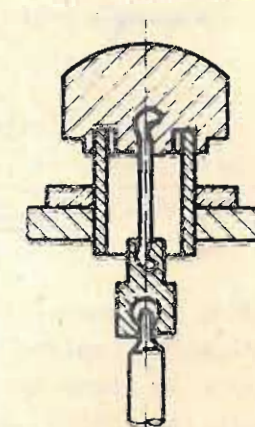
Čípky jsou velmi choulostivé vůči nárazům a otřesům, kdy se mohou ohnout nebo i zlomit. Proto se snažíme čípky chránit pomocí pružného uložení. (pare-choc). Pružné uložení má za úkol vytvořit takové podmínky, aby se čípek vlivem nárazu mohl posunout ve směru rázu ve vedení a ráz pak zachytit zesílenou částí čípku nebo zvláštní narážkou. Princip pružného uložení ukazuje obr. 8.77. Kámen je suvně uložen do vedení. V základní poloze je držen pružinou. Vlivem setrvačných sil se při rázu kámen odsune, a současně se posune i hřídelík s čípkem a opře se o zádržku. Po odeznění rázu se soustava vrací vratnou silou pružiny do původního postavení.



Obr. 8.77



Obr. 8.78

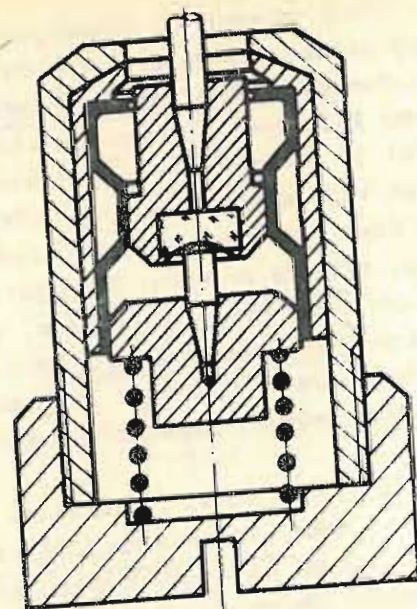


Obr. 8.79

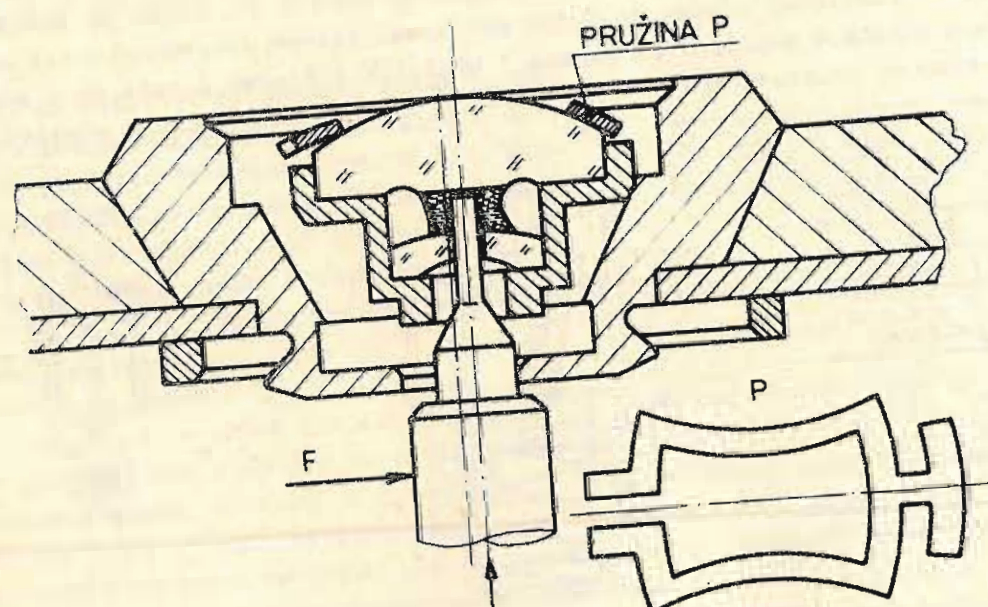
Způsob řešení pružných uložení má mnoho variant, při čemž tyto varianty jsou schopny zachycovat rázy i v různých směrech. Pružných uložení se užívá hlavně u svislých hřídelíků, kde zakončení čípku tvoří patní ložisko. Další provedení pružného uložení s možností zachytit i boční rázy je na obr. 8.78. U delších hřídelíků, jako např. u elektroměrů je horní ložisko uchyceno na pružný závěs (obr. 8.79) a patní ložisko provedeno podle obr. 8.80. V hodinách je např. užito uložení "pare-choc" podle provedení na obr. 8.81, v poloze při zachycování bočního a osového rázu. Pro ztlumení rázu je možno použít i magnetického ložiska.

Čípkové uložení jsou vhodná tam, kde rotační pohyb má být zajištěn s určitou vůlí. Proto se uplatnilo napřed v hodinářském průmyslu. Vůle v uložení nesmí být příliš velká, protože s otáčením čípku může dojít i k odvalování, které zvyšuje citlivost přístroje na úkor přesnosti.

Mazání čípkových uložení není dosud plně vyřešeno, zvláště u čípků velmi malých průměrů. Pro mazání čípkových uložení se používají buď živočišné (kostní) nebo nyní syntetické oleje. Vrstva oleje na mazaných místech musí být velmi malá. V některých případech je lépe čípky nemazat. Živočišné oleje mají schopnost se rozkládat a působit tak korozivně. Po delším období mohou i syntetické oleje zachycovat prachové částice, které vyvolávají ztížený chod přístroje. Z těchto důvodů je nutno provést po určité době přemazání ložisek. Volba maziva a stanovení mazacích intervalů je věcí ověření a zkušenosti.



Obr. 8.80



Obr. 8.81

Normy ČSN související s čípkovým uložením : ČSN 17 0120, 17 0121, 17 0122, 17 0123, ON 17 0140 + 17 0145.

8.1.3. Hrotová uložení

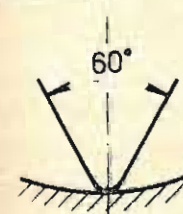
Požadavek malých třecích momentů u měřicích přístrojů si vyžaduje jiného způsobu uložení otočných částí, než je uložení čípkové, které, jak uvidíme z následujícího příkladu, nebude vyhovovat. Má-li pracovat otočný systém přístroje o polo-
viční hmotnosti $G = 0,003 \text{ kg}$ s vychylovacím momentem $0,05 \text{ Nm}$ při daném jakostním třecím činitelem $J_R = 0,15 \%$ a součinitelem tření $f = 0,1$, vychází průměr čípku

$$d_1 = \frac{2M_T}{f \cdot f} = \frac{2 \cdot J_R \cdot M}{G \cdot g \cdot f} = \frac{2 \cdot 0,0015 \cdot 0,05}{0,003 \cdot 9,81 \cdot 0,1} = 0,05 \text{ mm}$$

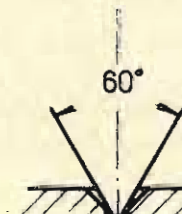
a poloměr čípku $r_1 = 0,025 \text{ mm}$.

Uložení hřídelíku na tomto čípku, nehledě na výrobní možnosti, by nebylo možné, protože ohybové napětí by bylo velmi vysoké a tuhost velmi nízká. Výše uvedeným požadavkům na uložení lze vyhovět tak, že čípku dáme kuželový tvar s kulovým zakončením o výše vypočteném poloměru r_1 , který necháme otáčet na lůžku s kulovým vybráním. Poněvadž tvar čípku připomíná hrot, nazýváme toto uložení u l o ž e - n í m h r o t o v ý m .

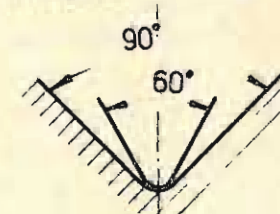
V podstatě mohou vzniknout dva druhy hrotového uložení, a to hrotové uložení v pravém smyslu, jak bylo popsáno výše, znázorněného na obr. 8.82 nebo hrotové uložení tvořené kuželovým čípem, spočívajícím v kuželovém ložisku, které přechází do válcového vývrtu (obr. 8.83).



Obr. 8.82



Obr. 8.83



Obr. 8.84

Kuželový čípek a ložisko dávají možnost dobrého středění. Existuje ještě mezi-
typ uložení, tvořený téměř souhlasnými poloměry zaoblení hrotu a lůžka. (obr. 8.84).
Tohoto uložení se z výrobních důvodů mnoho nepoužívá, i když vykazuje dobré vlastnosti. Hrotové uložení v pravém slova smyslu má

menší třecí moment, než hrotové uložení s kuželovým ložiskem.

Hřídelík s hrotem můžeme ukládat buď ve vodorovné nebo svislé poloze. Poněvadž hřídelík ukládáme do lůžek s malou vůlí, dochází jejím vlivem u vodorovné polohy k poklesu osy hřídelíku vzhledem k ose lůžka a u svislé polohy k jeho vychýlení ze svislého směru.

Geometrické a silové poměry pravého hrotového uložení při vodorovném hřídelíku jsou znázorněny na obr. 8.85. Vlivem axiální vůle dojde k poklesu hřídelíku a kulové zakončení hrotu se dotkne

lůžka v bodě E. Vzdálenost bodu E od teoretické osy lůžka O_1 bude

$$DE = a + r = r_2 \frac{\sqrt{s[4(r_2 - r_1) - s]}}{2(r_2 - r_1)} \quad (8.5)$$

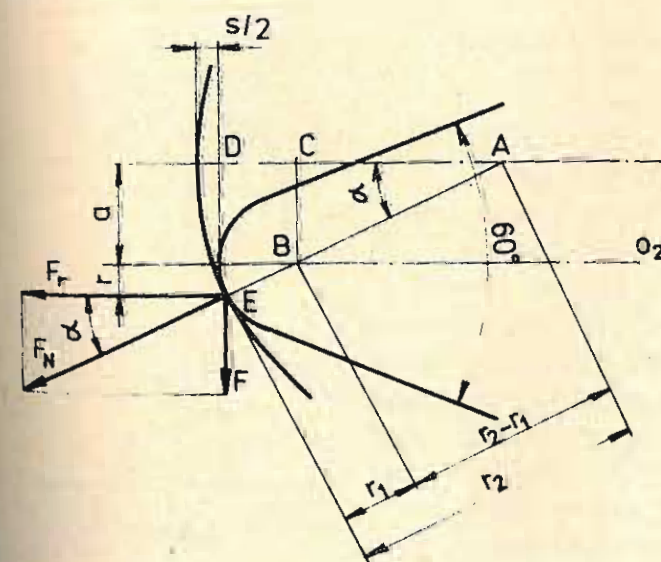
Vzdálenost osy hřídelíku od osy lůžek

$$a = \frac{1}{2} \sqrt{s[4(r_2 - r_1) - s]} \quad (8.6)$$

Poloměr rotace bodu E k ose hřídelíku

$$r = \frac{r_1}{2(r_2 - r_1)} \sqrt{s[4(r_2 - r_1) - s]} \quad (8.7)$$

kde s je axiální vůle; r_1 , r_2 jsou poloměry zaoblení hrotu a lůžka.



Obr. 8.85

Vzdálenost a slouží k určení chyby přístroje, způsobené nesouostostí středu kruhové stupnice s osou rotace hřídele s ukazatelem. Jestliže na střed hřídele přiložíme sílu $2F$, pak normální síla, působící v bodě dotyku E ,

$$F_N = \frac{F}{\sin \alpha} \quad (8.8)$$

Třecí síla mezi hrotem a lůžkem

$$F_T = F_N \cdot f = \frac{F}{\sin \alpha} \cdot f \quad (8.9)$$

Třecí moment v otočném uložení

$$M_T = F_T \cdot r = \frac{F}{\sin \alpha} \cdot f \cdot r \quad (8.10)$$

Protože $r = r_1 \sin \alpha$, bude třecí moment

$$M_T = F \cdot f \cdot r_1 \quad (8.11)$$

kde f je součinitel tření.

Z uvedeného vztahu plyne, že třecí moment hrotového uložení je funkcí zátěžné síly, součinitele tření a poloměru zaoblení hrotu r_1 . Třecí moment nezávisí na poloze r a ani na axiální vůli.

Zatížení vyvolá v bodě dotyku hrotu s lůžkem vysokou hodnotu měrného tlaku, která dosahuje tisíce MPa. Maximální hodnotu kontaktního tlaku určíme z Hertzova vztahu.

$$p_{\max}^3 = \sigma_{\max}^3 = 0,235 \left(\frac{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}} \right)^2 \cdot F_N \quad [\text{MPa} = \text{Nmm}^{-2}] \quad (8.12)$$

kde r_1 a r_2 jsou poloměry hlavních křivosti hrotu a lůžka v místě dotyku [mm]

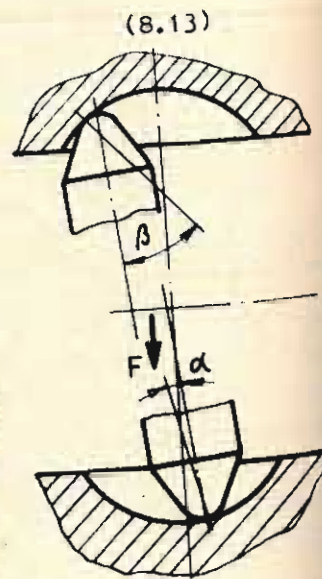
E_1 , E_2 jsou moduly v tahu hřídelíku a lůžka [MPa] pro ocel

$E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa, pro korund a safír $E = 5 \cdot 10^5$ MPa, pro rubín $E = 4,5 \cdot 10^5$

MPa. Je-li $r_2 \gg r_1$, lze vztah 8.12 redukovat na výraz

$$p_{\max}^3 = \sigma_{\max}^3 = 0,235 \frac{F_N}{\left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^2 r_1^2} \quad [\text{MPa}]$$

Při svislém uložení hřídelíku s danou axiální vůlí (obr. 8.86) se snaží spodní hrot zaujmout nejnižší polohu, kdežto horní hrot se vlivem vůle vychýlí na horním lůžku o míru určenou vztahem (8.5) resp. (8.6) s tím rozdílem, že za a dosadíme dvojnásobnou hodnotu. Třecí a silové poměry jsou analogické jako u vodorovného hřídele s uvažováním směru zátěžné síly. Na spodním lůžku jsou třecí poměry lepší a teoreticky při čistě svislém hřídelíku a dokonale tuhých materiálech by měly být nulové. Ve skutečnosti však i zde vzniká tření, které je způsobeno tím, že styková ploška není nulová. V místě dotyku totiž dochází k plastickým deformacím. Při svislém hřídelíku je poloměr stykové plochy podle Hertzova vztahu



Obr. 8.86

$$R^3 = 0,682 \left(\frac{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \right) \cdot F_N \quad [\text{mm}] \quad (8.14)$$

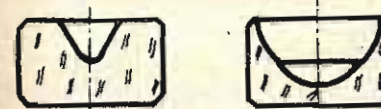
Třecí moment při eliptickém rozložení tlaku na stykové ploše

$$M_T = \frac{3}{16} \pi \cdot f \cdot F_N \cdot R \quad [\text{Nmm}] \quad (8.15)$$

Aby se třecí poměry a chyby uložení způsobené vůlí snížily na minimum, musíme zajistit u hrotového uložení možnost regulovat vůli. Vysoké dotykové tlaky mezi hrotem a lůžkem vyžadují velmi tvrdé materiály hrotu a lůžka. Pro hroty se volí chromniklová nebo berylliumwolframová ocel, kalená a leštěná. Lůžka pro méně kvalitní uložení se dají vyrobít z kalitelné oceli, pro kvalitní uložení se vyrábí z kamenů, a to z achátu, rubínu, safíru a korundu. Maximální dovolený tlak bývá u oceli na ocel 300 + 340 MPa, pro ocel na korundu a safír 200 MPa. Součinitel tření se pohybuje v mezích 0,8 + 1,2. Mazáním se tření nezměňuje, ale naopak přilnavost oleje může tření zvýšit za klidu i za pohybu. Jak bylo řečeno, tření závisí na poloze hřídelíku a proto přesné přístroje mají mít vždy avislou polohu hřídelíku.

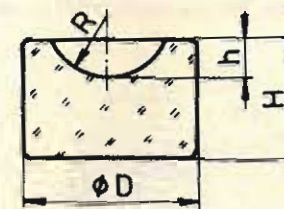
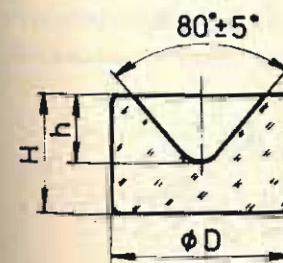
Poloměr zaoblení hrotu se může pohybovat v rozmezí $r_1 = 0,005 + 0,1$ mm, přičemž pro těžší otočné systémy se volí zaoblení větší ($r_1 = 0,03 + 0,1$ mm). Poloměr zaoblení lůžka bývá $r_2 = (4 + 10)r_1$. Úhel kužele hrotu se volí obvykle 60° .

Kameny pro hrotové uložení mají normovaný tvar podle obr. 8.87. Rozměry kamenů z umělého safíru z Turnovských brusíren udává obr. 8.88.



Obr. 8.87

Pro uložení otáčivého systému je v podstatě jedno, zda hrot je na hřídeli a lůžko ve skříní nebo naopak. Obvykle bývá hrot na hřídeli a lůžko ve skříní nebo je zapašeno do dřívku šroubu, který se zašroubovává do tělesa. Tímto způsobem je možno regulovat axiální vůli.



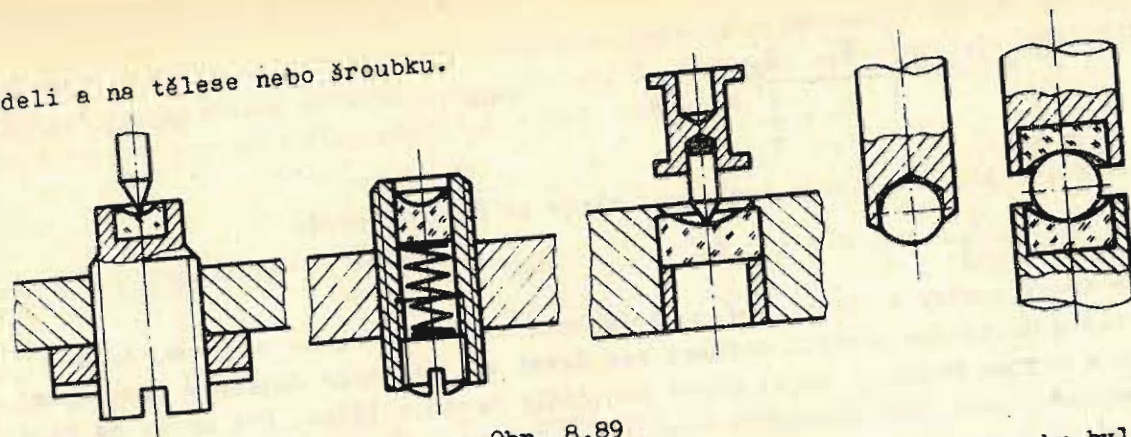
KLs 13	phi D	H	h
1,2 x 1	1,2	1	0,35
1,6 x 1,2	1,6	1,2	0,5
2 x 1,5	2	1,5	0,6

MLs 15	phi D	H	h	R
15/1	2,5	1,4	0,4	1,2
15/2	2,5	1,4	0,4	0,8
15/6	2,5	2	0,4	0,8

Obr. 8.88

Základní provedení hrotového uložení ukazuje obr. 8.89. Aby se zabránilo poškození hrotového uložení rázy, používá se odpruženého uložení kamene. Hroty lze také vsazovat do hřídelíku a u provozních přístrojů lze hrot nahradit zalisovanou nebo i volně vsazenou kuličkou mezi lůžka, vytvořená na

hřídeli a na tělese nebo šroubku.



Obr. 8.89

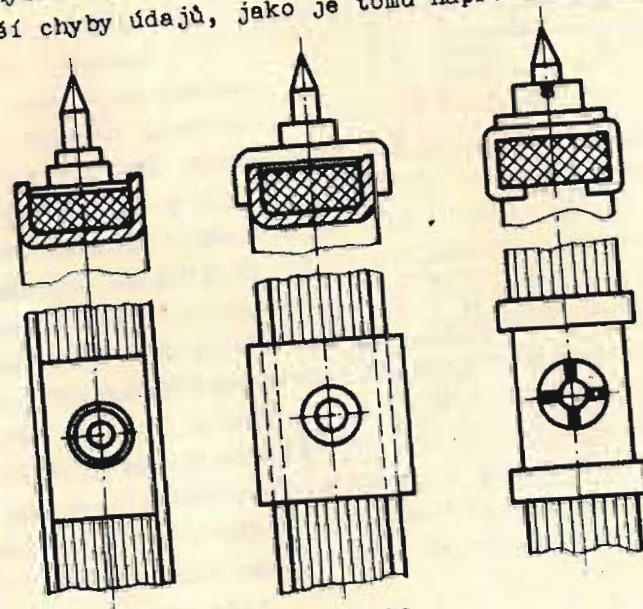
Pro snížení třecího momentu by bylo výhodné, kdyby se užilo letmého uložení hřídelíku, t.j. na jednom ložisku, jak to ukazuje obr. 8.90a. Tímto způsobem se ukládají např. magnetické střelky přesných kompasů (obr. 8.90b). Pro otočné cívky se však toto uložení neosvědčilo a tak se tyto ukládají do dvou hrotových ložisek. Hroty pro cívky měřicích přístrojů se nasazují do držáku, a to buď přímým nalisováním nebo našroubováním. Držák je buď součástí nosné destičky (obr. 8.91).

Nosná destička s hrotem se nanytává popř. se do ní zašroubovává (obr. 8.91). U těžších systémů se destička pojistí ky nebo se na nosnou destičku nanytává popř. se do ní zašroubovává (obr. 8.91).

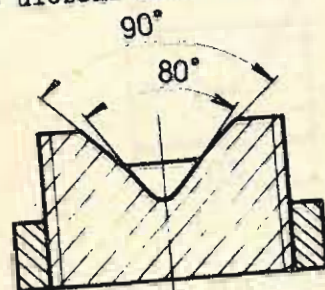


Obr. 8.91

přehybem nebo jazýčky (obr. 8.92). U levných přístrojů, u nichž jsou dovoleny větší chyby údajů, jako je tomu např. u budíků, se pro uložení setrvačky užívá



Obr. 8.92

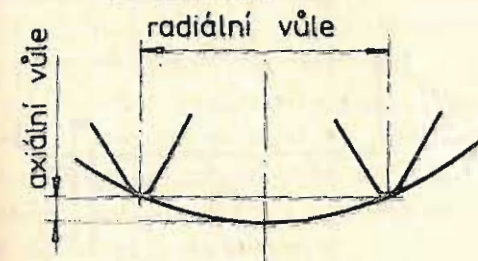


Obr. 8.93

jednoduchého hrotového uložení s mosaznými čepy a lůžkem z ocele tvarovaného podle obr. 8.93. Vývrt se provede např. pod úhlem 90° a pak se důlčikem upraví na úhel 80° . I při tomto hrubém uložení je třecí moment menší, než kdyby se užilo

čípkového uložení. Trvanlivost tohoto způsobu uložení závisí na jakosti užití oceli.

Mazání pravých hrotových uložení není dosud uspokojivě vyřešeno. Tření se mazáním nezmění, ale naopak zkušenosti a výzkum ukazují, že se tření zvyšuje se vzrůstem frekvence otáčení. Nárůst třecího momentu je však pro svislý hřídelík menší. Ukazuje se, že lépe uložení nemazat, protože tření je menší ve srovnání s mazaným uložením.



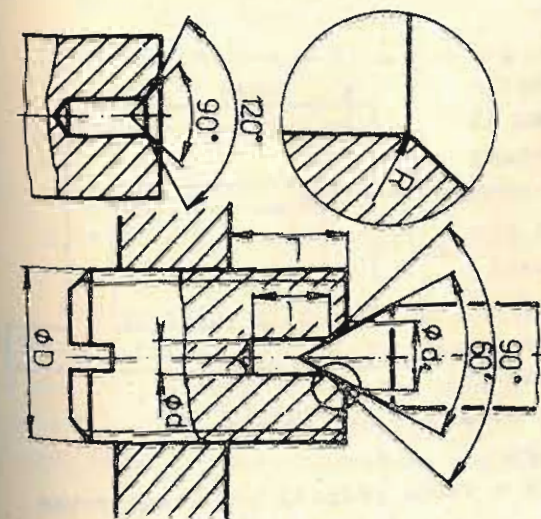
Obr. 8.94

Axiální vůle u pravého hrotového uložení vyvolává poměrně velkou radiální vůli (obr. 8.94) a tedy i neurčitost polohy hřídelíku. U přesných laboratorních přístrojů se tato radiální vůle dá vypočítat nebo změřit a pak zavést opravný součinitel pro korekci údaje. U provozních přístrojů neurčitost polohy nelze snadno zjistit a proto se pro uložení hřídelíku používá uložení druhého typu (obr. 8.83).

Toto uložení vykazuje vzhledem k pravému hrotovému uložení větší třecí moment, ale vzhledem k čípkovému uložení má větší pevnost čípku. Rovněž lze u tohoto uložení axiálním posuvem ložiska vymezit axiální vůli a také je možno více se přiblížit k teoretické ose otáčení. Abychom získali malý třecí moment, ukládáme čep do malého vývrtu (až $0,1 \text{ mm}$) a ukládací délku volíme kratší. Kratší ukládací délka vyvolává větší měrné tlaky a proto z hlediska opotřebení toto uložení není vhodné pro trvalý chod, ale jen pro chod občasný s malou frekvencí otáčení. Toto uložení dává možnost dobré realizace osy otáčení. Stává se standardním uložením většiny provozních přístrojů.

Na základě zkušeností a výzkumu byly zjištěny nejvhodnější rozměry ložisek a čepů, které se doporučují ke konstrukci. Rozměry hrotového uložení s příslušným tvarováním jsou uvedeny na obr. 8.95.

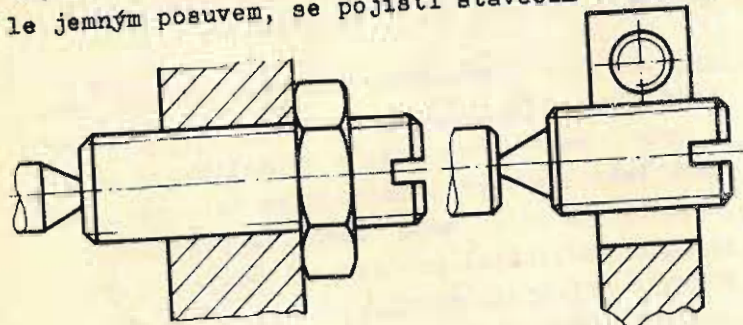
Hrotové uložení druhého typu má rovněž dvě konstrukční modifikace, a to s otočným čípkem a pevným ložiskem nebo naopak s otočným ložiskem a pevným čípkem. Obě uložení jsou rovnocenná. Ta část ložiskového uzlu, která je uložena v rámu



Obr. 8.95

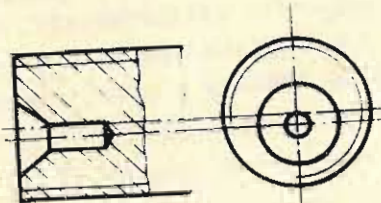
Rozsah průměrů D		d ₁	d	L	l
1,5	2,5	1,20	0,50	1,50	0,8
2,5	5,0	2,00	0,75	2,50	1
5	10	2,50	1	3	1,2
10	20	4	1,50	4,50	1,8
20	40	5	2	6	2,4

bývá konstruována tak, aby se pomocí ní dala seřizovat axiální vůle a tím i vy-
středění. Pro obvyklé uložení je nepohyblivý hrot nebo ložisko opatřeno vnějším
závitem, který se zašroubovává do maticového závitu ve skříní a pojistí proti sa-
movolnému uvolnění (obr. 8.96). Nepřesnost při výrobě závitu může při této úpra-
vě hrotu a ložiska vyvolat nesouosost. Tam, kde se žádá dodržení souososti, umís-
ťuje se hrot na hladký dřík a vkládá se do hladké díry ve stěně. Po nastavení vů-
le jemným posuvem, se pojistí stavěcím šroubkem (obr. 8.97).



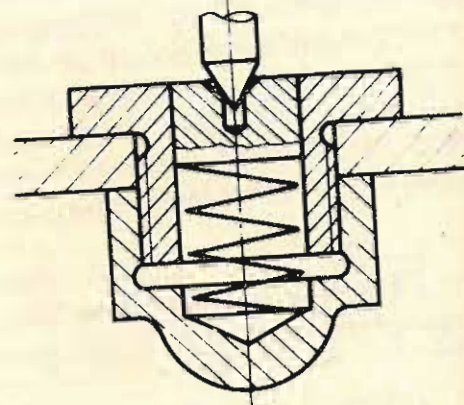
Obr. 8.96

Pro nastavení souososti je možné použít také excentrického vývrtu v nosném válečku
vlastního ložiska (obr. 8.98). Při ochraně před poškozením rázy můžeme ložisko
odpružit analogickou
konstrukcí jako u
pravého hrotového
uložení nebo použije-
me konstrukce z obr.
8.99.



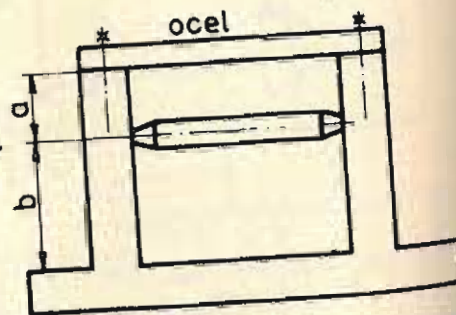
Obr. 8.98

Při požadavku
na velmi přesné vede-
ní, pokud ovšem nežá-
dáme lehký chod, dá-
váme uložení malé
předpětí. Předpětí
můžeme vyvodit pomocí
jednoho nebo dvou odpružených ložisek nebo jej vyvodíme pomocí tělesa tak, že jej
opatříme zářezem a pak odpružíme např. šroubem.



Obr. 8.99

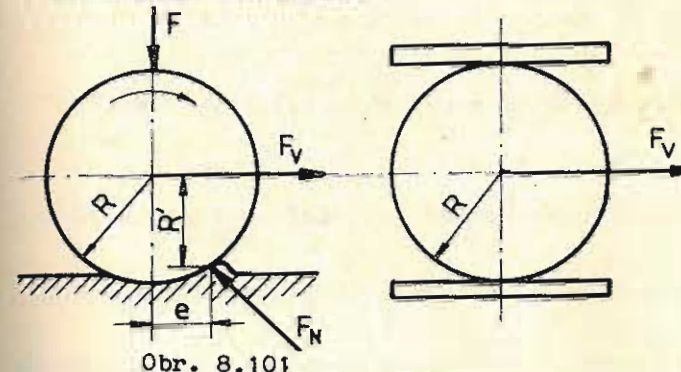
Hrotová uložení malých rozměrů je třeba navr-
hovat také s ohledem na tepelnou roztažnost rámu či
nových desek, aby nedošlo vlivem dilatací k sevření
nebo naopak ke zvětšení vůle v uložení a tím k uvol-
nění hřídelíku. Vůle v uložení se má nastavovat pro
nejnižší pracovní teplotu. Je-li pracovní teplotní
rozsah velký a hrozí tak uvolnění hřídele, pak se
velkým tepelným dilatacím má zabránit např. kon-
strukčním řešením podle obr. 8.100. U tohoto řešení
je provedeno překlenutí spárovaných ložiskových uzlů
dílcem s menší tepelnou dilatací i na úkor vzniku
tepelných pnutí v nosném dílci. Zvětšení vůle je v tomto případě přibližně rovna
poměru a/b.



Obr. 8.100

8.2. OTOČNÁ ULOŽENÍ VALIVÁ

Otočná uložení valivá dostaneme z kluzných uložení tím, že kluzné tření
nahradíme třením valivým. Otočné uložení valivé je charakterizováno odvalováním
členů kinematické dvojice po sobě. Valivé tření je menší, zvláště na počátku roz-
běhu při libovolné frekvenci otáčení, má menší spotřebu maziva a je méně citlivé
na kolísání teplot. Velikost třecího momentu při odvalování je závislá na tvr-
dosti povrchů po sobě se odvalujících rotačních dvojic. Při dokonale tvrdých ma-
teriálech by odvalování mělo být bez odporu. U reálných materiálů dochází vlivem
hmotnosti a zatížení v místě styku těles (např. kuličky či válečku na podložce)
k deformaci obou dílců.



Obr. 8.101

Uvedeme-li valivé těleso do ro-
tačního pohybu vznikne v první
fázi posun deformované zóny ve
směru pohybu a teprve po překoná-
ní nastane druhá fáze pohybu -
odvalování.

Velikost odporu proti pohy-
bu určíme z momentové podmínky
(obr. 8.101).

$$F \cdot e = F_v' R' \approx FR$$

$$(R' \gg e, R' \approx R)$$

$$(8.16)$$

Valivý odpor

$$F_v = \frac{F \cdot e}{R'} \approx \frac{F \cdot e}{R}$$

$$[N, mm], [N]$$

$$(8.17)$$

Hodnota ramene síly e je závislá na materiálu a tvrdosti jeho povrchu.
U ocelových kuliček nebo válečků je $e = 0,005 + 0,1$.

Součin ramene e a síly F udává moment valivého tření

$$M_T = F \cdot e$$

$$[N mm]$$

$$(8.18)$$

Vložená valivá tělesa mezi dvěma podložkami mají dvojnásobný moment

$$M_T = 2F \cdot e, \text{ výsledná síla odporu se však nemění.}$$

Vlivem eliptického rozložení tlaku (Hertz) na stykové ploše dochází ke slo-
žitějším deformačním poměrům, které ovlivňují odvalování. Při rotaci kuličky ko-
lem osy OO' , dochází k čistému valení jen v bodech BC. Na stykových plochách vně
a uvnitř bodů BC vzniká prokluz, a to dopředný v úseku AB a CD, v úseku BC pak
zpětný. Prokluzy jsou způsobeny rozdílnými poloměry rotace.

Odvalování se může ještě více zkomplikovat, když osa OO' nebude rovnoběžná

se směrem dráhy valení. Při skloněné ose OO' vzniká další rotační pohyb kolem osy EE' , zvaný vrtný. Tento pohyb obecně zvyšuje odpor proti valení. (S tímto komplikovaným pohybem se setkáváme např. u hrotového uložení). Pro posuzování valivého pohybu zavádíme součinitel jakosti pohybu vztahem

$$Q = \frac{|\omega_B|}{|\omega_B| + |\omega_E|} \quad (8.19)$$

kde ω_B je úhlová rychlost bodu B (čisté valení) kolem osy OO' [s^{-1}]

ω_E je úhlová rychlost osy EE' [s^{-1}]

Při $\omega_E = 0$ je $Q = 1$ a pohyb má charakter odvalování

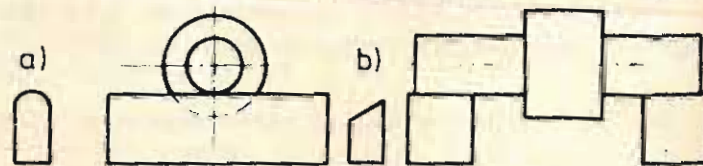
$\omega_E \neq 0$ je $Q < 1$ a výsledný pohyb je složen z obou uvedených pohybů a může vést až k zadření kuličky.

Uvedené vývody mají vliv na celkový výsledný pohyb a na velikost třecího momentu valivého pohybu.

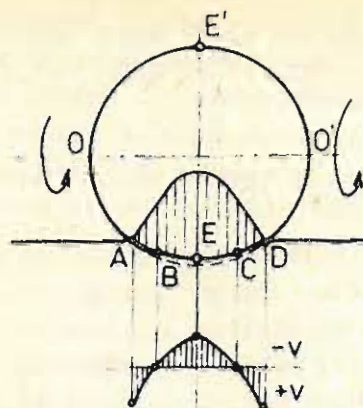
V přesné mechanice můžeme využít otáčivého pohybu rotující součásti k plnění těchto funkcí:

- k vyvození postupného pohybu odvalováním rotující části po přímé nebo i zakřivené dráze
- k vyvození rotačního pohybu válcové součásti uložené na rotujícím či rotujících válcích
- k vytváření pevné podpory rotujících dílců - valivá ložiska.

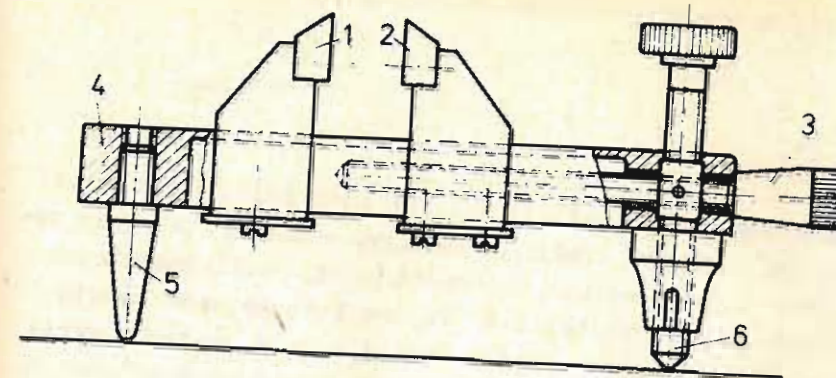
S první uvedenou funkcí se setkáváme u statického vyvažování rotujících součástí. Při statickém vyvažování se využívá čistého odvalování vyvažovaného dílce na přímé dráze. Pokud není vyvažovaná součást opatřena válcovými čepy, pak ji nasazujeme na přesné válcové trny. Hřídel nebo válcové trny s nasazenou součástí se nechají odvalovat na přesných rovinných pravítkách obdélníkového nebo kruhového či břitového profilu (obr. 8.103 a, b). Je-li součást nevyvážená, snaží se sama otočit do takové pozice, aby těžiště zaujalo nejnižší polohu. Vyvážená součást se po uvedení do rotace ustaví v libovolné poloze. Aby se součást mohla sama zastavit vlivem odporu při valení, musí být pravítka nastavena přesně do vodorovné polohy. Nastavení správné polohy se provádí rektifikačními šrouby a vodorovná poloha se kontroluje libelou. Vyvažovací zařízení pro statické vyvažování malých hřídelíků, ozubených koleček či jiných rotačních součástí (např. setrvaček) ukazuje obr. 8.104. Na stojánku opatřeném třemi nožkami, z nichž jedna je pevná a dvě tvoří rektifikační šrouby 6, je pevně uchyceno pravítko 1. Druhé pravítko 2 lze posouvat šroubem a tím nastavit potřebnou vzdálenost podle délky vyvažované součásti. Přesná vodorovná poloha achátových pravítek závisí na vodorovné horní ploše stojánku, který tvoří vedení pro posuvné saně. Tuto polohu nastavíme pomocí rektifikačních šroubů a libely.



Obr. 8.103

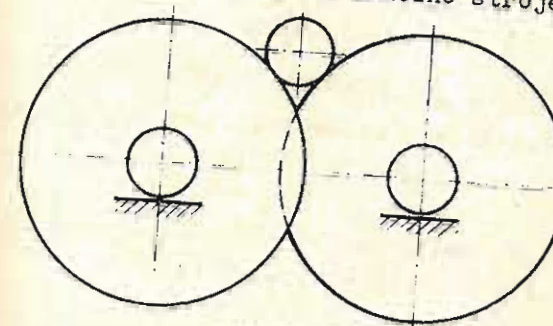


Obr. 8.102



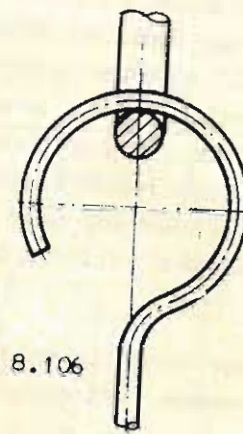
Obr. 8.104

do rot. poh. používáme dvou kalených a vybroušených kotoučů, uložených na přesných kuličkových ložiskách, mezi něž je vložen hřídel nebo trn nesoucí součást (obr. 8.105). Rotační pohyb z hnacího stroje se přivádí na jeden z kotoučů. Přenos pohybu na trn se děje třením podobně jako u třecích převodů. Lehce otočné kotouče mohou také tvořit podporu pro velmi rychle rotující součásti. Sílu dotlačující trn do záběru může tvořit magnetické pole buď z permanentního magnetu nebo elektromagnetu.

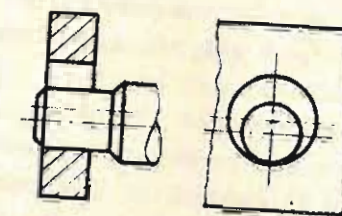


Obr. 8.105

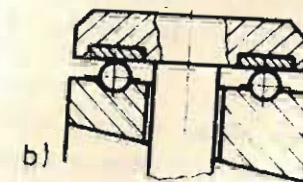
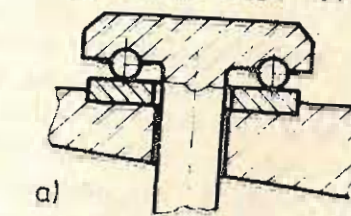
Valivého uložení je třeba užít i v těch případech, kdy chceme zmenšit tření u součástí, u nichž se požaduje ustavení polohy vzhledem k ose zatížení a kývavý pohyb. Takovým způsobem se např. uchycují závěsné háky nebo siloměrné šroubové pružiny, jimiž se vyvozuje zatížení na zkušebních přístrojích (obr. 8.106).



Obr. 8.106



Obr. 8.107



Obr. 8.108

Uvedené uložení dovoluje natáčení okolo osy zatížení a kývný pohyb kolmo k ose zatížení. Tyto pohyby umožňují zaujmutí nejnižší polohy v objímce a současně i dodržení osy zatížení. Podobným způsobem jsou uchyceny i čepy listových vah a větších zatěžovacích zařízení. (obr. 8.107). Větší vůle např. u listových vah může však při malých silách zvýšit citlivost na úkor přesnosti, protože čep pokud nepřekoná tření, odvaluje se po dráze a tím mění délky ramen. Torzní kývavý pohyb s malým třením můžeme zajistit pomocí kuliček odvalujících se na rovinné ploše. Kuličky mohou být vedeny v kruhových drahách buď na kyvadle (obr. 8.108a) nebo na nosné konzole (obr. 8.108 b). Malý třecí odpor docílíme vysokou tvrdostí povrchu odvalovacích

drah a malou drsností. Poslední uvedené uložení se blíží již axiálním valivým ložiskům.

8.2.1. Valivá ložiska

Z kluzného ložiska dostaneme valivé ložisko tak, že mezi čep a pánev vložíme valivé elementy, a to kuličky, válečky, jehly, kuželíky, soudečky. Abychom zajistili pravidelné rozložení valivých elementů po obvodu čepu, používáme klece, která se vkládá mezi oběžné dráhy valivých tělísek. Valivá ložiska nepotřebují záběh a jsou schopna okamžitě přenášet plnou zátěž. Dnešní výroba umožňuje vyrábět ložiska různých typů a přesností a při hromadné výrobě jsou cenově přípustná, někdy i levnější než je výroba kluzného ložiska. Speciální ložiska vyráběná kusově a ložiska velmi přesná jsou však cenově dražší než kluzná ložiska. Mimo uvedené výhody a výhody malého třecího odporu je další předností valivých ložisek zvýšení spolehlivosti, zvláště při pečlivě provedené montáži.

Valivá ložiska můžeme rozdělit podle :

- a) směru zátěžné síly na ložiska radiální a axiální
- b) tvaru valivých tělísek na ložiska kuličková, válečková, jehlová, kuželíková a soudečková.

Axiální ložiska mohou být jednosměrná pro zachycení axiálních sil působících v jednom směru nebo obousměrná, působí-li axiální síly v obou směrech.

Jsou-li ložiskové uzly zatěžovány čistě radiálními silami, používáme pro jejich zachycení radiálních kuličkových ložisek jedno či dvouřadých, válečkových ložisek v různých typových provedeních a ložisek jehlových. Při současném působení radiální a axiální síly, pak malé axiální síly mohou zachytit ložiska kuličková, větší, ložiska opěrná, ložiska s kosodílným stykem a ložiska kuželíková. O volbě druhu uvedených ložisek rozhoduje velikost axiální síly ve srovnání se silou radiální. Uvedený poměr obou zátěžných sil při výpočtech uvádí výrobce. Jsou-li axiální síly větší než síly radiální, pak se užívá kombinace axiálního a radiálního ložiska. Pro vyrovnání nesouosostí děr při ukládání ložisek, při ukládání málo tuhých hřídelů kde očekáváme jejich průhyb, používáme kuličkových ložisek nebo naklápěcích ložisek kuličkových či soudečkových. Použití kuličkových nebo naklápěcích ložisek je vázáno na předpokládanou nesouosost, průhyb a velikost zátěžných sil.

Pro běžná valivá uložení v přesné mechanice používáme normalizovaných ložisek, jejichž výběr provádíme z příslušných katalogů nebo norem. Výpočet valivých ložisek provádíme podle trvanlivostní rovnice

$$L = 10^6 \left(\frac{C}{F_{ekv}} \right)^m \quad [N] \quad (8.20)$$

kde L je trvanlivost ložisek v otáčkách $[n]$

C je základní dynamická únosnost $[N]$

F_{ekv} je ekvivalentní síla, zatěžující ložisko $[N]$

m je exponent ($m = 3$ pro ložiska s bodovým stykem, $m = \frac{10}{3}$ s čárovým stykem).

Ekvivalentní sílu určíme ze vztahu

$$F_{ekv} = V \cdot X \cdot F_r + Y F_a \quad [N] \quad (8.21)$$

kde F_r je radiální síla $[N]$

F_a je axiální síla $[N]$

V je rotační součinitel

X, Y jsou součinitele pro radiální a axiální zatížení uvedené v katalogu ložisek v závislosti na typu ložiska a přímkykavosti valivých elementů k oběhové dráze.

Na spolehlivost uložení má vliv materiál, mazání a provozní podmínky. Pro zajištění větší spolehlivosti ložiskového uzlu provádíme modifikovaný výpočet trvanlivosti podle doporučení ISO

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10} \quad (8.22)$$

kde L_{na} je modifikovaná základní trvanlivost v milionech otáček (index n udává procentuální pravděpodobnost, že ložisko bude vyřazeno, než bude dosaženo trvanlivosti L_{na}).

a_1 je součinitel spolehlivosti

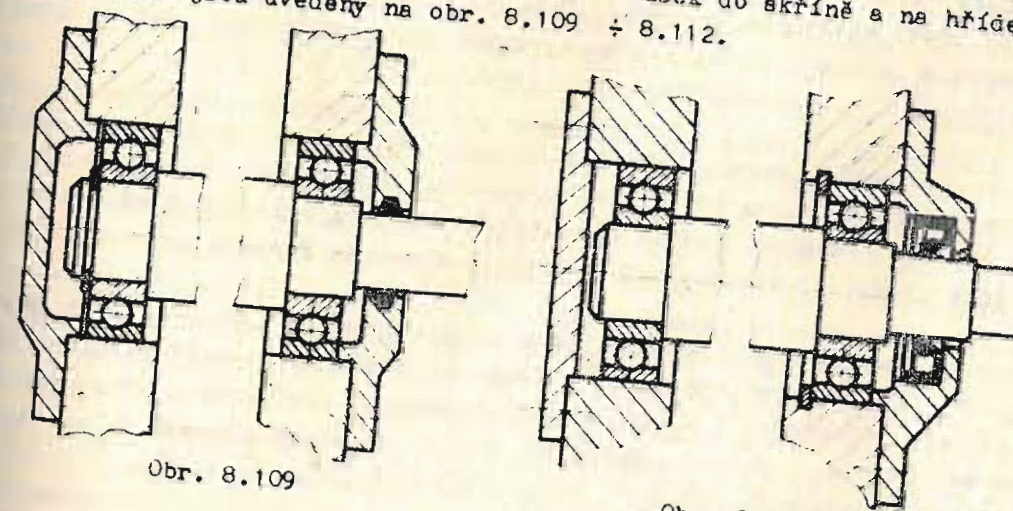
a_2 je součinitel materiálu

a_3 je součinitel provozních podmínek (zejména mazání)

L_{10} je základní trvanlivost (při spolehlivosti 90 %).

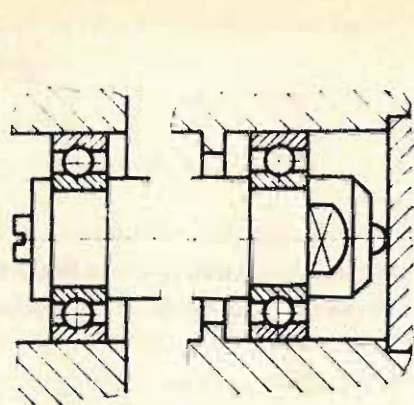
Pro normální spolehlivost 90 % ($n = 10$), obvyklý materiál a běžné provozní podmínky je $a_1 = a_2 = a_3 = 1$. Pro spolehlivost 98 % je $a_1 = 0,33$. Součinitel a_2 je ovlivněn hlavně tvrdostí povrchové vrstvy oběhových drážek (normální požadovaná tvrdost 60 + 63 HRC). Součinitel a_3 je ovlivněn mazáním. Při dokonalém elastohydrodynamickém mazání bez veškerých nečistot je $a_3 > 1$. Obvykle se součinitele a_2 a a_3 posuzují společně, protože vliv mazání a materiálu nelze posuzovat odděleně.

Spolehlivost ložiskového uzlu s valivými ložisky závisí také na jeho konstrukci, t.j. na způsobu ukládání valivých ložisek do skříně a na hřídel. Možné konstrukce uzlů jsou uvedeny na obr. 8.109 + 8.112.

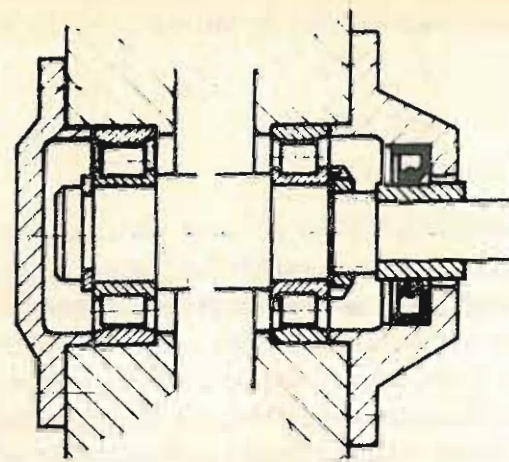


Obr. 8.109

Obr. 8.110



Obr. 8.111



Obr. 8.112

Při ukládání ložisek do skříně a na hřídel musíme brát v úvahu také tepelnou roztažnost materiálu hřídele. Příliš těsné uložení ložisek bez možné tepelné dilatace vyvolává vznik přidavné axiální síly, která pak snižuje spolehlivost uložení. U krátkých hřídelů ukládáme ložiska na hřídel pevně, do skříně suvně a proti vysunutí je zajišťujeme víčky. Mezi víčky a ložisky musí být alespoň na jedné straně malá vůle, která umožňuje tepelnou dilataci hřídele (obr. 8.109). U dlouhých hřídelů je lépe uchytnout ložisko pevně v jednom ložiskovém uzlu, a to jak na hřídeli, tak i ve skříně a v druhém uzlu nechat vnější kroužek bez uchycení v axiálním směru (obr. 8.110). Analogicky postupujeme i v případě, kdy v jednom ložiskovém uzlu použijeme kombinace axiálního i radiálního ložiska. Axiální ložisko uchytneme pevně jak na hřídeli, tak ve skříně, a vnější kroužky radiálních ložisek jsou ve skříně uloženy bez opěr v axiálním směru (obr. 8.111).

Při zvýšené tuhosti hřídele i uložení a při větších radiálních silách používáme ložisek s čarovým stykem. Uvedená ložiska mají pro stejný průměr a stejnou únosnost menší vnější rozměry ve srovnání s ložisky kuličkovými. V případě nutnosti lze větší síly přenášet dvěma ložisky řazenými za sebou v jednom uzlu. Tímto způsobem lze zmenšit vnější rozměry uložení. Ložiska s čarovým stykem, t. j. válečková, jehlová, kuželíková popř. soudečková a některé typy ložisek kuličkových, jako ložiska s kosouhlým stykem se vyrábějí jako dvoudílná se samostatnými vnitřními či vnějšími kroužky. V těchto případech musíme zajistit jak vnitřní, tak i vnější kroužek proti axiálnímu vysunutí. Tepelná dilatace je umožněna buď posuvem válečků či jehel v jednom z kroužků nebo správným nastavením vůle, jak je tomu u ložisek kuželíkových či s kosouhlým stykem (obr. 8.112).

Požadavek na vyšší přesnost uložení hřídelů nebo volně rotujících kotoučů klade zvýšené nároky na volbu ložisek a konstrukční řešení ložiskových uzlů. V zásadě můžeme vysokou přesnost uložení docílit zmenšováním vůle v ložisku, zvyšováním geometrické přesnosti všech prvků ložiska a vlastním řešením uzlu.

Ložiska se vyrábí v pěti základních stupních přesnosti označovaných písmeny N, A, V, P₄, P₂, S. Nejpresnější jsou ložiska S. Výběr se provádí pečlivým proměřováním sériově vyráběných ložisek. Rozsah tolerancí pro jednotlivé stupně přesnosti udává tabulka (obr. 8.113). Radiální vůle se označuje písmeny C₁ až C₅. Normální vůle je označena C₂. Vůle C₁ > C₂; vůle C₃, C₄, C₅ < C₂.

Stupeň přesnosti ČSN	Stupeň přesnosti ISO	Tolerance v % uložení N
N	P0	100 %
P	(P0)	80 %
V	P6	50 %
A	P5	31 %
S	P4	20 %

obr. 8.113

Přesná ložiska vyžadují také užší toleranční pole v uložení jak na hřídeli, tak i ve skříně. Doporučená uložení a stupně přesnosti udává tabulka na obr. 8.114.

Užší tolerance a užití hybného, smykového a posuvného uložení ložisek dává záruku, že deformace po nasazení kroužků zaručí volnou rotaci valivých tělísek i při nejmenší radiální vůli C₂ a tak zabrání zadření ložiska.

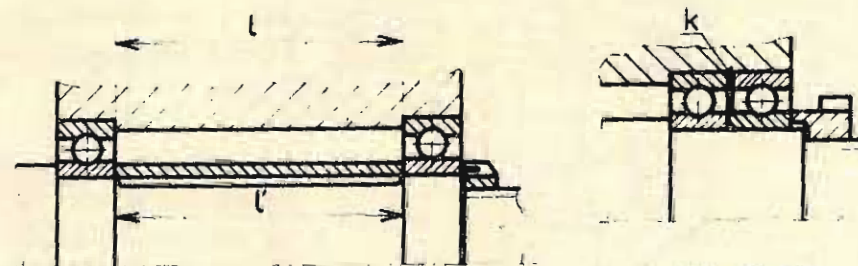
ULOŽENÍ NA HRÍDELI	TOLERANČNÍ POLE	ULOŽENÍ V TĚLESE	TOLERANČNÍ POLE
Stojící hřídel nebo nízké frekvence otáčení a malé zatížení	g 5, g 6	klidné těleso, posuvný vnější kroužek	H 6
Rotující hřídel, střední frekvence otáčení, střední zatížení	h 5, h 6	klidné nebo těleso s nízkou frekvencí otáčení, pevný vnější kroužek	J 6
Rotující hřídel, vysoká frekvence otáčení, velké zatížení	j 5, j 6	Rotující těleso, střední frekvence otáčení, střední zatížení	K 6
Přednostně se užívá stupně přesnosti IT5		Rotující těleso, vysoká frekvence otáčení, velké zatížení	M 6

Obr. 8.114

Konstrukční řešení ložiskového uzlu s přesnými ložisky při malém a středním zatížení je analogické jako při užití normálních ložisek. V důsledku zatížení, zvláště větších, dochází jak u normálních, tak u přesných ložisek, vlivem nerovnoměrného rozložení sil na kuličky způsobené vůlemi z počátku k dosti velkým pružným deformacím, které mají vliv na přesnost chodu.

Cesta, která vede k odstranění nežádoucích radiálních i axiálních vůlí v ložisku, spočívá v docílení rovnoměrného rozložení sil na jednotlivé valivé elementy. Toho dosahujeme tím, že ložiskům dáváme jisté počáteční předpětí již při montáži. Předpětí se může zavádět jak v radiálním, tak v axiálním směru. Radiální předpětí vyvodíme u ložisek vhodným přesahem mezi vnitřním kroužkem a hřídelem. Zde jsme však omezení přesností výroby a velikostí tolerančního pole. Lépe se nastavuje radiální předpětí užitím ložiska s kuželovou dírou a kuželových pouzder, které vtahujeme do díry buď pomocí matic nebo distančních trubek. Volba předpětí a tím i vyvozená pružná deformace vnitřního kroužku je závislá na provozních teplotách, neboť při malých montážních vůlích může nastat sevření valivých elementů. Tohoto způsobu používáme především u ložisek válečkových, jehlových či soudečkových. U ložisek kuličkových a kuželíkových dáváme přednost axiálnímu předpětí. Axiální předpětí vyvodíme vzájemným posunutím oddělitelných kroužků vůči sobě a tím dosáhneme lepší přimykavosti valivých elementů k oběžným drázkám a i zmenšení radiální vůle. Tímto způsobem můžeme zvýšit i přesnost chodu normálních ložisek. Jednoduchým konstrukčním prostředkem pro vyvození předpětí jsou distanční trubky

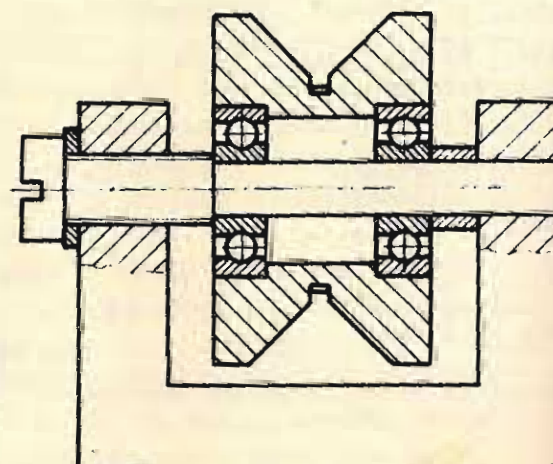
nestejné délky (obr. 8.115), nebo při párovém uložení ložisek použitím jednoho distančního kroužku "k" a utažením ložisek pomocí osazené matice (obr. 8.116). Délka distančních trubek či tloušťka distančního kroužku se předem odzkouší, aby nedocházelo k sevření ložiska. Analogicky lze vymezit vůli při ukládání kladek na osy, a to přebroušením distančních kroužků (obr. 8.117).



Obr. 8.115

Obr. 8.116

Použití kuličkových ložisek radiálních nedává tak přesné uložení, jak se někdy vyžaduje. Pro přesné uložení, zvláště pro vyšší a vysoké otáčky, dáváme přednost ložiskům s kosohlým stykem. Pro menší zatížení a malé průměry používáme ložiska opěrná, která však mají omezenou přesnost. Vyšších přesností docílíme ložisky s kosohlým stykem, která se usazují do ložiskového uzlu s předpětím. Předpětí se vyvozuje buď s distančními trubkami nebo válcovými šroubovými tlačnými nebo membránovými pružinami. Pro zvýšení přesnosti chodu a docílení vyšší únosnosti řadíme více ložisek za sebou nebo zavádíme kombinaci ložisek s kosohlým stykem s válečkovými nebo jehlovými ložisky. Válečková ložiska velmi přesného provedení slouží k radiálnímu vedení a ložiska s kosohlým stykem s předpětím vymezují axiální vůli. Tímto uspořádáním lze docílit přesnosti s házivostí pod $5 \mu\text{m}$. Toto uložení se stává běžným pro uložení vřeten obráběcích strojů.



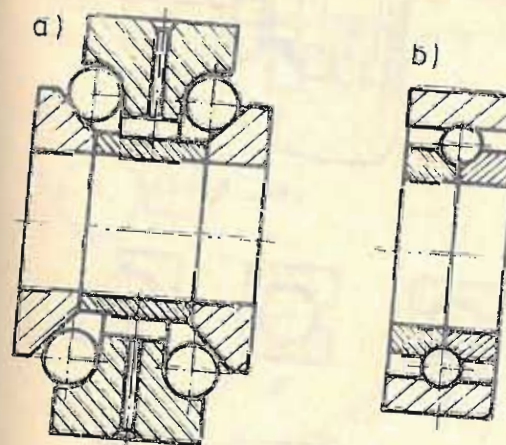
Obr. 8.117

Pro přesné vedení se používá speciálních typů ložisek s kosohlým stykem, které vyrábí fy FAG, SKF. (obr. 8.118). Tato ložiska se u vřeten obráběcích strojů kombinují s přesnými válečkovými ložisky (obr. 8.119), kde ložiska s kosohlým stykem slouží jako ložisko axiální. Uložení vřetene ukazuje obr. 8.120.

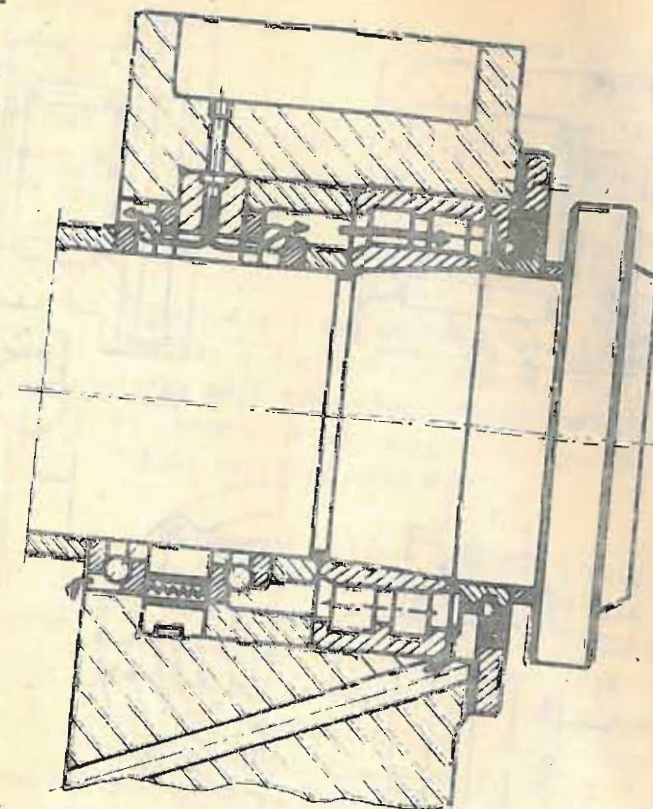
U ložisek s kosohlým stykem se hlavně vymezuje axiální vůle a tím do jisté míry i vůle radiální. Přesnost v radiálním směru je však závislá na úchylce kruhovitosti drah. Proto pro přesné vedení v radiálním směru je lépe užít ložisek válečkových nebo kuželíkových, která jsou tužší.

Vývoj technologie valivých ložisek pokročil již tak daleko, že pro přesné uložení se vyrábějí přímo celé ložiskové uzly, nebo se dodávají submontážní celky jako např. vřetenové jednotky, které se prostě přišroubováním upevní na daný stroj. Takové ložiskové uzly splňují předem dané a odzkoušené požadavky na přesnost uložení. Spojením dvou popř. více ložisek v jeden celek vznikají tzv. integrální

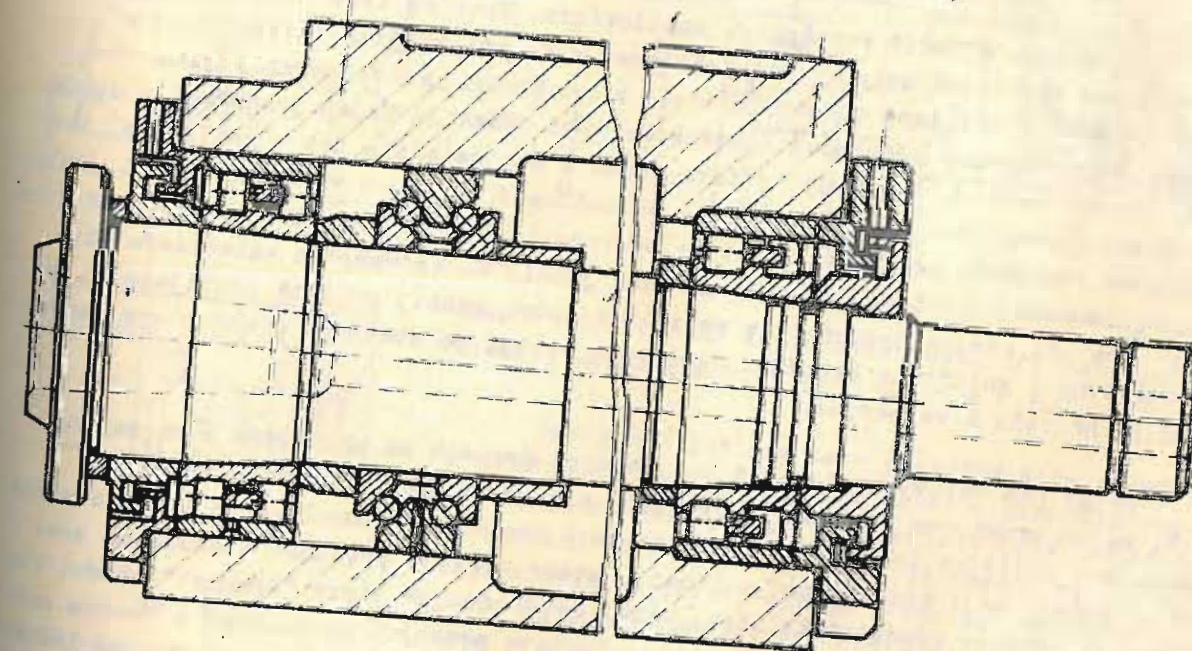
ložiska. Na obr. 8.121 je znázorněno provedení integrálního ložiska radiálně axiálního s kuličkami a jehlami a na obr. 8.122 je podobné ložisko jehlové.



Obr. 8.118



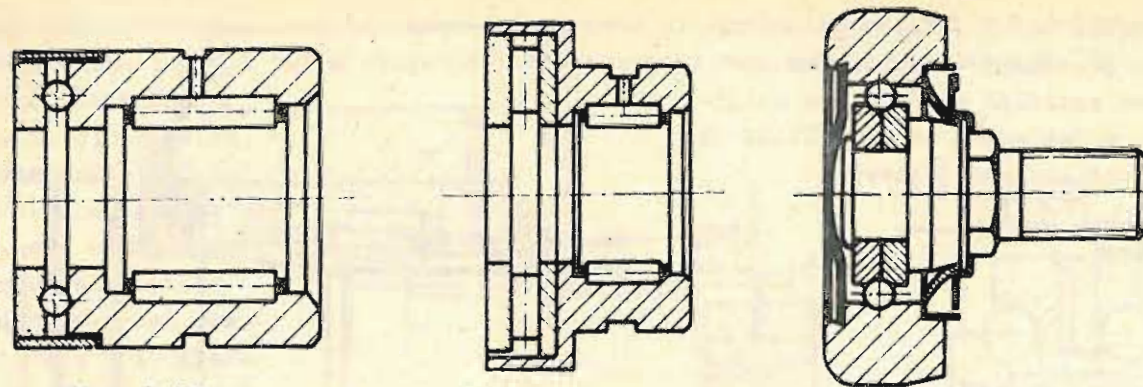
Obr. 8.119



Obr. 8.120

jako samostatné celky se dodávají např. přesné chodící kladky (obr. 8.123), nebo ložiskový uzel zabudovaný do víka s možností naklápění pro vyrovnání nesouososti přírby hřídele.

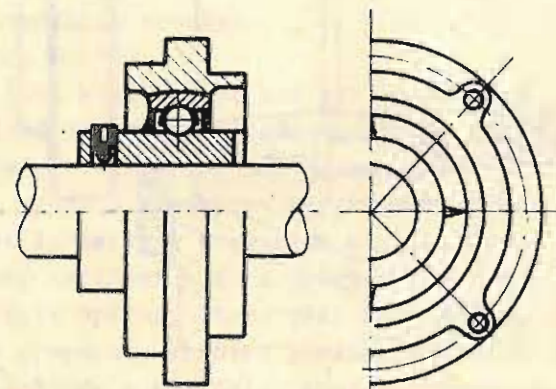
Moderní konstrukce přístrojů a přesných strojů se mají vyznačovat dokonalým



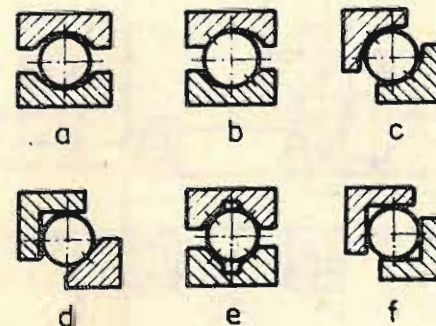
Obr. 8.121

Obr. 8.122

Obr. 8.123



Obr. 8.124



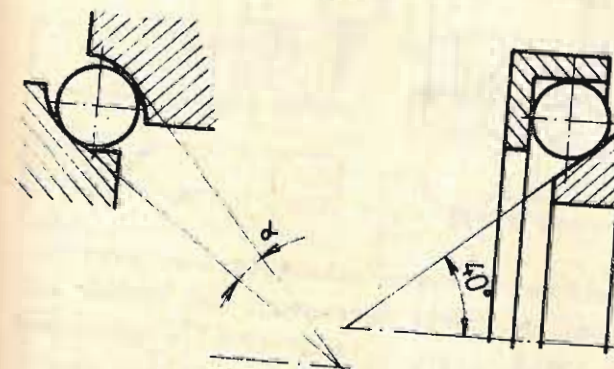
Obr. 8.125

využitím prostoru a tudíž rozměrovým zmenšováním. Toto se týká také šetřením prostoru pro ložiskové uzly. Tento požadavek vede při větších zatíženích ložiskových uzlů a při dané tuhosti hřídele k používání válečkových a jehlových ložisek. Modifikovaná válečková ložiska se nyní dodávají nejen jednořadá a dvouřadá, ale i víceřadá. Víceřadá ložiska vedou k úspoře místa jak v radiálním, tak i axiálním směru. Pro ukládání hřídelů se začínají používat ve větší míře i jehlová ložiska, protože zavedením klecí se odstranila jejich dřívější nevýhoda většího třecího momentu v důsledku těsného uložení jehel. Ve srovnání s válečkovými ložisky jsou při stejné únosnosti v radiálním směru menší, zvláště použijeme-li je bez vnějšího i vnitřního kroužku. Jehly pak rotují po oběžných drahách vyrobených přímo na hřídeli a ve skříní.

Přímý běh valivých elementů po oběžných drahách na hřídelích a ve skříní šetří nejen prostorem pro ložiskový uzel, ale odstraňuje i některé nevýhodné vlastnosti valivých ložisek a tím se zvyšuje přesnost uložení. Valivá ložiska v běžném provedení mají více stupňů volnosti, které omezují přesnost a současně znehodnocují vysokou přesnost kuliček. Další nevýhodou je jistá "drsnost" chodu, která má vliv na lehkost a přesnost chodu. Proto u přesných mechanismů s lehkým chodem se rozšiřuje použití tzv. **n á s y p n ý c h l o ž i s e k**. Násypná ložiska, převážně kuličková, vyžadují však přesnou výrobu oběžných drah jak na hřídeli, tak i na tělese. Normální provedení násypného ložiska podle obr. 8.125a je axiálně poddajné. Při zavedení předpětí se kulička přesune do polohy **b**, kde tečny k oběžným drahám svírají s osou malý úhel. Tento úhel je pro běh ložiska nepříznivý. Úhel styku valivých elementů s oběhovými drahami se má pohybovat kolem 45° . Lepší uložení vykazuje již opěrné ložisko v provedení **c**. Přesnější uložení však dávají

ložiska, u nichž dochází ke styku kuličky s oběhovými drahami ve třech (provedení **d**) nebo čtyřech bodech (provedení **e, f**).

Poloha drážek u násypných ložisek se určuje nejčastěji graficky a to takto: z bodu A na ose hřídele se vedou tečny ke kuličce v pracovní poloze, určí se body dotyku a tyto tvoří vrcholy oběžných drah na hřídeli a v tělese. (obr. 8.126). Na obr. 8.127 je znázorněno opěrné násypné ložisko se stykovými body ležícími v rovině řezu na přímkách.



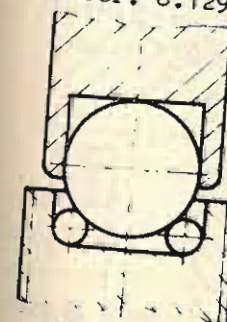
Obr. 8.126

Obr. 8.127

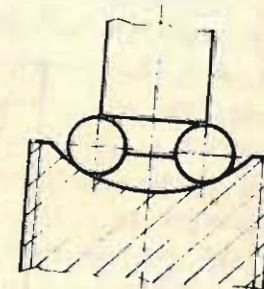
Toto ložisko lze přesněji vyrobit než ložisko s toroidními drahami. Tato ložiska mají však těsnější styk a proto se doporučuje užívat je tam, kde je vnější zatížení uzlu malé.

Násypná ložiska mohou být axiální i radiální. Konstrukce ložiska podle obr. 8.128 vykazuje větší opotřebení a třecí moment, když osa hřídele není přesně kolmá na rovinu podpěrných kuliček. Při vychýlení hřídele jsou oběžné dráhy na vnější straně větší než na

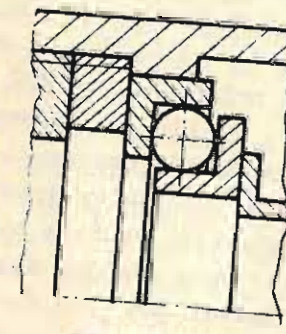
straně vnitřní a tak dochází k prokluzu kuliček. Lépe se osvědčilo tvarování po-



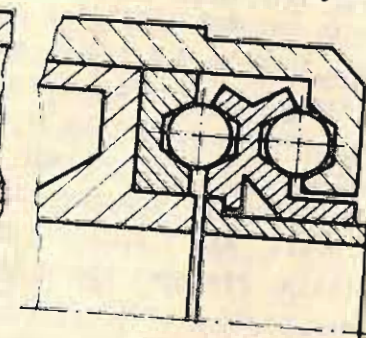
Obr. 8.128



Obr. 8.129

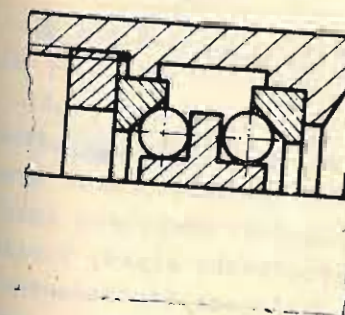


Obr. 8.130



Obr. 8.131

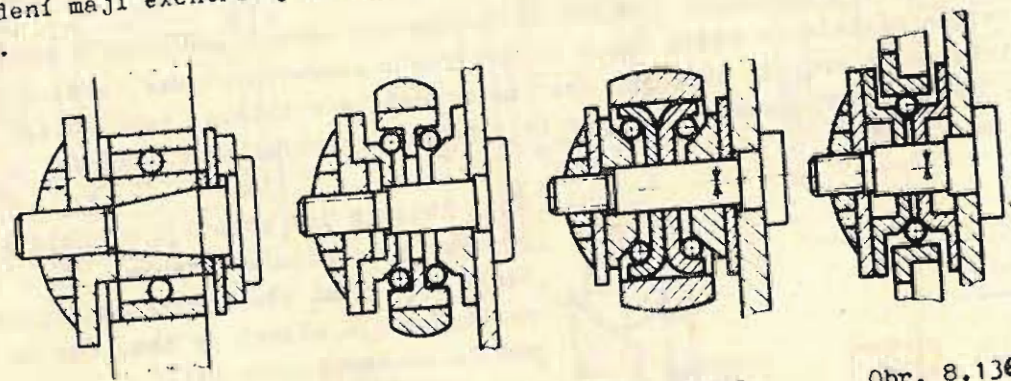
Konstrukční řešení ložiskového uzlu pro radiální uložení uvádějí obr. 8.130, 8.131 a 8.132.



Obr. 8.132

Násypných ložisek se v převážné míře užívá u kloubových mechanismů jako např. u paralelogramů, kde se žádá velmi přesný a bezvúlový chod. Frekvence otáčení je nízká resp. páky či ramena se jen ký-
chod vyžaduje vymezení jak radiální, tak i axiální vůle. Pro méně náročné uložení vystačíme normálním kuličkovým ložiskem s kuželovou dírou (obr. 8.133). Radiální vůli vymezíme předpětím vnitřního kroužku. Axiální vůle však není plně vymezena. Lepší řešení již dává násypné ložisko podle obr. 8.134. Toto řešení vyžaduje však přesné dodržení souososti vnějších oběžných drah. Tento nedostatek částečně odstraní řešení podle obr. 8.135, kde vnější oběžné drážky jsou vytvořeny na samostatných kroužcích. Pro uchycení ložiskových uzlů do měkkých materiálů používáme konstrukci z obr. 8.136, u níž vnější oběžné drážky jsou provedeny na pouzdrech vsazovaných do otvorů pák

či ramen. Pouzdra jsou z tvrdých kalitelných materiálů a tím se zabrání deformaci, která by vznikla na měkkém materiálu v důsledku zatlačení kuliček. Obě poslední provedení mají excentricky provedené čepy, kterými lze vyrovnat délkové tolerance ramen.



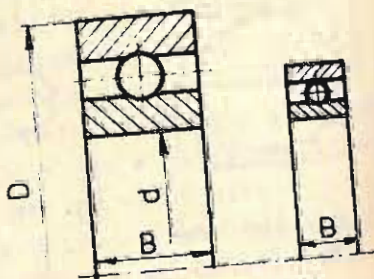
Obr. 8.133

Obr. 8.134

Obr. 8.135

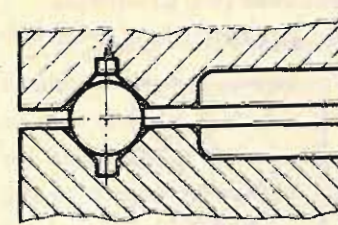
Obr. 8.136

Pro radiální vedení lehce otočných velkopříměrových odlehčených válcových součástí nebo trubek zatížených pouze vlastní hmotností nevyhovují ani kluzná ani normální kuličková ložiska. Kluzná ložiska totiž vykazují velké tření a kuličková ložiska normálního provedení mají relativně velké průměry a šířky a jejich únosnost není plně využita. V těchto případech používáme kuličkových ložisek tenkostěnných. Od normálních kuličkových ložisek lehké řady se tenkostěnná ložiska liší tím, že jejich vnější průměr, průměr kuliček a šířka kroužků je menší. Se zmenšením rozměrů klesají i jejich únosnosti. Např. normální kuličkové ložisko lehké řady 16040 o $\varnothing d = 200$ má $\varnothing D = 310$, $B = 34$ mm a hmotnost 9,36 kg. Tenkostěnné ložisko pro tentýž vnitřní průměr má $D = 250$ mm, $B = 24$ mm a hmotnost 2,56 kg (obr. 8.137); to znamená úsporu hmotnosti 6,8 kg nehledě na úsporu hmotnosti nosných prvků vedení. Kroužky těchto ložisek se vyrábějí nejen z ocele, ale i z jiných materiálů např. z hliníkových slitin. Přesnost chodu ložisek z měkčích materiálů je však menší a proto jich užíváme tam, kde funkce zařízení to dovoluje. Pro tenkostěnná ložiska volíme polohu tolerančního pole při obvodovém zatížení vnitřního kroužku na hřídce k 6 a díry H 7. Při posuvném uložení vnějšího kroužku pro vyrovnání teplotních dilatací nebo podélných deformací bude toleranční pole díry G7. Není-li pro uložení tenkostěnných ložisek v konstrukci dostatek prostoru, použijeme pak násypných ložisek. Pro zachycení čistě axiálních sil používáme pro běžné uložení normovaných jednosměrných nebo obousměrných axiálních ložisek. Pokud tato nevyhovují požadavkům přesnosti a prostoru, přecházíme na použití násypných ložisek. Pro přesné vedení se používá buď tříbodového nebo čtyřbodového styku, kterého můžeme docílit různým tvarováním oběžných kruhových drah. Realizace čtyřbodového styku představuje vždy přeúřčenost vzájemné vazby, která se v některém směru musí uvolnit. Např. provedení (obr. 8.138) neumožňuje dokonalý styk se všemi kuličkami po celé oběžné dráze, protože nelze vytvořit podmínky pro tak přesnou výrobu. Přesné vedení lze zajistit u konstrukcí násypných ložisek podle obr. 8.139 a 8.140. Provedení (obr. 8.139) však vyžaduje radiální vedení otočného čepu. Radiální vedení u obr. 8.140 je sice zajištěno, ale může zde dojít ke ztíženému chodu nedodržením souososti a rovinnosti. Proto je u těchto ložisek nutno uvolnit dráhy a čtyřbodový styk přejde ve styk dvoubodový s jeho nevýhodami. Tříbodový styk podle obr.

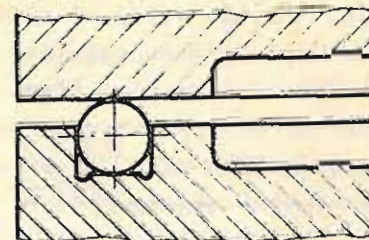


Obr. 8.137

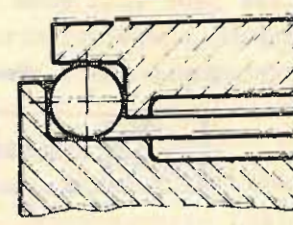
8.141 má nevýhodu v tom, že součásti nejsou středěny v radiálním směru.



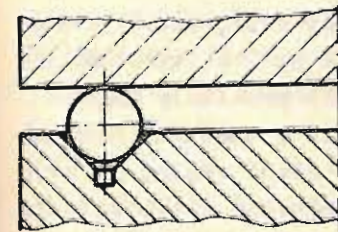
Obr. 8.138



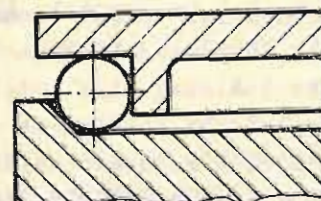
Obr. 8.139



Obr. 8.140

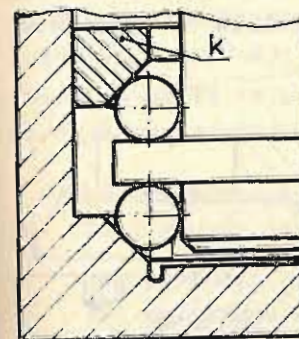


Obr. 8.141



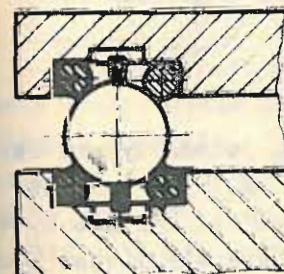
Obr. 8.142

Provedení podle obr. 8.142 zase uložení přeúřčuje, protože dochází ke středění všech prvků uložení a toto při nepřesné výrobě oběžných dráhek může vést k sevření. Axiální násypné ložisko můžeme provést i pro zachycení obousměrných axiálních sil. Zde užíváme dvou řad kuliček (obr. 8.143), kde nastavení příslušné vůle provedeme kroužkem "k".

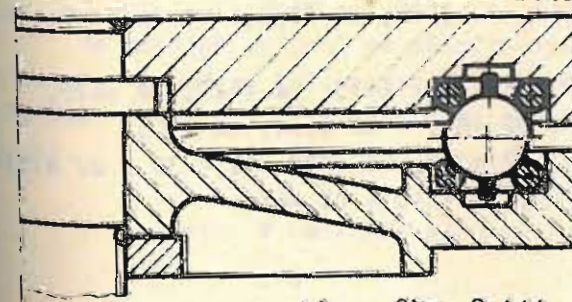
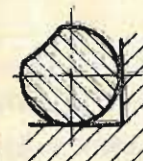


Obr. 8.143

Dodržení přesnosti chodu nezávisí jen na výrobních podmínkách, ale i na vlastnostech materiálu oběžných dráhek, a to hlavně na jejich tvrdosti. Měkké materiály jako je mosaz, bronz, slitiny lehkých kovů a pod. pro násypná ložiska nevyhovují, protože se snadno plasticky deformují. Abychom jich však z konstrukcí nevyloučili, pomáháme si tím, že oběžné dráhy vyztužujeme vložkami z tvrdých materiálů. Tyto vložky mohou tvořit např. dráty stočené do kruhu. Dostáváme tak drátové axiální ložisko. Axiální drátové ložisko (obr. 8.144) má oběžné dráhy provedeny ze čtyř ocelových drátů, kruhového profilu, které jsou stočeny do kruhu a vloženy do kruhového vybrání jak v tělese, tak i v rotující části. Konce drátů se nespojují, nýbrž dráty se vzájemně přesazují. Vzniklá vůle mezi konci drátů nevádí, pokud jsou vůle přesazeny. Axiální drátové ložisko se dělá vždy se čtyřbodovým stykem. Přeúřčenost uložení se vymezí tím, že si kuličky vytlačí samy při rotaci dráhu deformací drátu (viz detail).



a)



b) Obr. 8.144

Příklad konstrukce drátového ložiska ukazuje obr. 8.144 b. Drátových ložisek lze použít i pro radiální ložiska. Přesné vytvarování oběžných drah u drátových ložisek se děje pomalou rotací kuliček při zvýšeném zatížení. Kuličky mohou být těsně vedle sebe nebo se častěji dnes užívá menší počet kuliček, vedených klecí.

Pro přesná axiální otočná uložení se začínají vyrábět speciální axiální ložiska, která nahrazují velkopříměrová kluzná axiální ložiska. Pro uložení otočných stolů, fréz a brusek bylo vy-

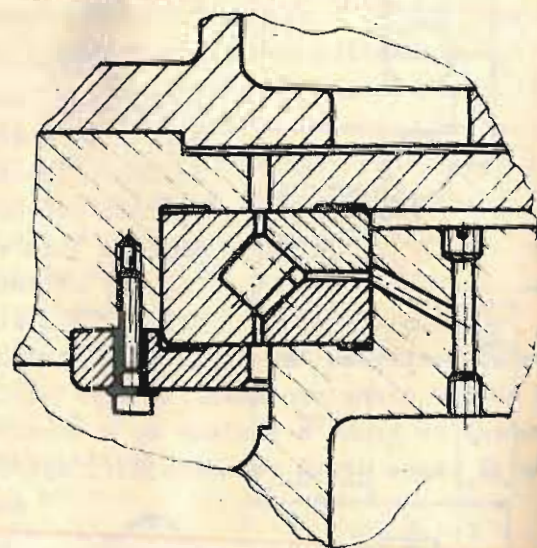
vinuto speciální křížové kuželíkové ložisko (obr. 8.145). Kuželíky v ložiskovém tělese jsou vůči sobě natočeny tak, že střídavě běží po odvalovacích plochách vnějšího a vnitřního kroužku. Od sebe jsou kuželíky odděleny distančními kruhovými kroužky z umělé hmoty s malým součinitelem tření.



Obr. 8.145

Vnitřní kroužek je dělený a tím je umožněno seřizování axiální vůle, která u normálních ložisek by se musela získat předpětím. Vnější kroužek je v celku. Oběžné dráhy na kroužcích jsou orientovány tak, aby se jejich normály protínaly na ose ložiska, jako u normálního kuželíkového ložiska. Styk kuželíku s oběžnými drahami vyvolá čisté odvalování. Výhoda tohoto ložiska spočívá ve zmenšení výšky, ve zvýšení tuhosti systému, v usnadnění montáže, v možnosti seřízení vůle a tím zvýšení přesnosti. Ložisko je dále schopno zachytit jak radiální, tak i obousměrné axiální síly. Užití tohoto ložiska ulehčuje konstrukci ložiskového uzlu. Detail provedení ložiskového uzlu ukazuje obr. 8.146. Trvanlivost ložiska je závislá na dynamické únosnosti. Současná technika se na jedné straně snaží zavádět menší počet typů valivých ložisek s modifikovaným stykem; na druhé straně však se zavádějí pro určité druhy zařízení a strojů speciální ložiska. Speciální ložiska, vyvinutá pro určitá uložení, jsou vhodná tam, kde se očekává jejich velkosériová nebo hromadná výroba. Zde se vyplatí vložit finanční prostředky pro jejich vývoj a výrobu. Malosériová výroba speciálních ložisek však prodražuje celé zařízení i stroje a hodí se pouze tam, kde požadavky na konstrukci nedovolují použít jednodušší uložení. Protože výrobou ložisek se zabývají speciální závody - běžné strojírenské podniky nemohou zajistit požadovanou přesnost výroby - pak při návrhu ložiskových uzlů se speciálními a specifickými požadavky provozu je vhodné konsultovat s poradenskými středisky závodů na výrobu valivých ložisek. Tyto mohou doporučit správný typ ložiska resp. navrhnout nové speciální ložisko a jej vyrobit. Současně tyto závody přebírají tímto i odpovědnost za spolehlivost provozu ložiskového uzlu.

Související normy ČSN : ČSN 02 3602, 02 3610, 02 3620, 02 3630, 02 3648, 02 3655, 02 3676, 02 3680, 02 3685.
ČSN 02 4601, 02 4602, 02 4605 + 02 4610, 02 4612, 02 4615, 02 4620, 02 4625, 02 4629, 02 4630, 02 4632, 02 4640, 02 4645, 02 4650 + 02 4654, 02 4665, 02 4670, 02 4683, 02 4696, 02 4700, 02 4705, 02 4720, 02 4727, 02 4730 + 02 4733, 02 4738 + 02 4740, 02 4760, 02 4793 + 02 4795, 02 4810 + 02 4813.



Obr. 8.146

8.3. PŘÍSTROJOVÁ A MINIATURNÍ LOŽISKA

Snaha po zmenšení třecích momentů v čípkových a hrotových uložení, hlavně druhého druhu, a požadavek na zvýšenou přesnost vedla k vývoji přístrojových a miniaturních ložisek. Součinitel tření u těchto ložisek bývá 3 + 10 krát menší ve srovnání s kluznými ložisky. Valivé elementy přístrojových a miniaturních ložisek tvoří převážně kuličky, jejichž průměr začíná od 0,3 mm. Přístrojová ložiska se vyrábějí v nejvyšších stupních přesností. Přesnost přístrojových ložisek se pohybuje v rozmezí od 2 + 20 μm. Pro méně náročná uložení používáme přesnosti od 10 + 20 μm. Při normálním uložení se využívá přesnosti 5 + 13 μm. Vysoce přesná ložiska mívají přesnost od 2 do 7 μm. Dodržení daného rozmezí přesnosti je závislé na velikosti ložiska, a to tak, že se zvětšujícím průměrem přesnost ložiska zvyšuje.

Vnitřní kroužek se vyrábí ve stupni přesnosti IT 2, vnější kroužek má toleranci IT 3. Materiál ložisek bývá kvalitní chromniklová ocel kalená na 61 + 64 HRC, stabilní do 150° C nebo nerezavějící ocel kalená na 58 HRC, stabilní do 200° C. Pro teplotně namáhaná ložiska se dále užívají speciální slitiny a nemagnetická ložiska se vyrábějí z berylliové bronzi. Klece těchto ložisek mají rozdílné provedení a užívá se pro ně různých materiálů. Provedení klece se volí podle konstrukčních požadavků.

U přesných přístrojových ložisek vyžadujeme znalost hodnoty třecího momentu. Třecí moment ovlivňují tyto faktory :

- a) přesnost tvaru a jakost povrchu oběžných drážek a kuliček
- b) provedení klece
- c) radiální vůle
- d) stykový úhel
- e) čistota ložisek a mazacího prostředku
- f) druh a množství maziva
- g) velikost a směr zatížení
- h) frekvence otáčení

Protože třecí moment ovlivňuje velikost hnacího momentu, jsou přesná ložiska kontrolována dle zvláštních předpisů a na požádání jsou dodávána i s jeho ověřenou hodnotou. Třecí moment se zjišťuje pro rozsah $d \leq 10$ při zatížení 0,75 N a pro $d \geq 10$ při 4 N. Hodnota třecího momentu se pohybuje v rozmezí od 0,002 + 0,07 Nmm. Přesnost chodu je udávána výrobcem v katalogu v závislosti na radiální vůli a na stykovém úhlu. Tolerance a poloha tolerančního pole uložných míst ložisek má odpovídat zvýšené přesnosti a řídí se doporučením uvedeným v tabulce na obr. 8.114.

Ve většině případů se přístrojová a miniaturní ložiska volí podle uložného prostoru, který je k dispozici v navrhovaném ložiskovém uzlu. Ložiska, která mají přenášet relativně větší zatížení nebo mít zvýšenou trvanlivost je třeba kontrolovat.

Trvanlivost v hodinách se určí ze vztahu

(8.23)

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{F_{ekv}} \right)^3 \quad [\text{hod.}]$$

kde L_h je trvanlivost v hodinách [hod.]
 C je základní dynamická únosnost [N]
 F_{ekv} je ekvivalentní zatížení [N]
 n je počet otáček za minutu [ot.min⁻¹]

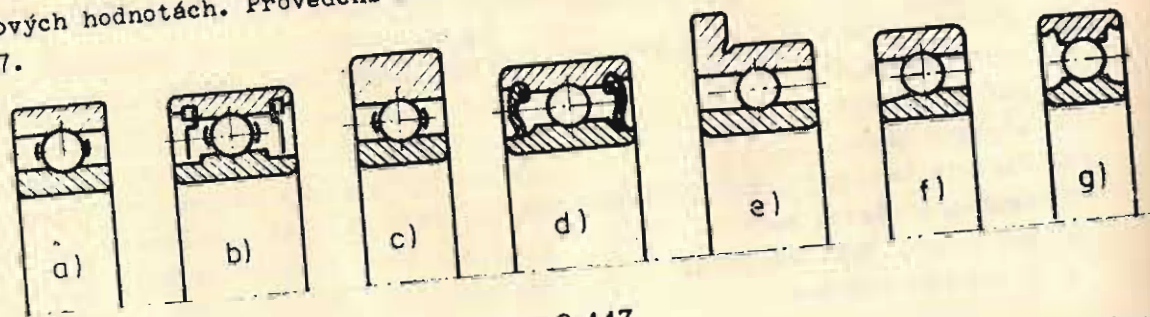
Ekvivalentní zatížení vypočteme z rovnice

$$F_{ekv} = 0,5 F_r + 1,87 F_a \quad [N]$$

kde F_r a F_a je radiální a axiální složka zatížení [N]
 Pokud $F_{ekv} < F_r$, pak $F_{ekv} = F_r$

Radiální statická únosnost činí asi 50 % základní dynamické únosnosti C .
 Při kombinovaném zatížení leží přípustná axiální statická zatížitelnost mezi 50 % až 100 % C . Je odvislá na velikosti vůle a úhlu styku ložiska.

Základní konstrukce přesných přístrojových a miniaturních ložisek je podobná konstrukcím normálních ložisek. Uvedená ložiska se vyrábějí od průměru $d = 1$ mm, $D = 3$ mm, $B = 1$ mm do průměru $d = 40$ mm, $D = 40$ mm, $B = 12$ mm v různých šířkových hodnotách. Provedení radiálních přístrojových ložisek ukazuje obr. 8.147.

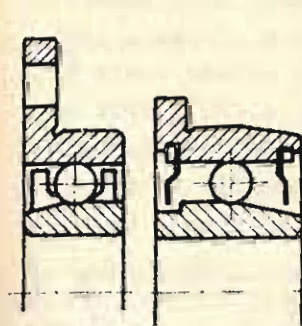


Obr. 8.147

Provedení a, b, d jsou radiální ložiska bez krytu, s kovovým a těsnícím krytem, provedení c je ložisko se zesíleným vnějším kroužkem, e je přírubové ložisko, f ložisko s kosouhlým stykem. Provedení g ukazuje ložisko tenkostěnné, které se dodává od vnitřního průměru 20 mm. V přesném a miniaturním provedení se vyrábějí i kuličková ložiska dvouradá, naklápací a ložiska axiální jednosměrná. Konstrukční provedení těchto ložisek je analogické normálním ložiskům a proto nejsou uváděna obrázkem.

Pro speciální účely se dodávají celé ložiskové uzly v přesném provedení. Tyto uzly se přímo zabudují do přesně vyvrtaných děr v tělese přístroje. Takovými ložiskovými uzly jsou např. přírubová ložiska s kosouhlým stykem (obr. 8.148) pro přišroubování nebo nalisování, nebo ložiska pro uložení gyroskopického setrvačníku, a to jednoduchá nebo tříkroužková (obr. 8.149). Mimo uvedená přístrojová ložiska se užívá ložisek násypných. Jejich předností je zmenšení celkových rozměrů ložiska, protože kuličky přímo obíhají na čepu hřídele a vnější kroužek je nahrazen vylisovaným tenkým, kaleným a vylapovaným pouzderkem. Deformace vzniklé při výrobě se vyrovnají po nalisování a zatížení. Počet kuliček

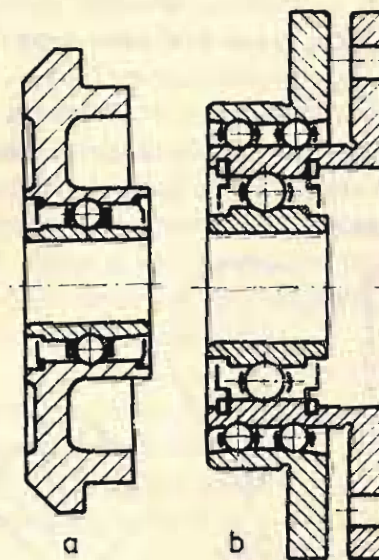
je malý. Tyto jsou vedeny v kleci z tenkého plechu ve tvaru hvězdice a ohnutou do vhodného tvaru (obr. 8.150).



Obr. 8.148



Obr. 8.150



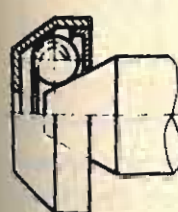
Obr. 8.149

Pro hřídel ukončený kuželovým hrotem se užívá ložisko znázorněné na obr. 8.151. Hrot musí být kalený, přesně vybroušený a leštěný. Má-li ložiskem procházet válcový čípek, např. pro uchycení ukazatele, je ložisko tvarováno podle obr. 8.152. Pro válcové čípky hřídelů se užívá provedení ložisek podle obr. 8.153. Ložiska na obr. 8.154 a 8.155 slouží jako radiálně-axiální ložiska.

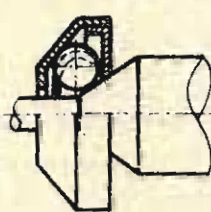
Miniaturní násypná ložiska se ukládají do tělesa nalisováním, a to buď do válcové díry (obr. 8.156) nebo do

otvoru tvarovaného podle vnějšího tvaru (obr. 8.157). Toto dává tužší uložení. Ložiska je dále možno vkládat do odpruženého pouzdra membránovou (obr. 8.158) nebo šroubovou pružinou (obr. 8.161). Obr. 8.159 představuje uložení ložiska s řízeným předpětím pomocí šroubku a uložení (obr. 8.160) je určeno pro vymezování axiálních vůlí.

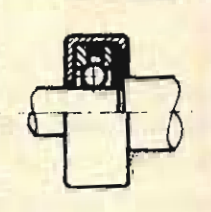
V katalogu jsou uváděny u těchto ložisek pouze rozměry a maximální zatížení v N bez údajů dynamické únosnosti. Otázka mazání není dosud vyřešena. Je lépe tato ložiska nemazat, protože vrstva oleje zvyšuje třecí moment. Materiál těchto ložisek je obdobný jako u přístrojových a miniaturních ložisek.



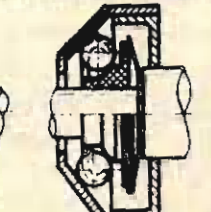
Obr. 8.151



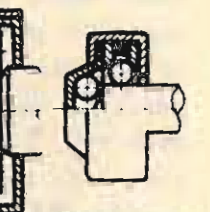
Obr. 8.152



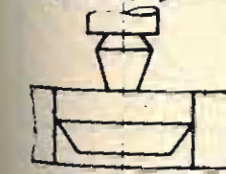
Obr. 8.153



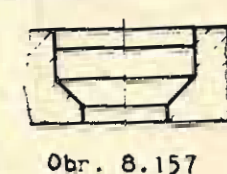
Obr. 8.154



Obr. 8.155



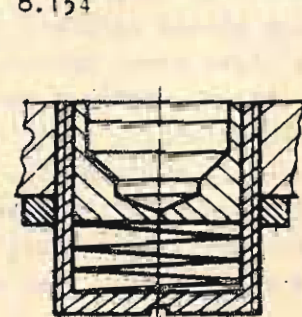
Obr. 8.156



Obr. 8.157



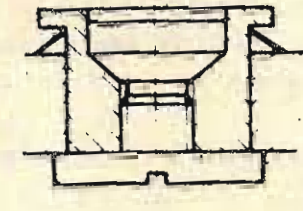
Obr. 8.160



Obr. 8.161



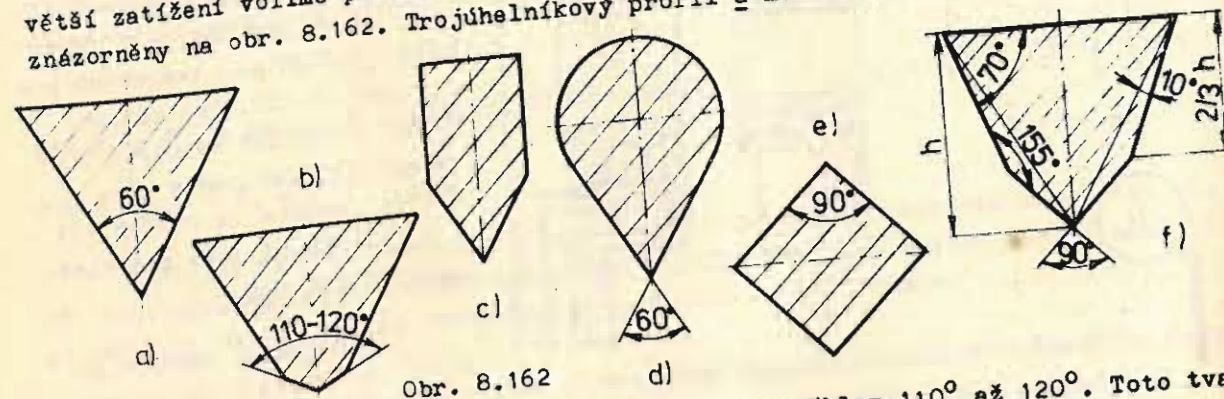
Obr. 8.158



Obr. 8.159

8.4. BRITOVÁ ULOŽENÍ

Břítové uložení je takové otočné uložení kinematické dvojice, které dovo-
luje kývavý pohyb. Břítové uložení je tvořeno břitem, který ostrou nebo zaoblenou
hranou spočívá v lůžku zvaném pánvice, pánvička nebo prostě pánve. Vlastní břit
dostaneme jako průsečík dvou rovin na prizmatickém tělese. Úhel sklonu rovin tvo-
řících břit bývá obvykle 60° nebo 90° , řidčeji větší, např. 110° a 120° . Břit bý-
vá ostrý s poloměrem zaoblení $0,0005 + 0,005$ mm a je určen pro malé zatížení. Pro
větší zatížení volíme poloměr $0,1 + 0,2$ popř. i více. Užívané profily břítů jsou
znázorněny na obr. 8.162. Trojúhelníkový profil a má vrcholový úhel 60° . Profil

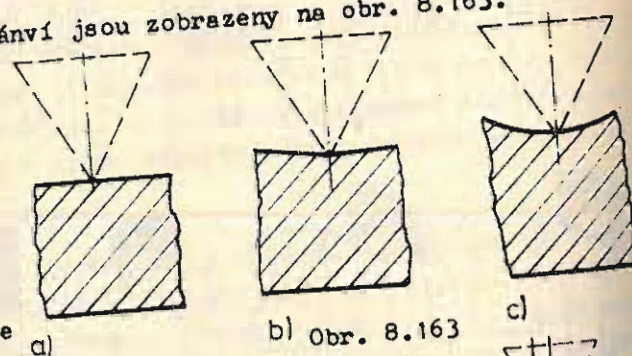


Obr. 8.162

b má trojúhelníkový tvar zakončen úzkou fazetkou s úhlem 110° až 120° . Toto tva-
rování zvyšuje únosnost a usnadňuje broušení s následným leštěním. Vysoký břit
c má lepší vedení v nosné části a tak umožňuje lepší uchycení a nastavení. Hruško-
vý tvar břitu d lze nalísnovat do válcového vývrtu a má největší únosnost na ohy-
bové namáhání. Provedení břítů e a f se užívá zřídka.

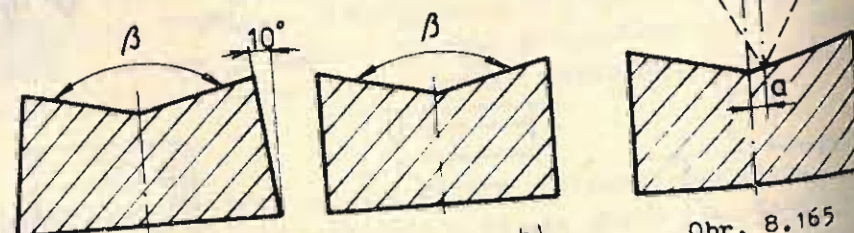
Základní tvary dosedacích ploch pánví jsou zobrazeny na obr. 8.163.

Opěrnou plochou může být rovinná plo-
cha (a), plocha profilu V (b), plocha
válcová (c). Rovinná plocha klade nej-
menší odpor při naklápění břitu, ale
nezajišťuje přesně polohu nastavení
břitu. Užívá se ji u nepřesnějších
pákových mechanismů např. u analyt-
ických vah. Poloha břitu se zde nastavuje



Obr. 8.163

aretačním zařízením a
je odvislá na poloze
závaží na miskách. Pro
méně přesná zařízení
se užívá pánví profilu
V, která usnadňují za-
jistění polohy břitu v
podélném směru pánve.



Obr. 8.164

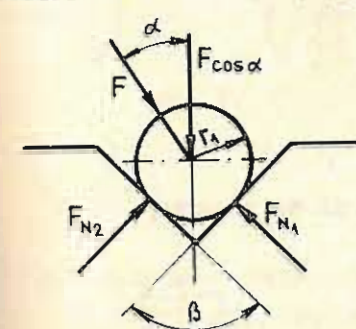
Kruhového profilu dosedací pánve se užívá méně, protože při malých zatíženích
nezaručuje přesně podélnou polohu břitu. Profily pánví (pánviček, lůžek) pro běž-
ná uložení mají tvar podle obr. 8.164.

Úhel β u lichoběžníkového profilu a ocelové pánvičky bývá:
pro malé pánvičky $\beta = 120^\circ$
pro velké pánvičky $\beta = 140^\circ$

u pravoúhlého profilu b ocelových pánví
pro malé pánve $\beta = 120^\circ$
pro střední pánve $\beta = 140^\circ$
pro velké pánve $\beta = 150^\circ$
u achátových pánví $\beta = 120^\circ$

U V profilu lůžka se může břit vysunout o míru a (obr. 8.165) a sklouzne
do středu jen po překročení třecího úhlu. Toto vysunutí může způsobit změnu dél-
ky ramene či vahadel. Umístění břítů na nakloněné rovině vyvolá dodatečný otáči-
vý pohyb, který pak vnáší do vážení chybu neurčitou co do velikosti a směru. Tu-
to chybu můžeme zanedbat pouze u vah hrubších (krámských a decimálních) nikoliv
však u analytických vah, mikrovah ap. Z uvedeného důvodu umísťujeme proto břity
na vahadla nebo páky, ale ne na nosné části.

Podle tvarování břitu a lůžka a jejich vzájemné polohy může u břítového
uložení dojít ke kluznému nebo valivému tření. Dotýká-li se zaoblení břitu obou
rovin pánve, pak při vykývnutí břitu nastává skluz po rovinných plochách (obr.
8.166). Třecí moment u břítového uložení závisí pouze na zátěžné síle F , kterou



Obr. 8.166

Při pevném břitu, stálém směru zátěžné síly a pohyblivém lůžku je třecí moment
závislý i na úhlu sklonu břitu vzhledem ke stykovým plochám na lůžku.

Při $\beta = 90^\circ$

$$M_T = \sqrt{2} \cdot F \cdot r_1 \cdot f \cdot \cos \alpha \quad [\text{Nmm}] \quad (8.27)$$

Bude-li styk zaobleného břitu s lůžkem přímkový a bude-li břit nebo lůžko konat
výkyvný otáčivý pohyb, přejde kluzný pohyb v odvalování a kluzný třecí moment v
moment valivého tření (obr. 8.167). Pól otáčivého pohybu se však mění a třecí mo-
ment při stálém směru zátěžné síly je závislý na úhlu sklonu α břitu vzhledem
k lůžku:

$$M_T = F \cdot f_v \cdot \cos \left(\frac{\alpha}{\frac{r_2}{r_1} - 1} \right) \quad [\text{Nmm}] \quad (8.28)$$

kde F je zátěžná síla $[N]$

r_1, r_2 poloměry břitu a lůžka $[mm]$

$f_v = 0,00066 \sqrt{r_1}$ je součinitel tření

α je úhel vychýlení osy břitu či pánve.

Po dosažení mezního úhlu

$$\alpha_m = \left(\frac{r_2}{r_1} - 1 \right) \arctg f \quad (8.29)$$

přejde valivé tření v tření kluzné. Při provozu nesmí vychýlení břitu či lůžka překonat hodnotu mezního úhlu, neboť třecí moment se skokem zvýší.

Třecí poměry však nelze při chodu přesně sledovat a proto vznikají chyby neurčitého směru a velikosti.

Hodnoty maximálních dotykových tlaků mezi břitem a lůžkem se určí z Hertzova vztahu

$$\sigma_{\max} = p_{\max} = \sqrt{\frac{F_N \cdot E}{2\pi l \cdot r(1-\mu^2)}} \quad [\text{Nmm}^{-2}] \quad (8.30)$$

kde $E = \frac{2E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}$ je střední hodnota modulů pružnosti v tahu materiálu břitu a lůžka $[\text{Nmm}^{-2}]$

$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}$ je střední křivost břitu a lůžka $\left[\frac{1}{\text{mm}}\right]$

l je činná délka styku břitu a lůžka $[\text{mm}]$

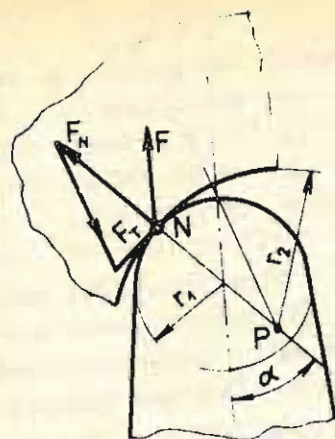
μ je Poissonova konstanta.

Poloviční šířka stykové plochy b (obr. 8.168) se určí ze vztahu

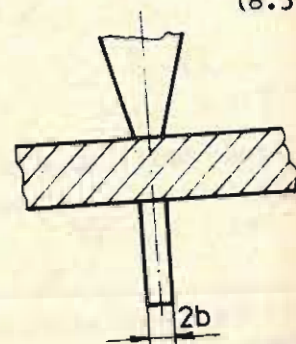
$$b^2 = \frac{8 \cdot F_N \cdot r(1-\mu^2)}{\pi E \cdot l} \quad [\text{mm}^2] \quad (8.31)$$

Uvedené vztahy platí přibližně a jejich exaktní ověření je velmi obtížné, zvláště při malých poloměrech zaoblení břitu. Dotykové tlaky i při malých zatíženích jsou však velmi vysoké a vyvolávají nejen pružné, ale i plastické deformace. Velikost dotykových tlaků by neměla překročit dovolené hodnoty, která závisí na materiálu břitu a lůžka. Materiál břitu a lůžka má být tvrdý a vysokým modulem pružnosti v tahu. Pro břity se volí kalitelná ocel a lůžka bývají z kalitelné oceli nebo z kameňů (achát, korund).

Při návrhu břitového uložení se vychází z dovolené síly, působící na jednotku délky břitu a podle požadované citlivosti uložení. Velká citlivost (např. u analytických vah) vyžaduje zatížení $0,1 + 0,3 \text{ Nmm}^{-1}$. Při nosnosti vah $1 + 5 \text{ kg}$ se volí jednotkové zatížení $1 + 5 \text{ Nmm}^{-1}$. Při větší nosnosti lze volit jednotkové zatížení $1 + 50 \text{ Nmm}^{-1}$ a u mostních vah až do 1000 Nmm^{-1} . Čím je větší zatížení na jednotku délky, tím více klesá citlivost v důsledku deformací břitu a lůžka. Při vzrůstajícím zatížení na jednotku délky má se zvětšovat poloměr zaoblení břitu. Větší poloměr zaoblení však vede k neurčitosti styku, která se zvláště výrazně projevuje u krátkých ramen pák či vahadel. Z těchto důvodů by neměl být překročen převodový poměr pák $50 : 1$. Pro větší převodové poměry se proto používá řazení dvou pákových převodů za sebou. Délka břitu má rovněž své omezení. Dlouhý břit je při zatížení namáhán na ohyb, břit se prohýbá a nenese po



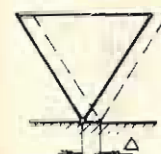
Obr. 8.167



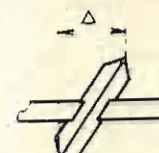
Obr. 8.168

celé délce. Omezení nosné délky zvětšuje dotykový tlak, zvětšují se deformace a tím klesá citlivost.

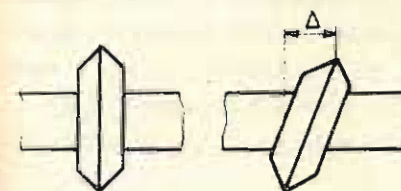
Břity se časem otupí a proto je nutná jejich oprava přebroušením a přeleštěním. Po opravě je nutno umístit břity do původní polohy.



Obr. 8.169



Obr. 8.170



Obr. 8.171

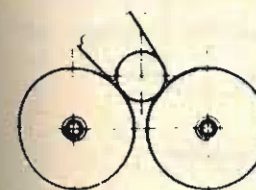
Břity mají doléhat nejen po celé nosné délce, což vyžaduje zajištění přímosti břitu, ale musí být dodržena kolmost na podélnou osu pák. Vychýlení nebo prohnutí břitu v rovině horizontální (obr. 8.169) působí tak, jako by páky nebo vahadla byly uloženy ve dvou břitech. Tím klesá pochopitelně citlivost uložení. Vychýlení břitu v horizontální rovině nemusí být vyvoláno jen zatížením, ale může být způsobeno výrobou břitů, montáží uložení (obr. 8.170) nebo nedokonalým seřizením. Dalším požadavkem pro zajištění správné činnosti břitového uložení pák je dodržení rovnoběžnosti břitů. Není-li tato dodržena, může se rameno páky měnit v rozmezí δ daném doléhnutím břitů na pánevici. Tím může vzniknout dvojaké odečítání měřicího systému.

8.4.1. Konstrukce břitového uložení

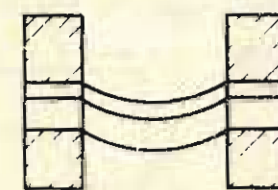
Konstrukce břitových uložení musí v zásadě splňovat tyto dvě podmínky :

- dodržovat rovnoběžnost břitů na páce či vahadle
- umožňovat výškové seřizení břitů, aby břity ležely v jedné rovině.

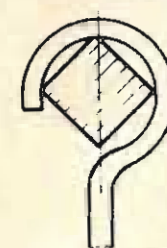
Rovnoběžnost břitů se dá realizovat jejich natáčením v rovině uložení. Výškové seřizení má umožnit také natočení v rovině kolmé k ose a ke směru síly, aby se docílilo rovnoměrného rozložení síly na celou délku břitu.



Obr. 8.172



Obr. 8.173

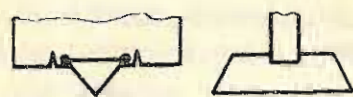


Obr. 8.174

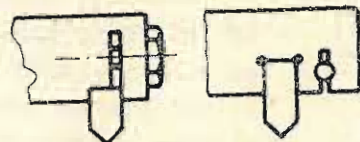
Konstrukce břitových uložení pro velké výkyvy (až 30°) se dělá robustní a jednoduché. Jako břit lze použít např. ocelové tyčky kruhového profilu, nebo tyče s velkým poloměrem zaoblení odvalujících se po kuličkových ložiskách (obr. 8.172). Pro méně náročné uložení

lze použít břitů obloukových, vyrobených vybroušením nebo vypilováním zrna (obr. 8.173). Břit můžeme získat také oboustranným kuželovým vývrtem a jeho zabroušením do ostří (obr. 8.175). Pánvičku, která může sloužit i jako závěs misky, tvoří jednoduchý hák (obr. 8.174). Toto řešení má výhodu v jednoduchosti a v levnosti, při čemž zde současně odpadá starost o dodržení rovnoběžnosti, protože hák na břitu má téměř bodový dotyk. Nedostatkem je však malá únosnost uložení.

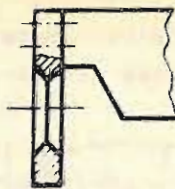
Má-li dosahovat břitové uložení větší přesnosti otočného pohybu, je nutno vždy použít přímkových břitů. Krátké břity se obvykle zalisovávají do rybinových drážek ve vahadlech či ramenech (obr. 8.176), po případě se ještě zatemují. Temováním lze částečně upravit polohu břitu. Ploché břity se nejčastěji do vahadel upevňují pomocí svěrného spojení podle obr. 8.179 a, b, kde v provedení a se svěrného účinku dosáhne



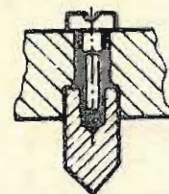
Obr. 8.176



Obr. 8.177

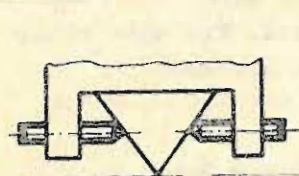


Obr. 8.175

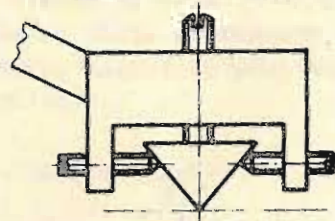


Obr. 8.178

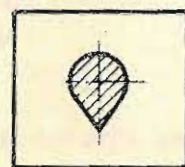
šroubem, v provedení b kuželovým kolíkem. Uvedené řešení umožňuje výškové nastavení břitu. Upevnění břitu podle obr. 8.178 se nyní používá méně. Přesné váhy nebo přesné pákové mechanismy vyžadují jak stranového, tak i výškového nastavení. Stranové nastavení umožňuje konstrukce na obr. 8.179. Stranově i výškově lze nastavit břit podle způsobu na obr. 8.180. Břity s hruškovým profilem (obr. 8.181)



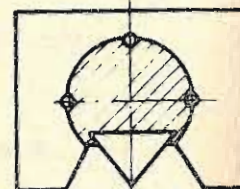
Obr. 8.179



Obr. 8.180



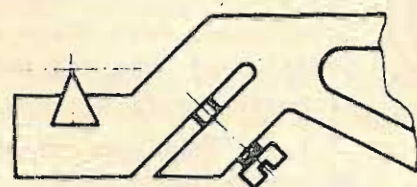
Obr. 8.181



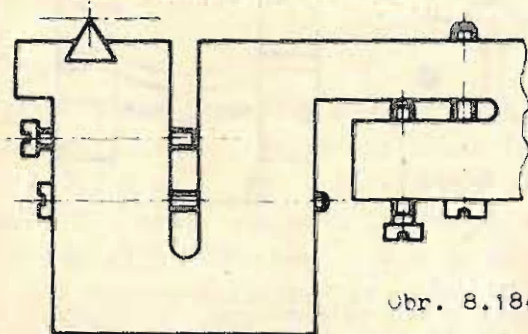
Obr. 8.182

se obvykle zalisovávají. Kamenné břity nelze vzhledem ke křehkosti zarážeti a proto se zatemní do kovové vložky, která se zalisuje do kovové objímky a popř. se pojistí válcovými kolíky (obr. 8.182).

Velmi přesná břitová uložení musí dovolit malé změny polohy břitu, aby se mohl přístroj správně seřídit (justovat). Mimo způsoby seřizování břitů z obr. 8.179 a 8.180, lze při pevně nasazených břitech v rybinových drážkách použít konstrukčních řešení podle obr. 8.183 a 8.184. Když nestačí pro zajištění přesné po-



Obr. 8.183

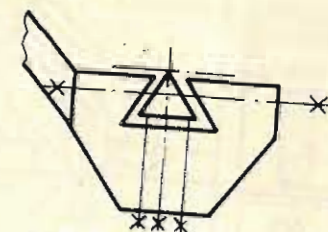


Obr. 8.184

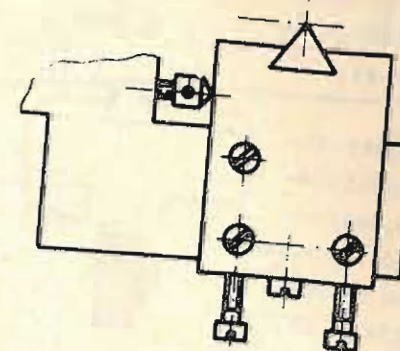
lohy břitů výškové a stranové nastavení, musí se umožnit břitům i jejich natáčení kolem osy kolmé na podélnou osu a kolem ní. Všechny požadované pohyby umožňuje použití sedmi rektifikačních šroubů pro uchycení břitu (obr. 8.185) nebo pouzdra s pevným břitem (obr. 8.186).

Tak, jako uchycení břitu na páky a vahadla, tak i ukládání pánvic má celou

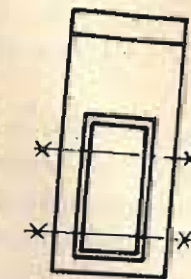
řadu variant. Pevné uchycení pánve se provede zalisováním do rybinové drážky (obr. 8.187).



Obr. 8.185



Obr. 8.186



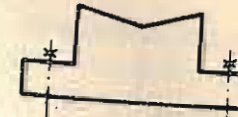
Dále je možno užít svěrného spojení (obr. 8.188). Pánvici můžeme také přišroubovat (obr. 8.189) nebo lze ji spojit s nosnou částí tmelením. Je-li pánvice součástí těmenu, dostává tvar kruhové výseče a je do něho zalisována. Axiální pohyb



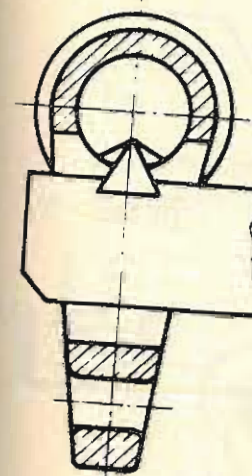
Obr. 8.187



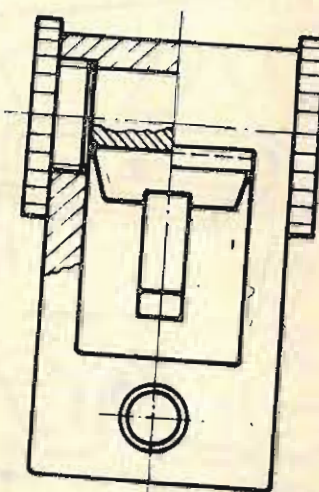
Obr. 8.188



Obr. 8.189



Obr. 8.190



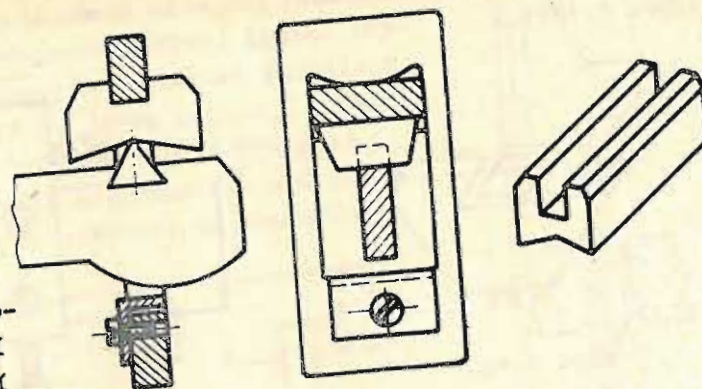
Obr. 8.191

břitu po pánvici omezíme jednak jeho tvarováním a jednak lze užít závrtných šroubů (obr. 8.190). Pevně uchycená pánvice nemusí zaručit správné dosednutí břitu po celé délce. Při hrubších uloženích dáváme proto pánvici možnost naklopení na válcové ploše, vytvořené ve vybrání těmenu (obr. 8.191, 8.192). Na uvedených obrázcích vidíme také různé způsoby uchycení pánvice do těmenu. Vypadnutí těmenu ze záběru s břitem brání zarážky. Naklápění pánvice umožníme také tím, že ji opatříme prizmatickou (a), válcovou (b) nebo kulovou plochou (c), (obr. 8.193), která spočívá na rovinné ploše těmenu či těle-
se.

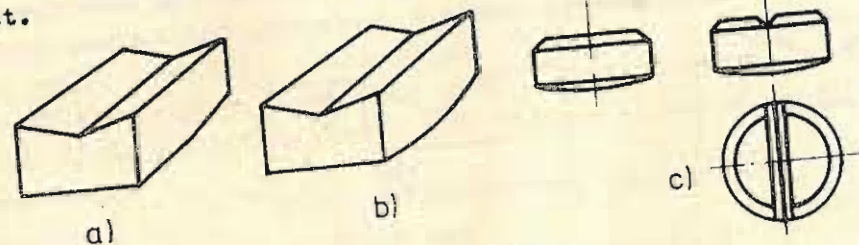
Kvalitnější řešení naklápění pánviček, dává uložení na dvou kuličkách (obr. 8.194) nebo ještě lepší je použití dvou zahrocených zakulacených šroubů, spočívajících v achátových ložiscích (obr. 8.195). Tohoto způsobu se užívá u

analytických a komparačních vah.
U přesných zařízení je břit vždy
průběžný. U dvojitých břitů nelze
vždy zajistit jejich přímost.

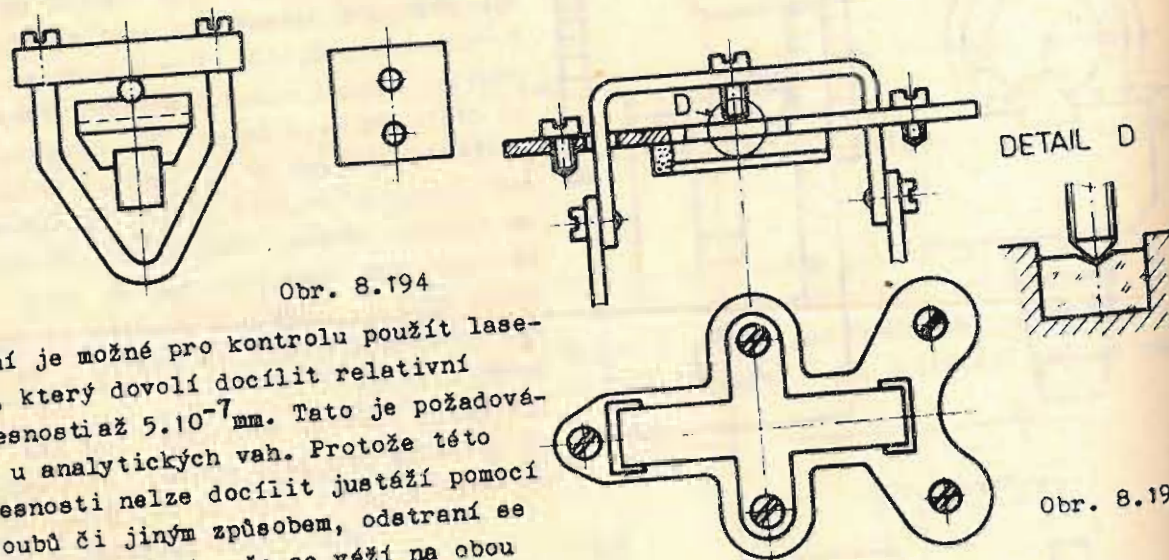
Přímost břitu se kontrolu-
je průhledem pod břitem přilože-
ným na průměrnou desku s patrič-
ným vybráním (obr. 8.196). Kontrola
rovnoběžnosti břitů se provádí
pomocí tří mikroskopů, které mají
v zorném poli rysku, na níž se na-
staví osa břitu; pak se vahadlo
otočí o 180° a znovu se proměří
rovnoběžnost.



Obr. 8.192



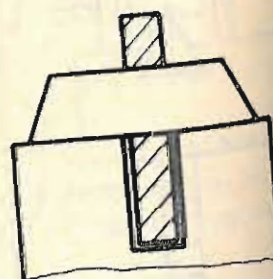
Obr. 8.193



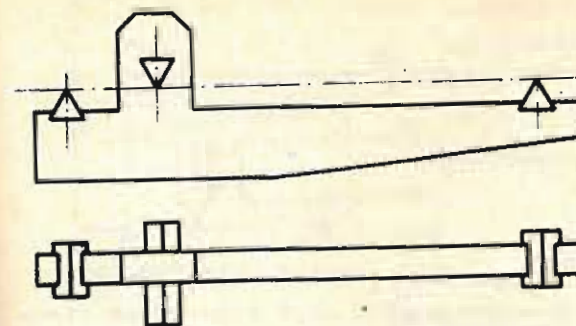
Obr. 8.194

Nyní je možné pro kontrolu použít lase-
ru, který dovolí docílit relativní
přesnosti až $5 \cdot 10^{-7}$ mm. Tato je požadová-
na u analytických vah. Protože této
přesnosti nelze docílit justáží pomocí
šroubů či jiným způsobem, odstraní se
chyba vážení tím, že se váží na obou
miskách a z údajů se bere aritmetický
střed.

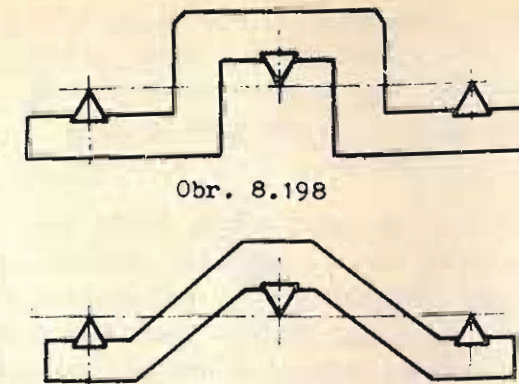
Při návrhu převodových pák a vahadel musí se dbát
na to, aby břity ležely v jedné rovině. Páky a vahadla
mají mít dostatečnou tuhost. Konstrukce pák a vahadel a
jejich technologičnost je daná účelem a sériovostí. Přev-
odové páky se vyrábí z oceli (obr. 8.197). Tvary kované-
ho a odlitého vahadla ukazují obr. 8.198 a 8.199.



Obr. 8.196



Obr. 8.197

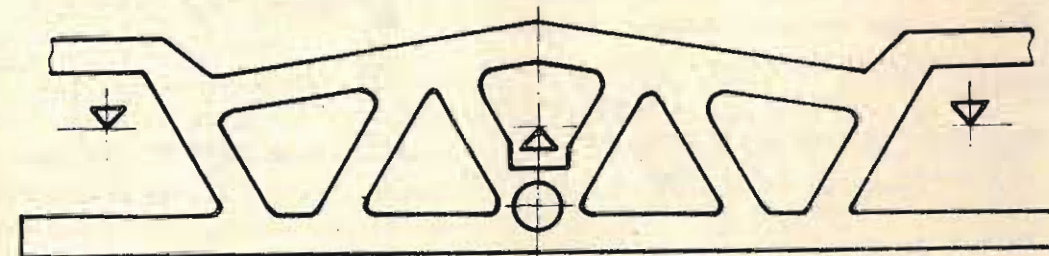


Obr. 8.198

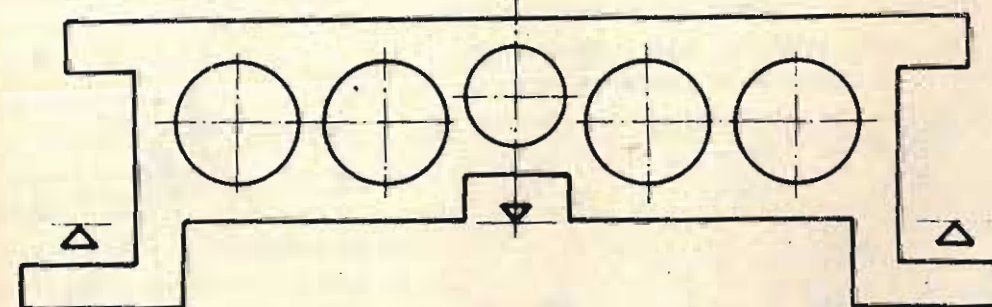
Obr. 8.199

Vahadla pro lékárnické a analytické váhy provádíme, s ohledem na požadovanou ve-
likou tuhost v ohybu, vysoké a odlehčujeme je otvory. Materiál pro tato vahadla
bývá ocel, mosaz popř. i křemelina. Konstrukční řešení vahadel je znázorněno na
obr. 8.200 až 8.203.

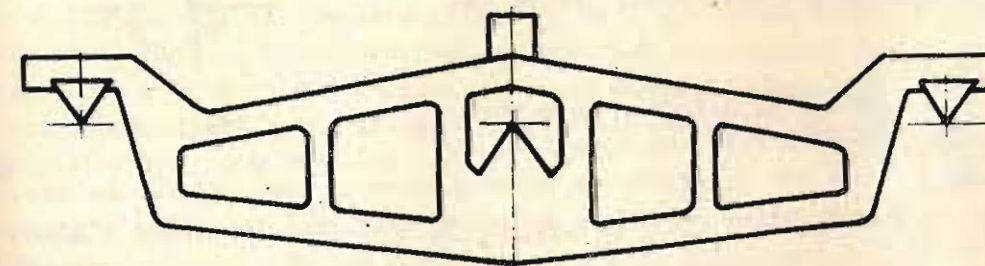
Břítového uložení používáme nejen při konstrukci vah a pákových zatěžova-
cích mechanismech, ale i při konstrukci přístrojů, u nichž chceme docílit velké-
ho převodového poměru mezi vstupem a výstupem tj. údajem ukazatele. Jedná se
hlavně o konstrukci délkových měřidel. Měřicí princip je znázorněn na obr. 8.203.



Obr. 8.200

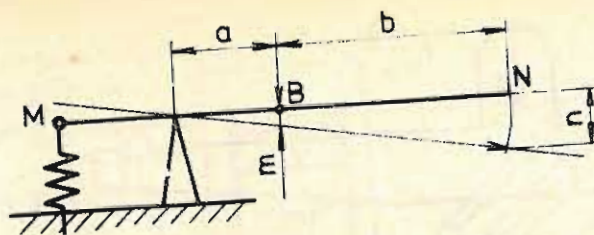


Obr. 8.201



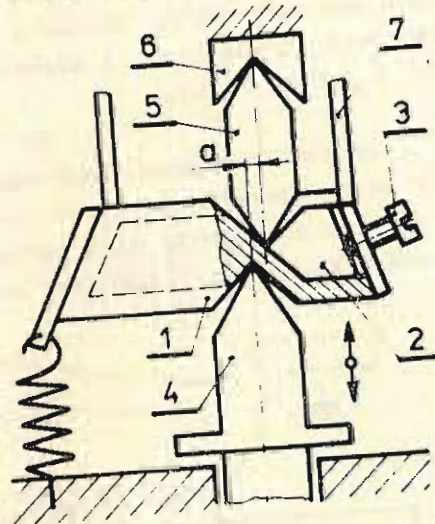
Obr. 8.202

Měřicí páka MN je v bodě A podepřena břitem a v bodě B je břitový dotek. Přivede-li se na dotek malá délková změna m , pak se konec páky vychýlí o míru n . Výchylka $n = \frac{b}{a} m$ závisí na

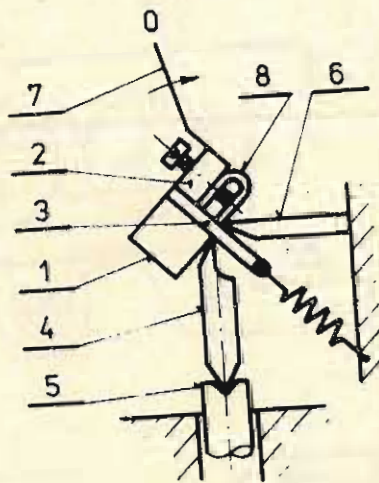


Obr. 8.203

poměru délek ramen a a b , který tvoří převod. Aby se docílilo velkého převodového poměru ($i = 100$ až 200), musí být délka ramene a velmi malá, obvykle menší než 1 mm. Pro realizace tak malého ramene nelze použít čepů a proto se otočné body páky nahrazují břitem. Vázanost pohybů v otočných bodech zajišťuje pružina, která současně brání vyběhnutí břitu z lůžka. Na rozdíl od vah bývá páka opatřena pánvičkami a břity tvoří podpory páky. Toto uspořádání má např. Hirthův minimetr (obr. 8.204). Prizmatické těleso 1 je opatřeno pevnou pánvičkou. Druhá pánvička je utvořena zkosením prismatického tělesa, které pokračuje jako vodící kámen 2. Poloha tělesa 2 se dá nastavit šroubkem 3 a tím měnit délku ramene a . O pevnou pánvičku se opírá břit měřicího doteku 4, do nastavitelné pánvičky zasahuje dvojitý břit otočně uložený v pevné pánvičce 6, spojené s tělesem přístroje. Rámeček 7 s ukazatelem sleduje výchylku doteku. Podobné uspořádání součástí má i délkové měřidlo MINITAST (obr. 8.205). Pánvičky pro uložení břitů 4 a 6 jsou tvořeny páskem 3, vloženým mezi dvě hranolovitá tělíska 1 a 2; tělískem 1 a plochou ohnutou pružinou 8. Rameno a závisí na tloušťce pásku 3. Břit 6 je pevně uchycen v tělese přístroje. Břit 4 je ovládán měřicím dotekem 5. Justáž měřidla se provádí průhybem pružiny 8, vyvozeného šroubem 7. Pružnou vazbu mezi břitovými uloženími tvoří pružina, která zabraňuje jejich vypadnutí z pánviček a současně vyvozuje i vratnou sílu. Vytvoření pákového převodu s nastavitelnou délkou ramene je možno provést také tak, že ukazatel vyrobený z ploché ocelové pružinky 1 (obr. 8.206) je vetknut do tělesa přístroje. Pohyblivý dotek 2 se opírá o ukazatel a ohýbá jej kolem břitu 3, majícího tvar zaostřeného kotouče. Délku ramene a lze nastavit otáčením dřívku břitu opatřeného jemným závitem.

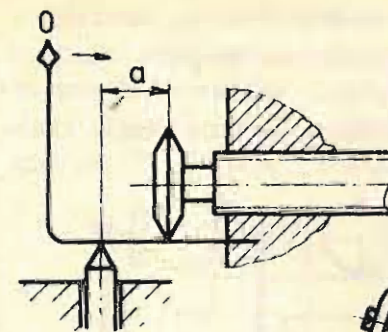


Obr. 8.204

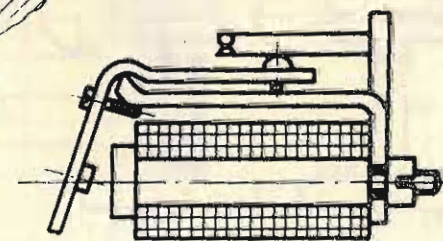


Obr. 8.205

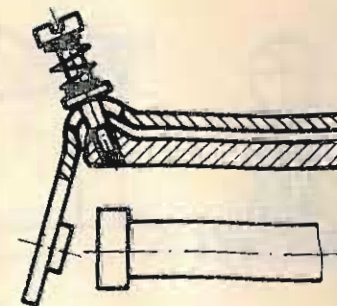
Břitového uložení se užívá i v konstrukcích elektromagnetických relé. Na rozdíl od měřicích zařízení, jsou zde požadavky na břitové uložení méně přísné. Na obr. 8.207 a 8.208 jsou zobrazeny běžná relé i se způsobem zajištění břitového uložení proti vypadnutí ze záběru. V poslední době se u pákových zařízení větších rozměrů upouští



Obr. 8.206



Obr. 8.207



Obr. 8.208

od břitových uložení a nahrazuje se otočným uložení na přesných valivých ložiskách. Kvalita tohoto uložení je téměř stejná, ale je zde výhoda ve snazší a větší spolehlivosti, protože odpadá otupení břitu, které snižuje citlivost.

Související normy ČSN :

ČSN 17 0150, 17 0152, 17 0153, 17 0154 + 17 0159, 17 7000, 17 7020, 17 7070, 17 7111, 17 7114, 17 7117, 17 7118, 17 7121 + 17 7123, 17 7143 + 17 7146, 17 7149, 17 7151, 17 7171 + 17 7176, 17 7181, 17 7182.

8.5. SPECIÁLNÍ OTOČNÁ ULOŽENÍ

Speciálních otočných uložení používáme tam, kde jsou kladeny na otočné kinematické dvojice zvláštní požadavky. Specifické podmínky pro uložení vznikají tam, kde se požaduje mimořádná přesnost uložení otáčivých dílců, více stupňů volnosti a zvýšenou přesnost, resp. bezvúlový chod při rotaci či natáčení. Podle výše uvedených požadavků můžeme speciální otočná uložení rozdělit na :

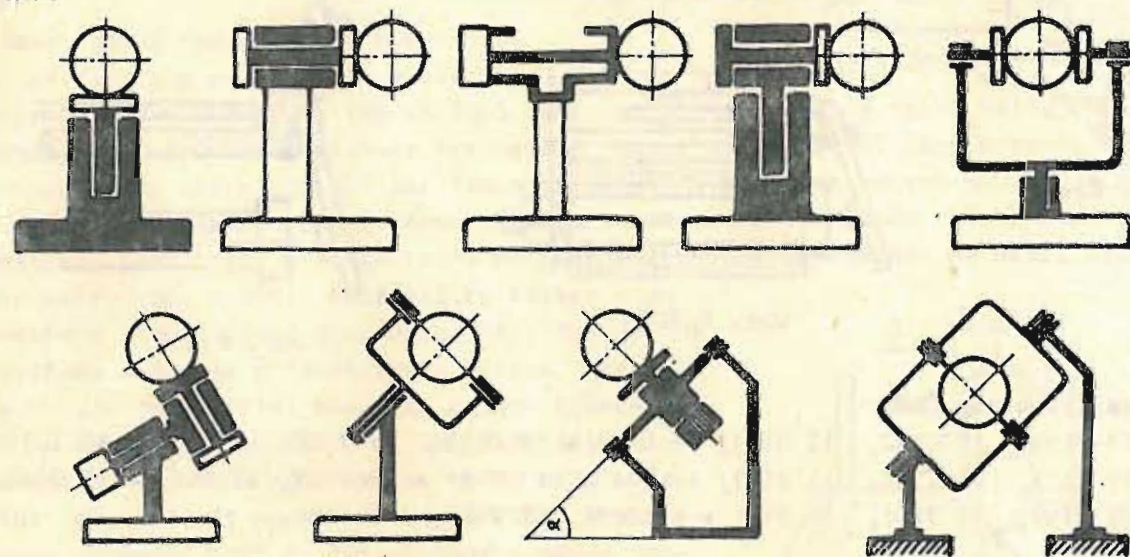
- uložení úhломěrných přístrojů
- kulové a kuličkové klouby
- závěsná otočná uložení.

8.5.1. Uložení úhломěrných přístrojů

Přístroje, u nichž měřená nebo nastavená hodnota závisí na úhlu, nazýváme úhloměrnými. Ve většině případů tyto přístroje nesou zaměřovací nebo pozorovací dalekohled a proto zde můžeme spíše mluvit o otočném uložení dalekohledu a jeho možnosti natáčení kolem jedné nebo kolem dvou na sobě kolmých os. K úhloměrným přístrojům patří hlavně geodetické přístroje, hvězdářské dalekohledy, optické přístroje, jako jsou spektrometry, refraktometry, goniometry ap. Dále k nim můžeme počítat přístroje čistě mechanické, jako jsou kruhové dělicí přístroje, přesné otočné suporty ap. Uvedené přístroje mají vykazovat velkou tuhost a proto jsou robustní, hmotné, rozměrově značně větší než přístroje s hrotovým uložení. Úhloměrné přístroje mají mít vysokou přesnost otáčení kolem os a těsnost (chod pokud možno bez vůle). Pokud se týká rychlosti otáčení či natáčení je tato pomalá, chod je přerušovaný nebo občasný.

Uložení zaměřovacích nebo pozorovacích dalekohledů se provádí na čepích, které mohou být uchyceny buď letmo nebo na dvou podporách. Osa čepů bývá svislá, vodorovná nebo i šikmá. Dalekohled může konat pohyb buď kolem jedné nebo kolem

dvou navzájem kolmých os (např. hvězdářský dalekohled se otáčí kolem polární osy t.j. rovnoběžně se zemskou osou, a kolem osy deklinační (kolmé na zemskou osu). Velmi těžké dalekohledy se vyvažují, aby se odlehčilo uložení. Schematické znázornění uložení dalekohledů ukazuje obr. 8.209 (dalekohled znázorněn kolečkem s křížkem).

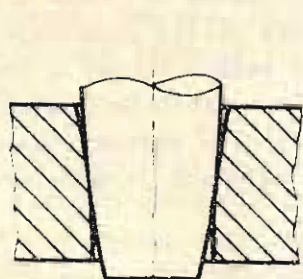


Obr. 8.209

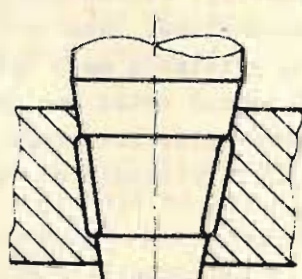
Pro otočná uložení úhloměrných přístrojů se užívá převážně kluzných uložení. Zavedení výroby přesných valivých ložisek umožňuje postupný přechod z kluzného uložení na uložení s valivým třením.

Kluzná uložení jsou tvořena buď kuželovým nebo válcovým čepem s patřičným tvarováním pánve. Konstrukční řešení otočného uzlu má zaručit odstranění zadírávání a tepelnou kompenzaci.

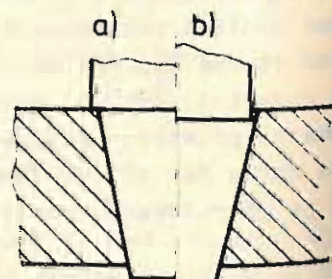
Kuželové čepy dosahují velké přesnosti, protože je lze nejen přesně vysoustružit, ale dají se dodatečně zabrousit. Při zabrušování dlouhého čepu může dojít k bombírování čepu i ložiska (obr. 8.210). Toto vyvolává viklání čepu. Proto se vodící plochy omezují odlehčením čepu či pánve nebo současně obou stykových ploch osazením (obr. 8.211). Při nesprávné konstrukci se mohou při zabrušování nebo vlivem opotřebení objevit na čepu schodky (obr. 8.212a). Správná konstrukce čepu má být taková, aby přechodový průměr čepu z kuželové části na válcovou byl menší než průměr kuželové plochy pánve v místě dosednutí. Kuželový čep s válcovou částí musí zapadnout do kuželové díry pánve (obr. 8.212b). Dále je nutno počítat



Obr. 8.210



Obr. 8.211



Obr. 8.212

s tím, že po zabroušení a vymytí maziva se zabrušovacím prostředkem dojde k poklesu čepu. Velikost poklesu čepu je úměrná vrstvě brusné pasty.

Třecí moment u kuželového otočného uložení je ve srovnání s válcovým uložení větším. Velikost třecího momentu se určí ze vztahu

$$M_T = F_N \cdot \frac{d_s}{2} \cdot f \quad (8.32) \quad [Nmm]$$

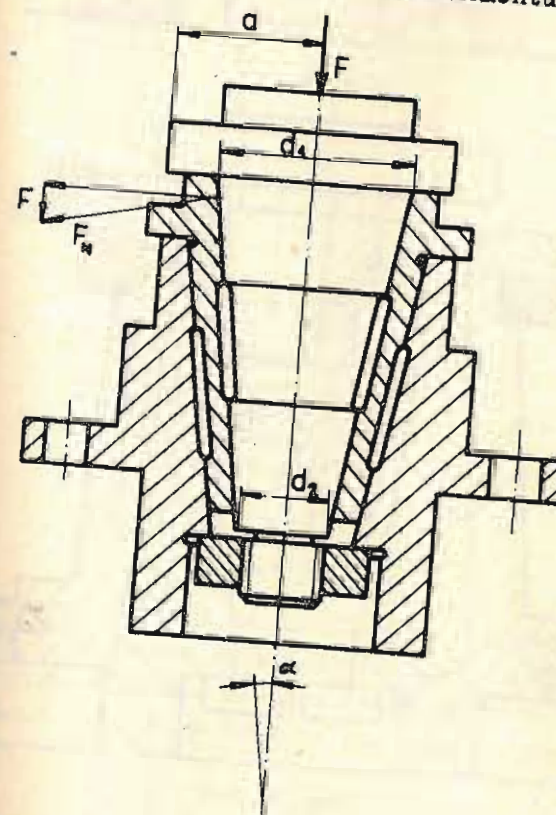
$$\text{resp. } M_T = \frac{F \cdot d_s}{\sin \alpha \cdot 2} \cdot f \quad (8.33) \quad [Nmm]$$

kde F_N je síla kolmá na otočné plochy [N]
 F je axiální síla [N]

$$d_s = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{je střední průměr čepu} \quad [mm]$$

f je součinitel tření

α je poloviční vrcholový úhel kužele (obr. 8.213)



Obr. 8.213

Při návrhu uložení se volí délka kuželového čepu

$$l > a,$$

střední průměr čepu je s délkou vázán podmínkou

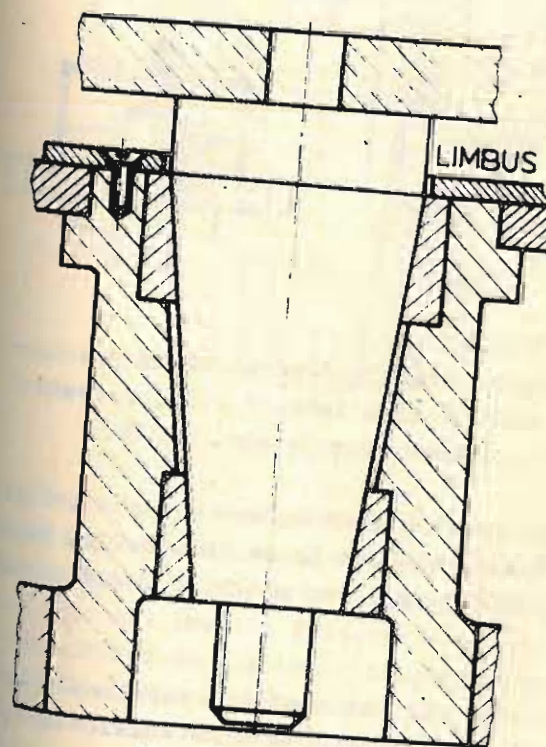
$$l > 1,5 d_s$$

aby nedošlo k zadírávání čepu má být poloviční úhel $\alpha > 2^\circ 30'$. Kuželovitost čepu se volí

$$1 : 5 + 1 : 10$$

Jednoduché kuželové ložisko pro teodolit, refraktometr nebo spektrometr ukazuje obr. 8.213, 8.214.

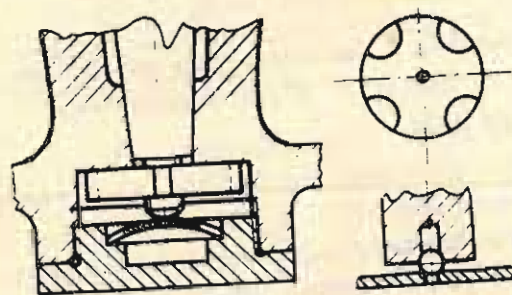
Otočný kuželový čep běží v ložisku s mosazí, bronzou nebo i v ocelových vložkách. Ložisko se upevňuje na těleso třínožky nebo je přichyceno po zapuštění šrouby (obr. 8.215). Ložisko nese přišroubovaný limbus. Kuželový čep je naň osazen a na osazení je nasazena alhidáda s vidlicí pro uchycení dalekohledu. Vypadnutí čepu z pánve brání kruhová matice, která umožňuje zachování délky po opracování čepu, nebo se může použít šroubu s hlavou velkého průměru, zašroubované do čepu (obr. 8.216).



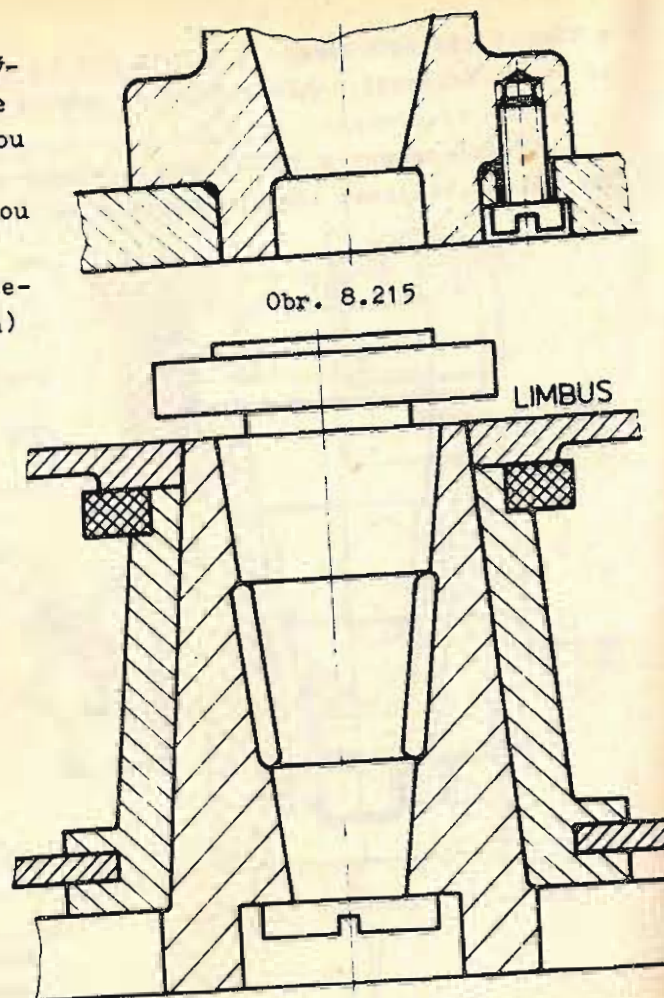
Obr. 8.214

Aby se zmenšilo opotřebení a zvýšila trvanlivost uložení, nadlehčuje se čep s nesenými součástmi buď membránovou pružinou, podpírající kulové zakončení čepu (obr. 8.217) nebo kuličkou vsazenou do čepu. Často se užívá stavěcího šroubu, který podepírá čep buď přímo (obr. 8.218a) nebo přes kuličku (obr. 8.218b).

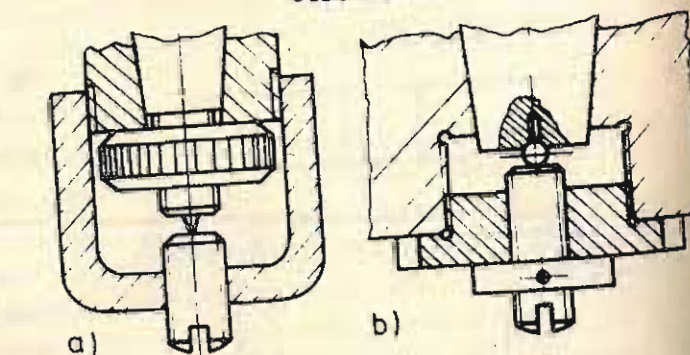
Pružné nadlehčení zachytí hmotnost čepu spolu s připojenými díly jen z části, zbytek hmotnosti připadá na úložné plochy ložiska. Takto uložený čep se chová jako čep málo zatížený. Velikost vůle odpovídá tloušťce maziva a mění se se zatížením, dobou a teplotou. Zde může nastat případ, že vůle se natolik zmenší, že vyvolá ztížený chod. Nadlehčení pomocí šroubu, pokud čep a pánev jsou ze stejného materiálu, zachová stále stejnou vůli, ovlivněnou pouze teplotou.



Obr. 8.217



Obr. 8.215

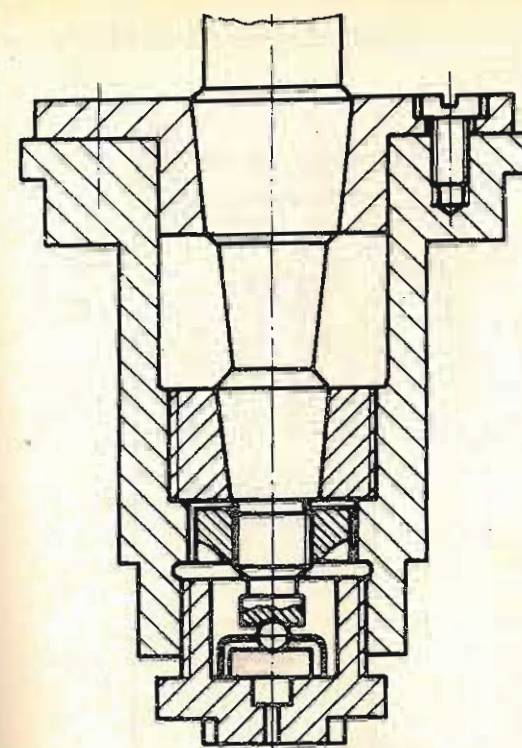


Obr. 8.218

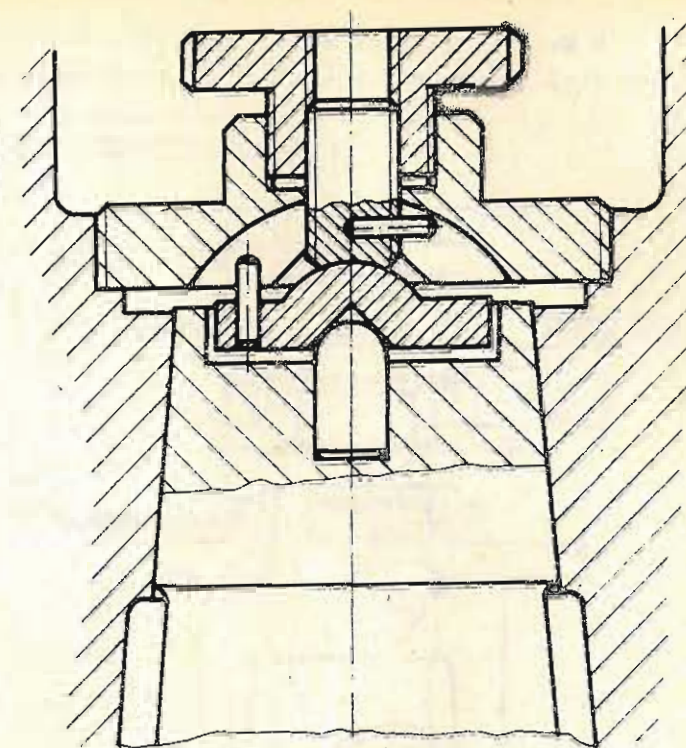
Tomuto odlehčení se dnes dává přednost. Někdy se místo podepření užívá jednoduchého opření horní přírubou, která zachytí axiální sílu (obr. 8.216). Provedení svislého uložení kuželového čepu s kuličkovým opěrem ukazuje obr. 8.219.

Při konstrukci kuželových uložení může dojít k záměně funkce čep - ložisko. Čep je pevný a ložiskové těleso se otáčí. Takové uložení je na obr. 8.220. Pánev je vedena na kuželovém čepu a je při tom podepřena kulovou plochou. Jemné nastavení se provádí diferenciálním šroubem.

Při odečítání na různých místech kruhové stupnice musí být zaručeno i správné natáčení limbu. U méně přesných přístrojů se limbus natáčí na kuželovém čepu ložiskového tělesa. Toto těleso tvoří současně pánev pro čep alhidády (obr. 8.221).

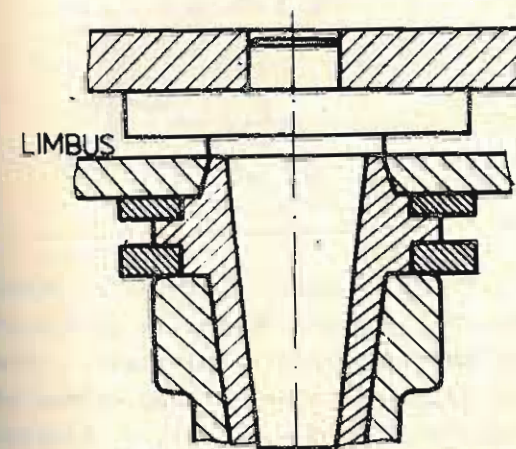


Obr. 8.219

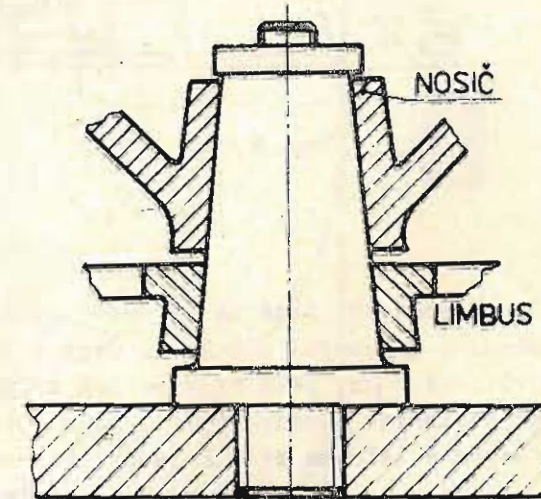


Obr. 8.220

Přesnější čtení je zaručeno na provedení uložení podle obr. 8.216. Správnost čtení je v těchto případech podmíněna souosostí obou rotačních ploch. Nejlepší čtení zaručuje otočné uložení limbu přímo na vodícím čepu alhidády (obr. 8.222). Tato konstrukce však dává velkou výšku a proto se od ní upouští.



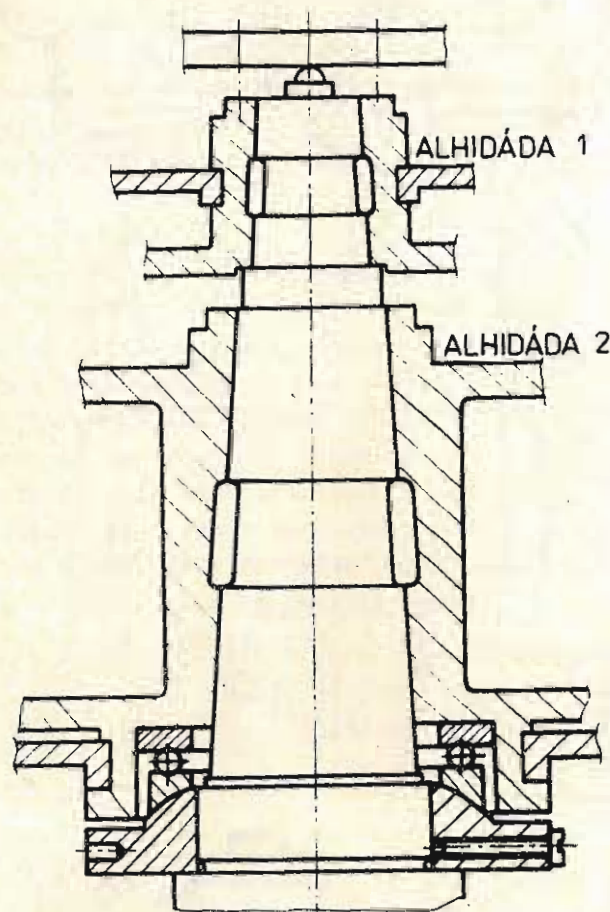
Obr. 8.221



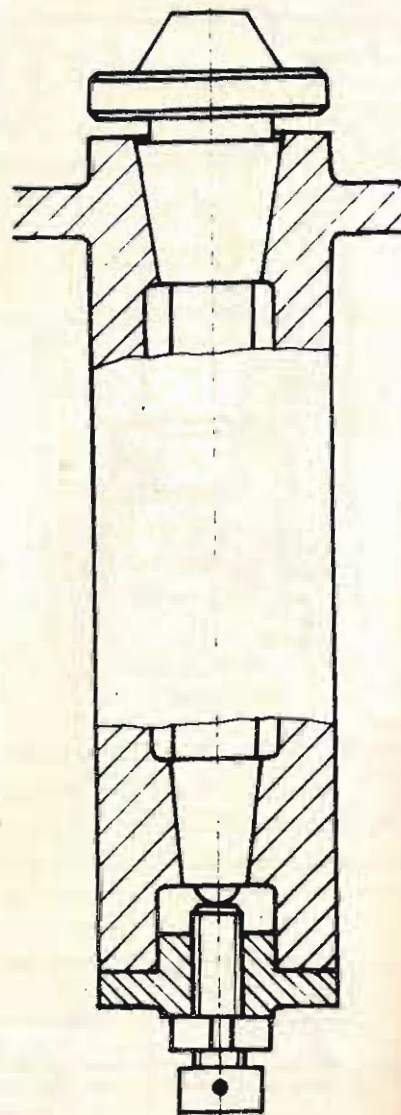
Obr. 8.222

Analogická konstrukce je použita u spektrometru (obr. 8.223) s velmi přesným vedením. Na pevném ocelovém čepu je v horní části nasazena pánev tvořící nosič stolku a na dolní části se otáčí litinové pouzdro, sloužící jako nosič dalekohledu. Hmotnost horního ložiska je odlehčena deskou opírající se o kulové zakončení čepu, přišroubovaná třemi šrouby k nosiči stolku. Vymezení vůle spodního kluzného uložení je provedeno axiálním ložiskem. Toto se dá posouvat speciální rektifikační maticí. Pevný čep je spojen s rámem spektrometru.

U malých dělicích strojů se užívá dvojkuželového uložení (obr. 8.224), u něhož činí jisté potíže zajištění přesné souososti.



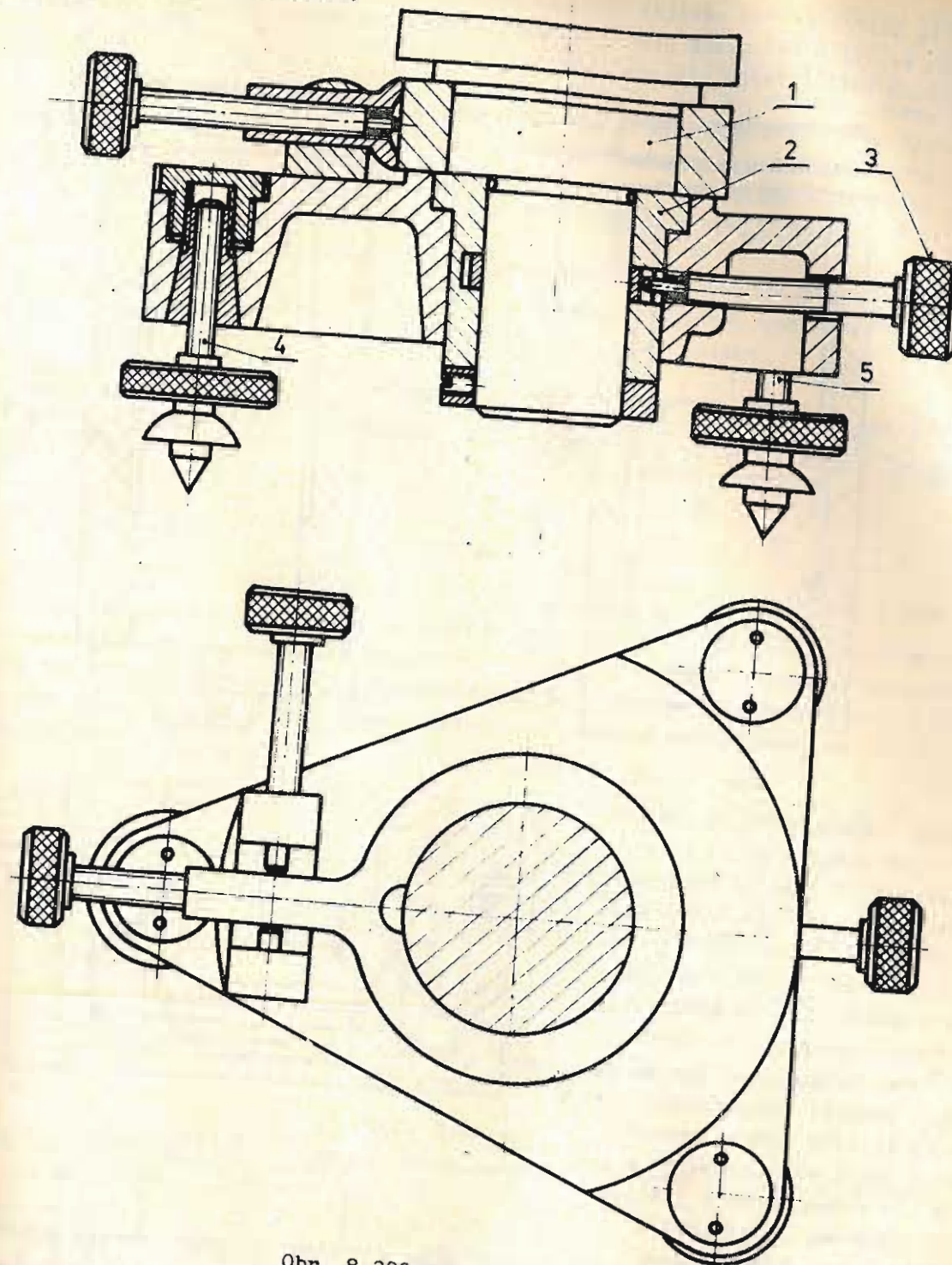
Obr. 8.223



Obr. 8.224

V poslední době se výrobou speciálních nitridačních ocelí přechází na otočné uložení s válcovými plochami. Čepy z nitridačních ocelí lze vybrousit a dolapovat na vůli až 2 μm . Tato vůle se pak utěsní vhodným mazivem. Axiální zatížení, vyvozené hmotností otáčivé části, se zachycuje čelní plochou osazeného čepu. Tření mezi čepem a tělesem přístroje při otáčení může být buď kluzné nebo valivé. Konstrukce přesného válcového uložení je uvedena na obr. 8.225, který představuje avislou osu teodolitu. Zatížení přejímá čep 1, který je veden v pouzdře 2. Fixace osy 1 se děje šroubkem 3, přes pomocný kroužek. Nastavení správné polohy provádí šrouby 4 a 5. Zmenšení tření ve stykových plochách na čelech osazení můžeme docílit usazením čepu na tupý hrot, jak je znázorněno na obr. 8.226, na kuličkách (obr. 8.227) na násypných (obr. 8.228) nebo normálních axiálních ložiskách. (obr. 8.229). Ložiska jsou axiálně posuvná, takže se čep dá výškově nastavit a současně vymezit axiální vůle. Přesnost axiálních ložisek nemusí být vysoká, protože tato mají za úkol pouze zachycovat axiální síly. Radiální vůle se vymezí mazivem. Vymezování vůle mazivem je ovlivněno změnou viskozity, provozní teplotou při provozu v různých

ných klimatických podmínkách.

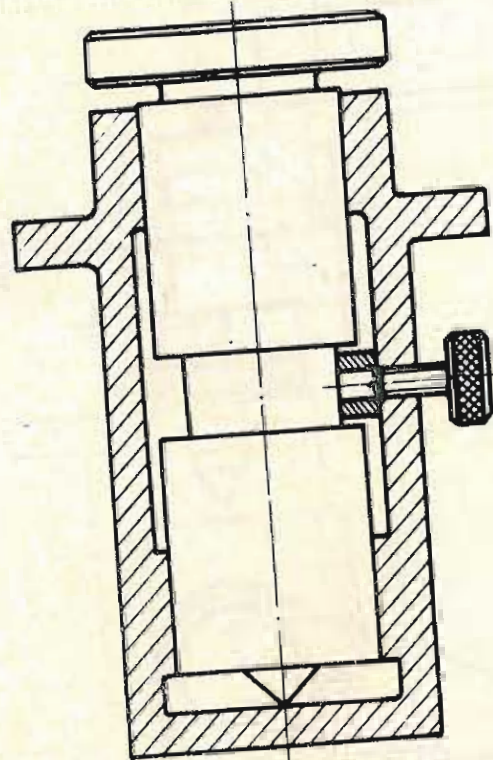


Obr. 8.225

Styk válcového čepu v pánvi je omezen na dva páry stykových ploch. Pro středění čepu na axiálních kuličkových či násypných ložiskách, je nutno jejich skříňový kroužek uložit pouze vsuvně ve skříni, resp. lze užít i větší boční vůle. Čep je nutno zajistit proti vytažení.

Těžké otočné systémy se zpravidla ukládají na kluzná nebo valivá ložiska. V dělicích kruhových strojů se vyžaduje velmi přesné uložení desky, protože případné chyby v uložení nelze kompenzovat např. dvojnásobným odečítáním. Otočné uložení

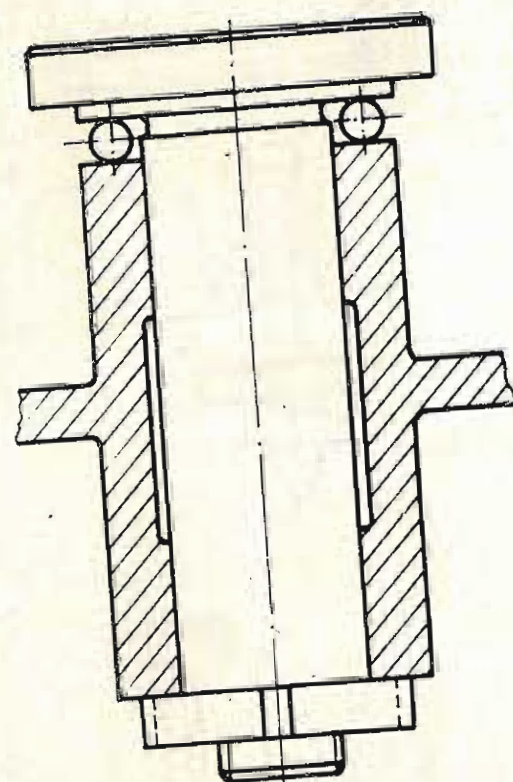
desek může tvořit kluzné axiální ložisko nebo dnes se častěji užívá uložení na axiálních valivých ložiskách nebo i na kuličkových ložiskách s kosouhlým stykem či ložiskách kuželíkových různých typů.



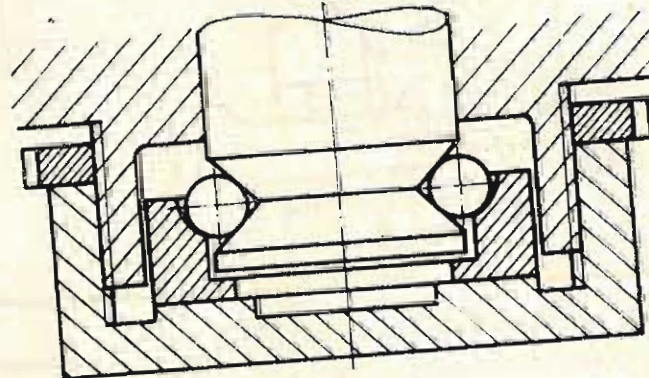
Obr. 8.226

Axiální ložiska zachycují hmotnost a případné axiální síly. Radiální síly jsou obvykle malé, takže pánev vodícího ložiska může být tenká. V některých případech je možno použít i parciálního ložiska (obr. 8.230). Toto dovoluje vytvořit rovnoměrnou obvodovou vůli, pokud čep má dodrženy úchytky válcovitosti. Parciální ložisko můžeme vytvořit také z kuželových segmentů, které jsou pro vymezení vůle vtahovány či dotlačovány do válcového pouzdra s vnitřním kuželem.

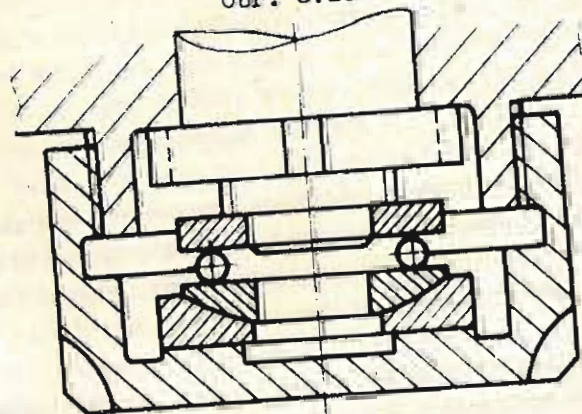
U dělicích strojů či otočných suportů, žádáme poměrně nízkou výšku, abychom nezvyšovali pracovní prostor stroje. U jednoduchých a lehkých otočných systémů můžeme vystačiti i s plochým otočným uložením, kde otočná deska spočívá na rovině ploše.



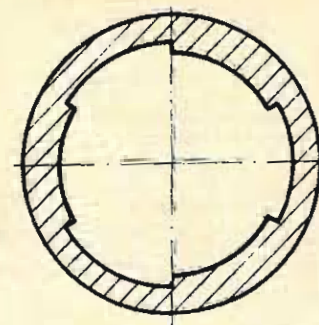
Obr. 8.227



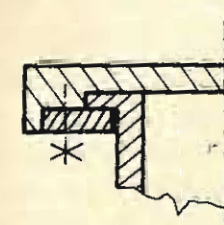
Obr. 8.228



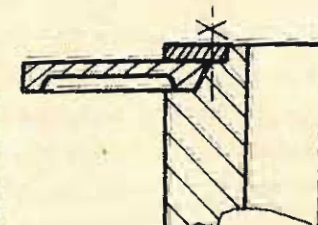
Obr. 8.229



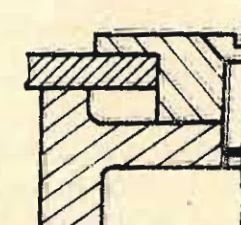
Obr. 8.230



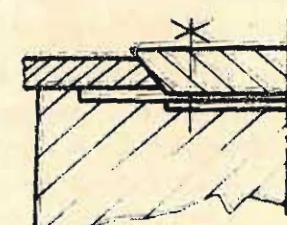
Obr. 8.231



Obr. 8.232

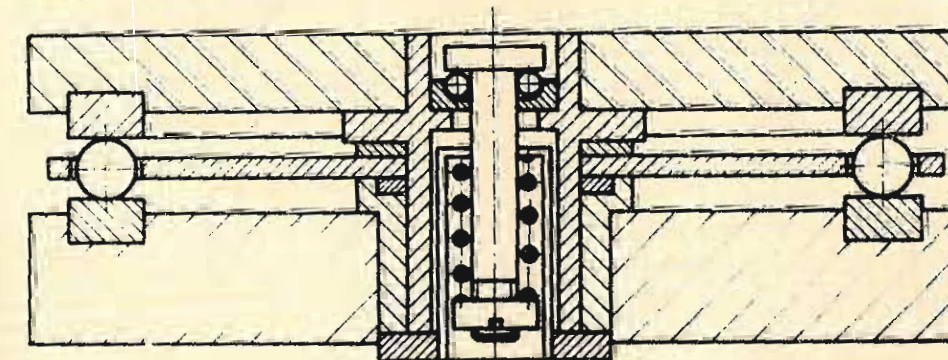


Obr. 8.233



Obr. 8.234

Hmotnost a případné axiální síly zachytí axiální ložisko. Radiální vedení může být buď kluzné nebo se může použít uložení na radiálních ložiskách kuličkových, válečkových či jehlových. Pokud je užito středního čepu, mohou kuličky obíhat na rovinných kruhových drahách, které jsou z výrobního hlediska vhodnější, protože je lze přesně zabrousit do roviny.



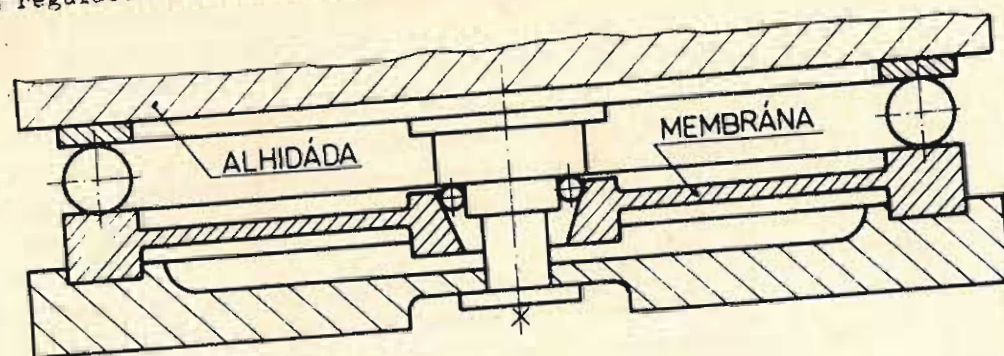
Obr. 8.235

Kuličky jsou vedeny v kleci, kterou tvoří mezikruhová deska spojená se středním rotujícím čepem obr. 8.235.

Čistě valivé otočné uložení jak v radiálním tak i axiálním směru je znázorněno na obr. 8.236. Vnější otočné uložení zachycuje větší část zatížení od alhidády, menší část zatížení je zavedena do náspného ložiska s třibodovým stykem. Těsnost vedení je zajištěna membránou, která se podřizuje vnějšímu zatížení. Kuličky jsou i zde vedeny v kleci, která zajišťuje jejich rovnoměrné rozložení po obvodě. Další provedení přesného uložení je znázorněna na obr. 8.144. Moderní přesné valivé uložení je možné provést pomocí křížového ložiska podle obr. 8.146.

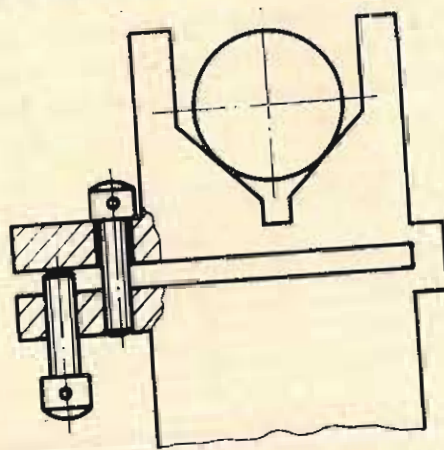
Pro otočné uložení úhloměrných přístrojů, a to i velmi těžkých, lze použít i plovoucích ložisek plynových a hydrostatických, pokud je zaručena válcovitost a

správná regulace tlaku plynu a kapaliny.



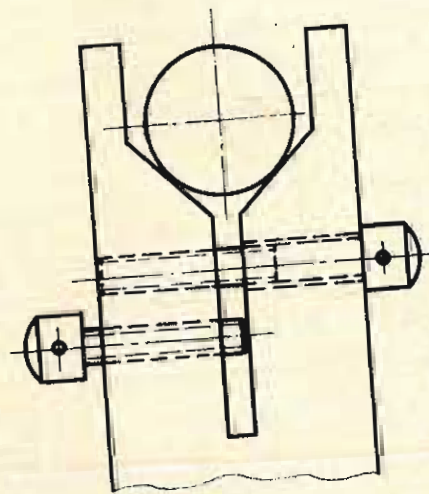
Obr. 8.236

Pro velmi přesná uložení se užívá i kinematických ložisek, kde styk přídrůžených ploch je omezen na dvě resp. tři přímky. Přesné ustavení osy rotace do vodorovné polohy se u kinematických ložisek provádí jejich výškovým seřizováním, a to buď pomocí zářezů či podélného klínu. Ustavení pomocí vodorovného zářezu je na obr. 8.237. Použití svislého zářezu je užito v konstrukci na obr. 8.238. Ustavení pomocí zářezů stahovaných resp. roztahovaných šroubů není tak jemné, jako při použití klínů podle obr. 8.239.

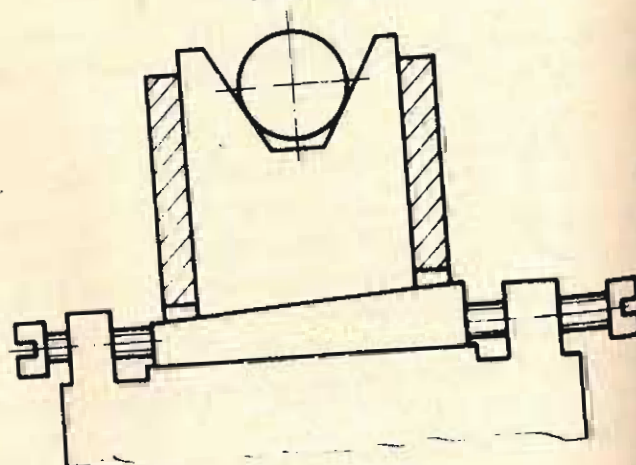


Obr. 8.237

Při malém úkosu klínu lze jeho velkým posuvem ve vodorovném směru docílit velmi malé výškové změny. Zajištění polohy klínu se provádí dvojicí šroubů, které slouží zároveň k vyvození posuvu. Čepy resp. hřídele s vodorovnou i se svislou osou mají být velmi tuhé. Při velkém zatížení vodorovných čepů či hřídelů zabráníme velkým průhybům odlehčovacími ložisky. Odlehčovací ložiska nemusí být zvláště přesná, jejich účel je zachytit větší část zatížení. Zbylá část zatížení se



Obr. 8.238



Obr. 8.239

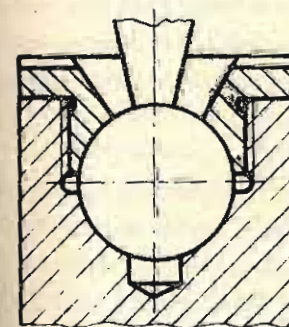
přenesse na velmi přesná ložiska, které současně tvoří požadované přesné vedení.

8.5.2. Kulové a kuličkové klouby

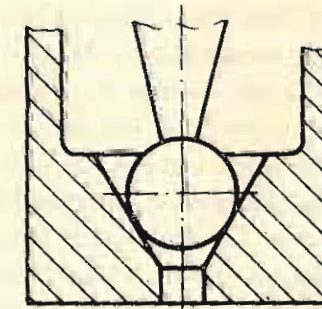
Kulové a kuličkové klouby tvoří kinematickou dvojici, která umožňuje rotační pohyb s více stupni volnosti. Používají se všude tam, kde se žádá všestranná, avšak z konstrukčních důvodů omezená úhlová pohyblivost a tam, kde hlavní rotační pohyb je doprovázen vedlejšími úhlovými pohyby. Kulové a kuličkové klouby mohou být konstruovány se třením kluzným nebo valivým. Požadavky na velikost třecích sil mohou být, analogicky jako u otočných uložení s jedním stupněm volnosti, rozdílné; buď se žádá tření velké, jak je např. u stavitelných otočných držáků, nebo má být tření minimální např. při zajišťování volné pohyblivosti při rotaci. Pro získání velkého tření volíme uložení kluzné, v opačném případě přecházíme na uložení valivé.

Hlavním konstrukčním prvkem kulových a kuličkových kloubů je kulová konvexní a konkávní plocha ve tvaru kulové výseče, středové kulové úseče nebo se používá přímo samostatných koulí či kuliček.

Kulovým zakončením opatřujeme např. úhlově stavitelné držáky, kterými chceme docílit nastavení nesené součásti do pracovní polohy v prostoru, t. j. natočení a vychýlení kolem základní osy (obr. 8.240), jak je tomu např. u fotografického stativu.



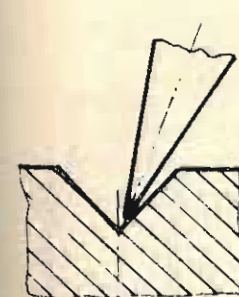
Obr. 8.240



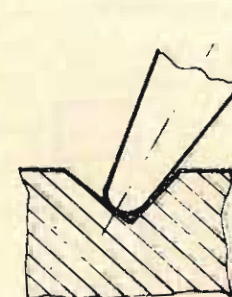
Obr. 8.241

Zajištění nastavené polohy držáku se provede vložkou s kulovým vybráním a šroubovým závitem nebo dotlačením vložky pomocí šroubu nebo excentru (viz svěrná spojení). Kulovým kloubem opatřujeme také páky, u nichž se má dodržet neměnná základní poloha při jejich úhlovém naklopení. Takové kulové zakončení má např. rameno polárního planimetru (obr. 8.241). Zde kulové zakončení ramínka zapadá do kuželového vybrání závažíčka.

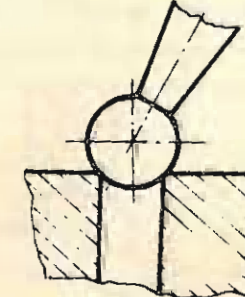
Tím je zaručen nejen výkyvný, ale rotační bezvúlový pohyb kolem pevného pólu. Kulovým zakončením bývá opatřeno i rameno kružítka na orýsování kružnic do kovu. Ostří hrot otáčející se v kuželovém důlčiku (obr. 8.242),



Obr. 8.242



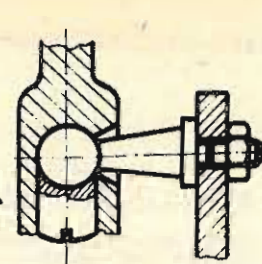
Obr. 8.243



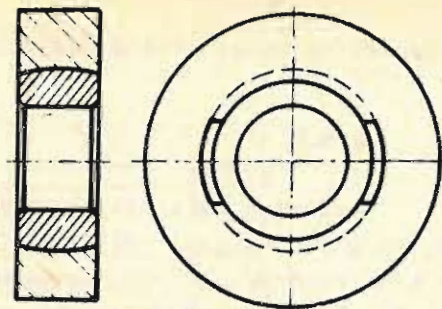
Obr. 8.244

nezaručuje vlivem tření přesnou polohu středu otáčení. Je lépe použít rameno zakončeného polokoulí (obr. 8.243), která při dotyku s povrchem důlčiku nedovoluje úhyb ze středu. Zakončení ramene ve tvaru koule však dovoluje orýsovat kružnici okolo válcové díry (obr. 8.244).

Kulovou plochou zakončujeme i konce pák, které mimo hlavní otáčivý výkyvný či rotační pohyb mají mít umožněn pohyb výkyvný v rovině kolmé na hlavní rovinu pohybu (obr. 8.245). Tímto řešením uložení pák vymezujeme výrobní nepřesnosti souosostí či rovinností, které vyžaduje funkce pákového mechanismu. Kulové plochy mají také dosedací plochy vřeten ventilů či sedel, které zaručují správný dosed i při vychýlení vřeten.

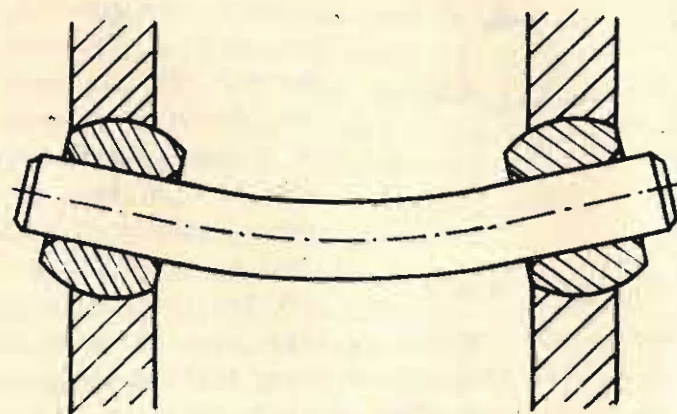


Obr. 8.245

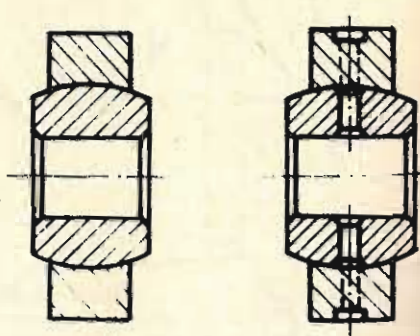


Obr. 8.246

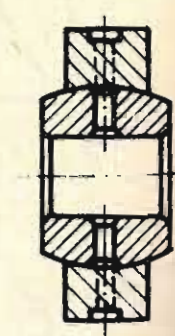
Pro kloubové uložení pák, os resp. i hřídelů s malou frekvencí otáčení používáme kloubových ložisek. Kloubová ložiska dovolují poměrně velký úhel natočení a jsou schopny plně nahradit i uložení provedené na obr. 8.245. Hlavním konstrukčním prvkem kloubových ložisek je čep ve tvaru středové kulové úseče s válcovým vývrtem, vložený do válcového pouzdra s kulovou dutou dosedací plochou. Původní konstrukce kloubového ložiska (obr. 8.246), měla pouzdro opatřeno dvěma mělkými zářezy v šířce rovné tloušťce kulového čepu. Tyto zářezy umožňují vložení kloubu do pouzdra. Uvedená konstrukce má nevýhodu ve zmenšené únosnosti a v nebezpečí vysunutí čepu při špatné montáži, při velkém vychýlení čepu a v omezené šířce čepu. Nově vyvinutá technologie kloubových ložisek umožňuje zasunutí kulového čepu do vnějšího kroužku (pánve) s tvarově odpovídající dosedací plochou silovým rozevřením axiálně vedeného zářezu na pouzdře. Rozevírání pouzdra za provozu brání pak jeho uložení ve válcovém otvoru tělesa či v samostatné kloubové hlavě. Touto novou technologií se umožnilo rozšíření aplikovatelnosti kloubových ložisek pro různá výkyvná uložení i s kombinací rotačního pohybu, protože šířka vloženého čepu může být větší. Kloubová ložiska jsou konstrukčně jednoduchá, zaujímají malý prostor a jsou schopna přenášet i velká zatížení. Dále tato mohou nahradit kluzná ložiska resp. i statické podpory, u nichž se vyžaduje naklápění, aby se přizpůsobily vnějším zatěžovacím podmínkám např. průhybu hřídele či čepu. Možnost natočení vnitřního čepu kloubového ložiska zmírní nebo odstraní hranová napětí, které by jinak vznikla při pevných pouzdrech kluzných ložisek či podpor. Maximální natočení vnitřního čepu může být jen takové, aby jeho kulová dosedací plocha neopustila dosedací plochu pouzdra (obr. 8.246a).



Obr. 8.246 a

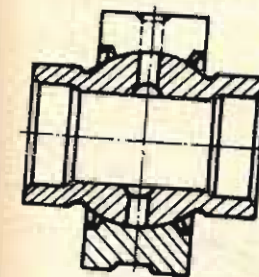


Obr. 8.247

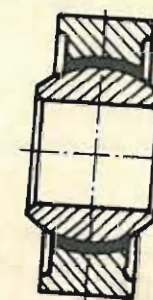


Obr. 8.248

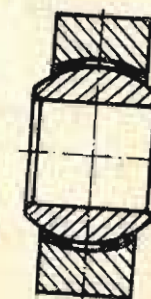
Kloubová ložiska a kloubové hlavy se vyrábějí v různých variantách. Provedení kloubových ložisek ukazují obrázky 8.247 až 8.251. Ložiska podle obr. 8.247 až 8.249 mají kovový styk v kulových dosedacích plochách. Mazání těchto ložisek se provádí buď mazacím tukem, sirníkem molybdenitickým či olejem. Bývají také opatřeny mazacími otvory. Obr. 8.250 a 8.251 představují samomazná ložiska ze spékanych kobronzovou (obr. 8.250) či na polyamid vyztužený skleněnými vlákny (GKF) obr. 8.251.



Obr. 8.249



Obr. 8.250



Obr. 8.251



Obr. 8.252



Obr. 8.253

Kluzná vrstva uchycená na vnější kroužek je buď jednolitá nebo je kluzný materiál ve formě kotoučků vložen do prstencové klece přišroubované k vnějšímu kroužku (obr. 8.252). Obr. 8.253 ukazuje provedení axiálního kloubového ložiska jednoduššího. Pro ulehčení konstrukce výkyvných pák či ramen se vyrábějí přímo uzly ve formě kloubových hlav, s různým řešením uchycení na konstrukční dílce. Obr. 8.254 ukazuje kloubovou hlavu s vnějším závitem, obr. 8.255 pak hlavu s vnitřním závitem. Provedení dle obr. 8.256 má vnitřní závit doplněný svěrným spojením, umožňující výškové nastavení polohy a její zajištění.

Metodika výpočtu kloubových ložisek je založena na dynamické a statické únosnosti, na velikosti zatěžné síly a charakteru provozu. Podle ISO, SKF platí pro určení ložiska tyto vztahy:

$$G = b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 \frac{1}{d_1 \beta} \cdot \frac{C}{F_{ekv}} \cdot 10^8 \quad (8.34)$$

$$\text{resp. } G_h = b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 \frac{1}{d_1 \beta \cdot f} \cdot \frac{C}{F_{ekv}} \cdot 10^6 \quad [\text{hod}] \quad (8.35)$$

kde G je trvanlivost vyjádřená v počtech kyvů nebo otáček
 G_h je trvanlivost vyjádřená v provozních hodinách [hod]
 C je dynamická únosnost [N]
 F_{ekv} je ekvivalentní zatížení [N]
 d_1 je průměr kulové styčné plochy [mm]
 β je poloviční úhel kmitu [grad] (při rotaci $\beta = 90^\circ$)
 f je frekvence kyvů (resp. otáček) [min⁻¹]
 b_1 je zatěžovací součinitel, b_2 je součinitel mazání, b_3 je teplotní součinitel, b_4 je součinitel kluzného tření, b_5 je materiálový součinitel. Jejich hodnoty se odečítají z grafů a tabulek vydaných výrobcem.

Ekvivalentní zatížení u radiálních kloubových ložisek se vypočte ze vzorce

(8.36)

$$F_{ekv} = F_r + Y F_a, \quad [N]$$

kde F_r a F_a jsou radiální a axiální zatížení [N]
 Y je axiální součinitel závislý na F_a/F_r a dvojici kluzných materiálů (odečte se z tabulek).
 Pro axiální jednosměrné kloubové ložisko je ekvivalentní zatížení

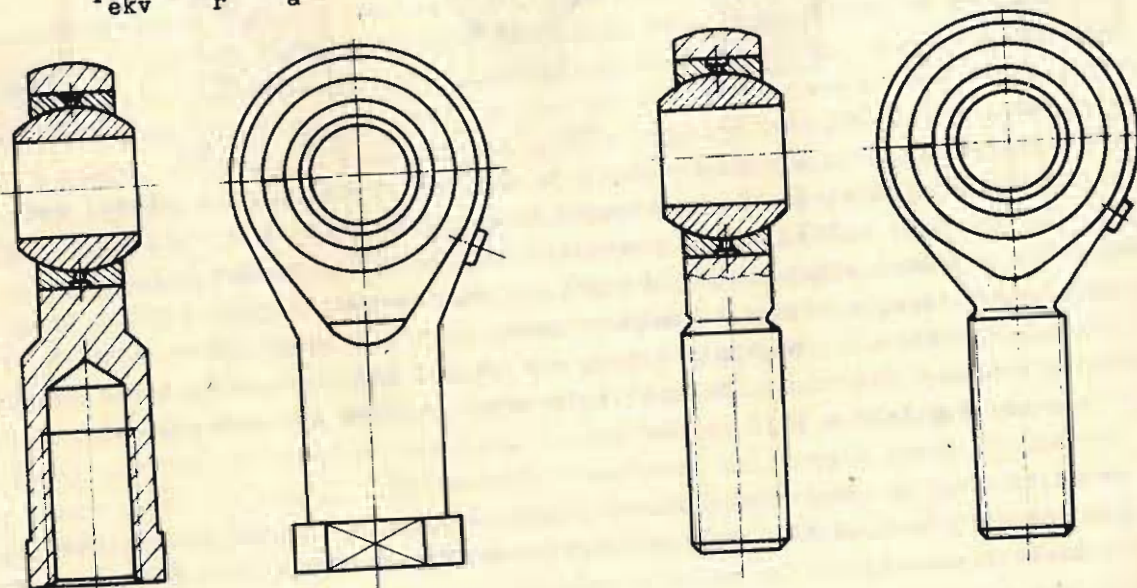
$$F_{ekv} = F_r \quad \text{pro } F_a/F_r \leq 0,85 \quad [N] \quad (8.37)$$

$$F_{ekv} = 0,6 F_r + 0,7 F_a \quad \text{pro } F_a/F_r > 0,85 \quad [N] \quad (8.38)$$

Pro axiální kloubové ložisko

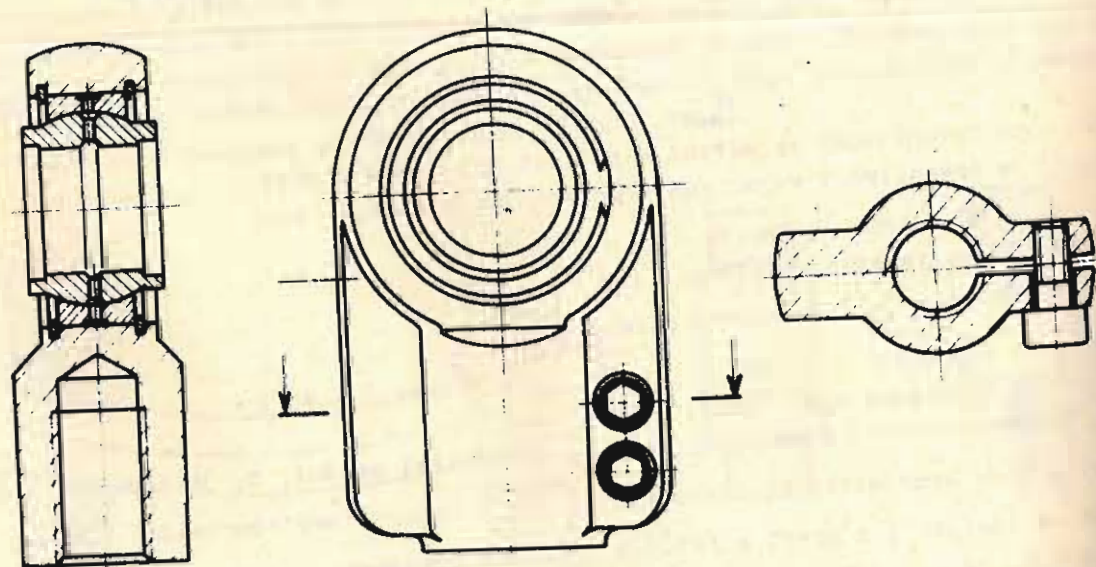
$$F_{ekv} = F_a + 1,2 F_r \quad (8.39)$$

Pro kloubové hlavy

$$F_{ekv} = F_r + F_a$$


Obr. 8.254

Obr. 8.255



Obr. 8.256

Dovolena síla pro kloubové ložisko, sloužící jako podpora, se určí ze vztahu

$$F_{dov} = C_0 b_3 \quad (8.40)$$

pro kloubovou hlavu jako statickou podporu

$$F_{dov} = C_0 b_3 b_6 \quad [N] \quad (8.41)$$

kde C_0 je statická únosnost [N]

b_3 je teplotní součinitel, b_6 je součinitel charakterizující časový průběh zatížení (pro čistě statické $b_6 = 1$, pro pulzující $b_6 = 0,5$, pro střídavé $b_6 = 0,25$).

Analogicky jako u kluzných ložisek, tak i u kloubových ložisek a hlav se počítá s opotřebením a oteplením podle vztahu

$$p \cdot v = \text{konst} \quad [N \cdot \text{mm}^{-2}, \text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde p je měrný tlak ve stykových plochách [$\text{MPa} = \text{Nmm}^{-2}$]

v je obvodová rychlost [m s^{-1}]

Součin $p \cdot v$ je závislý na použité dvojici kluzných materiálů a je uveden v tabulce na obr. 8.257.

kluzná dvojice	$p \cdot v [\text{Nmm}^{-2} \cdot \text{m s}^{-1}]$	$v [\text{m s}^{-1}]$	k	f
ocel / ocel	0,4	0,1(0,3)	24	0,08 + 0,15
ocel / bronz	0,4	0,1(0,5)	24	0,1 + 0,25
ocel / spékany kov	0,7	1,0	100	0,03 + 0,1
ocel / PTFE	1,2	0,8	200 ¹⁾ 100 ²⁾	0,03 + 0,1
ocel / GFK+ PTFE	0,5	0,15	50	0,05 + 0,1

Hodnoty v závorce platí pro rotaci; 1) pro kloubová ložiska, 2) pro kloubové hlavy

Obr. 8.257

Dovolenný měrný tlak ve stykových plochách se určí ze vztahu

$$p = k \frac{F_{dov}}{C} \quad (8.42)$$

kde k je součinitel, k němuž je přiřazena zatěžovací hodnota pro dvojici kluzných materiálů (obr. 8.257).

Střední kluzná rychlost se vypočte ze vztahu

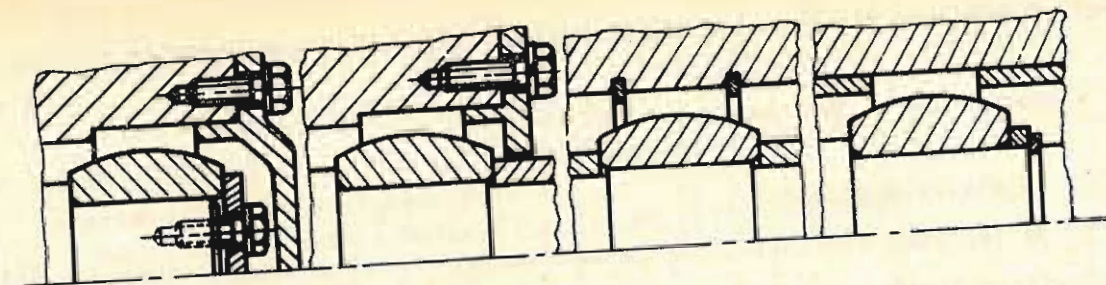
$$v = 5,82 \cdot 10^{-2} \cdot d_1 \cdot \beta \cdot f$$

Třecí moment závisí na ekvivalentní síle, součiniteli tření a průměru kulových ploch

$$M_T = 0,5 F_{ekv} \cdot d_1 \cdot f \quad [Nmm]$$

Uchycení kloubových ložisek na hřídel a do skříní se provádí analogicky, jako u valivých ložisek se samostatnými kroužky, tj. oba kroužky se v axiálním směru pevně uchycují. Konstrukce uchycení kloubových ložisek je na obr. 8.258.

Poloha a velikost tolerančního pole hřídele je m6, h6, díry ve skříní H7, M7, N7. Uložení se volí v závislosti na zatížení a na materiálu skříně, a to tak, že čím větší je zatížení, tím těsnější má být uložení. Pro hliníkové slitiny volíme polohu a velikost tolerančního pole N7. Před znečištěním kluzných ploch a výtokem maziva ze skříně chráníme uložení plstěnými nebo pryžovými těsnicími kroužky.

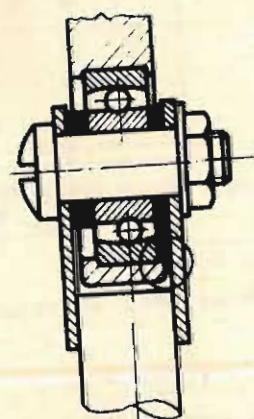


Obr. 8.258

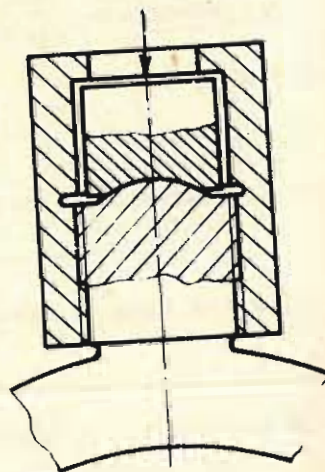
Kloubová ložiska a kloubové hlavy vykazují poměrně dost velké ztráty třením a tím ztížený chod. Žádáme-li lehký chod při rotaci hřídele nebo při kyvném pohybu s možností naklápění, používáme pro uložení hřídelů a os naklápěcích normovaných nebo speciálních valivých ložisek. Výkyv okolo roviny kolmé na osu rotace je omezen konstrukcí ložisek a je menší než u ložisek kloubových. Naklápěcí valivá ložiska se často užívají pro kloubové spojení pák, u nichž se předpokládá poddajnost v rovině kolmé na podélnou osu pák. Při malých bočních silách lze ložisko v axiálním směru zachytit ve skříní jednoduše přehybem (Obr. 8.259).

Kloubová uložení vyžadují také vzpěrné páky (vzpěrky), u nichž předpokládáme malé úhlové pohyby "vyrovnávání nesouosostí" při jejich uložení a přizpůsobení své polohy vnějším zátěžným silám. Zde je možno použít dvou konstrukčních řešení, a to vytvoření kulových ploch na koncích vzpěrek nebo použití ložiskových kuliček, zasazených do příslušných vývrtů.

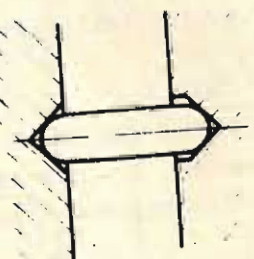
Kuličky se do těchto vývrtů buď zalisovávají, připájejí nebo upavňují přehybem okolního materiálu. Opěrné lůžko může tvořit buď kulová konkávní plocha nebo kuželový vývrt s vrcholovým úhlem 90° . Tak kulové zakončení mají např. měřicí třmenové siloměry (Obr. 8.260), kolíky pro přenášení sil u siloměrů (Obr. 8.261), konce stavěcích šroubů ap.



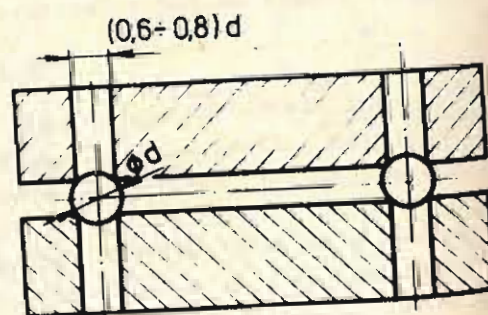
Obr. 8.259



Obr. 8.260



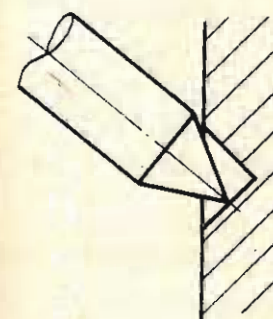
Obr. 8.261



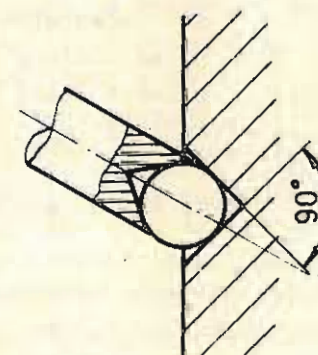
Obr. 8.262

I když kulové plochy na koncích vzpěrek dovedeme přesně vyrobit, přece pro velmi náročná kloubová uložení nahrazujeme kulové plochy ložiskovými kuličkami. Ložiskové kuličky patří mezi nejpřesnější strojní součásti a tím vyhoví i nej přísnějším nárokům na přesnost uložení. Obr. 8.262 ukazuje jednoduché řešení pro vyvození malých kyvných pohybů. Horní deska *a* se naklápí kolem desky *b* na kuličkách vložených do válcových vývrtů. Kulovou plošku ve vývrtech docílíme mírným zaklepnutím kuliček.

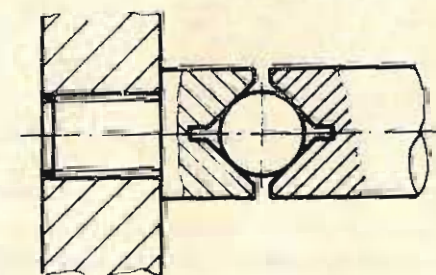
Kuličky používáme často místo hrotových uložení prvního či druhého typu. Kuličky jako čepy mají svá oprávnění v konstrukcích při ukládání šikmých hřídelů a tam, kde se žádá velká těsnost uložení. U šikmých hřídelů nebo os kuželový hrot totiž nedolehne vlivem nutné vůle do vodorovně umístěné kuželové pánvičky (Obr. 8.263) a tím vzniká nepřesné a co do úhlu sklonu omezené uložení. Tyto nedostatky plně odstraní vložená samostatná kulička (Obr. 8.264). Pro velmi přesná bezvúlová uložení bez požadavku na lehký chod použijeme rovněž samostatných kuliček místo kuželových hrotů (Obr. 8.265). Tímto způsobem jsou uložena např. ramena paralelogramů (Obr. 8.266).



Obr. 8.263

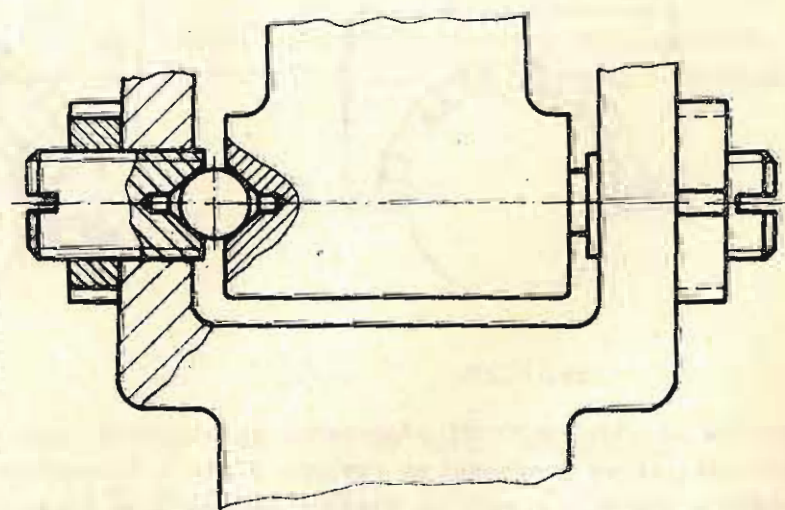


Obr. 8.264

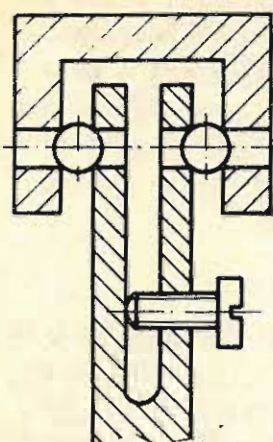


Obr. 8.265

Bezvúlového chodu lze docílit u výkvných pák také tak, že je v místě kloubového uložení předepneme a kuličky tím dotlačíme do příslušných válcových děr (Obr. 8.267). Touto konstrukcí nahradíme hrotové uložení z Obr. 8.96. Ložiskové kuličky mohou sloužit i jako axiální ložiska a zachycovat axiální sílu při rotaci hřídelíku. Kulička je vložena do válcové díry s kuželovým nebo plochým zakončením (Obr. 8.268). Provedení *a* má tříbodový styk a tím i větší tření.



Obr. 8.266

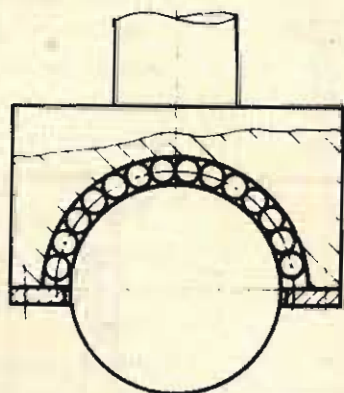


Obr. 8.267

Kuličky uchycené na koncích hřídelíků či os mohou sloužit i jako hrotové uložení 1. typu. Takto jsou konstruovány např. hřídelíky elektroměrů (obr. 8.89).

Samostatných kuliček se dá použít i pro konstrukce umožňující všestranný pohyb v rovině (obr. 8.269). Kuličky jsou volně vloženy mezi dvě rovnoběžné, přesně vyrobené, desky. Tření je minimální a horní deska se pohybem snadno přizpůsobí vnějším zatěžovacím podmínkám. Desky mají mít vysokou povrchovou tvrdost, aby nedošlo k zatlačení kuliček a tím ke zvýšenému tření. Taková zařízení tvoří velmi často podporu nosníků a pák či ramen, kterým musíme umožnit pohyb v rovině.

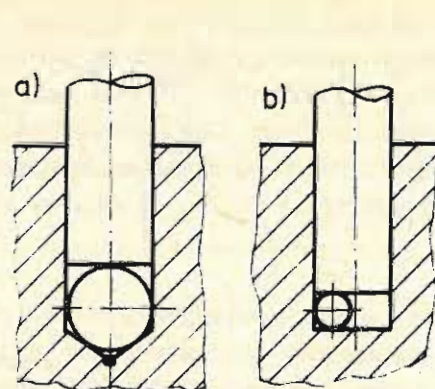
Všestranný pohyb v rovině lze docílit také konstrukcí kulového kloubu podle obr. 8.270 nebo jeho lepší variantou podle obr. 8.271.



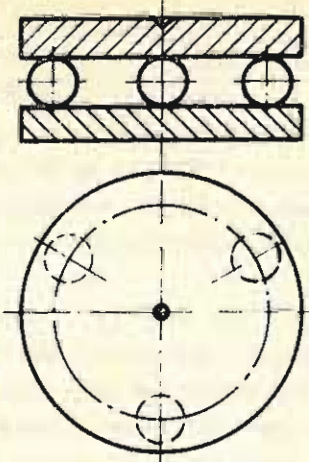
Obr. 8.270

Uvedené konstrukce tvoří samostatné konstrukční celky, které se montují na zařízení, mající se pohybovat po rovinné ploše v libovolném směru. Mohou být také uchyceny pevně v rámu a po koulích se pohybuje rovinná deska v libovolném směru. Uvedených konstrukčních uzlů bylo např. použito v přímých valivých vedeních. (obr. 7.93).

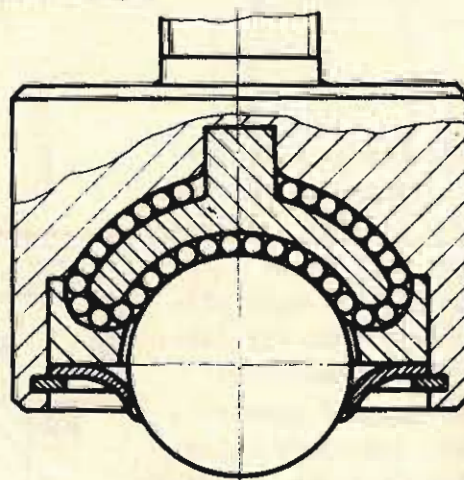
Kuliček jako samostatných dílců se používá dále v hydraulických či pneumatických ventilech, protože umožňují dokonalé těsnění v sedlech při libovolném směru zatěžné síly.



Obr. 8.268



Obr. 8.269



Obr. 8.271

Poznámka :

O mazání otočných uložení jsme se zmínili již v jednotlivých statích a vzhledem k jeho důležitosti se k němu vracíme v této poznámce.

Správná funkce a spolehlivost ložiskových uzlů je podmíněna třemi faktory : třením, opotřebením a mazáním. Všechny tyto faktory vzájemně souvisí a nemůžeme je od sebe oddělit, jak se do jisté míry provádělo dříve. Zkoumání vlastností těchto problémů vyústilo do nového vědního oboru zvaného tribologie. Tribologie zkoumá všechny uvedené faktory současně s cílem zajistit vysokou spolehlivost a hlavně těch ložiskových uzlů, které mají pracovat s vysokými tlaky, teplotami a rychlostmi. Tribologie dala také nový pohled na základní parametr mazacích olejů, a to na viskozitu. Jak se prokázala, viskozita není jen funkcí teploty, ale její hodnota je závislá také na hodnotě tlaku v místě styku. Za vysokých tlaků, které se vyskytují hlavně u kinematických uzlů s bodovým nebo časovým stykem, tj. u valivých ložisek a hrotových uložení, ale i v ozubení se olej mění v poloplastickou hmotu a viskozita nabývá velmi vysokých hodnot. Tato změna provozní vlastnosti ložiskového uzlu. Zde již není možno mluvit o hydrodynamickém mazání, ale o mazání elastohydrodynamickém, které je dosud ve stádiu výzkumu. Dosavadní výzkumy ukazují, že pro každý ložiskový uzel je nutno pro zajištění vysoké spolehlivosti předem ověřit správnou volbu mazacího prostředku, a to jak oleje, tak i mazacího tuky, který by zajišťoval malé tření a malé opotřebení. Poněvadž v přesné mechanice je rovněž ložiskový uzel "slabým místem" konstrukce, musíme tomuto problému věnovat zvýšenou pozornost. U důležitých konstrukcí, pracujících v extrémních podmínkách, sledujeme stav ložiskového uzlu diagnostickými přístroji. Tyto sledují přítok oleje do mazacího místa, teploty, opotřebení, žádané přesnosti chodu, hladiny vibrací. Zvýšení uvedených činitelů nad normál signalizuje změnu stavu ložiskových ložisek signalizují zhoršené poměry zvýšená teplota a změna hladiny vibrací. Dosažení mezních dovolených stavů jsou diagnostickými přístroji signalizovány a v případě havarijního stavu dávají tyto přístroje impuls k zastavení celého zařízení, stroje i přístroje.

Všechny uvedené faktory musí být konstruktérem při návrhu ložiskového uzlu předem uvažovány a pro umístění diagnostických čidel musí se pamatovat v příslušném návrhu konstrukce.

Normy ČSN související se speciálním otočným uložením:
ČSN 02 3510, 02 3515, 02 3521, 02 3522, 02 3680

L I T E R A T U R A

- Breník, Píř: Obráběcí stroje, konstrukce, výpočty TP 59. SNTL, Praha, 1982
- Šimut: Trvanlivost a bezpečnost valivých ložisek. SNTL, Praha, 1963
- Perenczy: Konstrukce přístrojů přesné mechaniky. SNTL, Praha, 1964
- Fršlich: Nové směry ve vývoji valivých uložení. Strojírenská výroba č. 10, 1981
- Fršlich: Technika uložení s valivými ložisky. SNTL, Praha, 1978
- Bajn: Přehled přesné mechaniky. SNTL, Praha 1969

- Janeček: Výpočet radiálního ložiska. Strojnický časopis 26, č. 2, 1975
- Kamarád a kol.: Základní kvalifikační učebnice - přesná mechanika a optika. Práce, Praha, 1974
- Priester: Klzná ložiska. SNTL, Alfa, Bratislava, 1980
- Skarbiński M, Skarbiński J.: Technologickosť konštrukcie strojov. Alfa, Bratislava, 1982
- Šafr: Technika mazání. SNTL, Praha, 1971
- Vinš: Kluzná ložiska. SNTL, Praha, 1971
- Dobrovolskij: Dětali mašin. Mašinstrojenije, 7. vyd., Moskva, 1972
- Gevondjan, Kiselev: Dětali mehanizmov točnoj mechaniki. Oborongiz, Moskva, 1953
- Voronkov: Podšipniki suchovo trenija. Mašinstrojenije, Leningrad, 1979
- Čurabo: Dětali i uzly priborov. Mašgiz, Moskva, 1952
- Eachmann: Wälzlagerpraxis. Verlag Oldenbourg, 1953
- Fritz: Spindeleinheiten für Werkzeugmaschinen. Kugellagerzeitschrift Nr. 177
- Habermann, Liard: Aktive Magnetlager für Projekte der Raumfahrt. Kugellagerzeitschrift Nr. 192
- Hildebrand: Feinmechanische Bauelemente. Verlag Technik, Berlin, 1972
- Gnilke: Theorie der Mischreibung. Leipzig, 1982
- Richter, Voess, Koser: Bauelemente der Feinmechanik. Verlag Technik, Berlin, 1957
- Schütz: Dimensionierung und Ermittlung der Gebrauchsdauer von Gelenklager. Kugellagerzeitschrift Nr. 201
- Taschenbuch Feingerätetechnik 1, 2. Berlin, Verlag Technik, 1971
- Tribologie. Springer, Berlin, 1981
- Katalogy, prospekty a literatura firem: ZVL, SKF, FAG, INA, NTN, Dürnkopp

9. ZAŘÍZENÍ PRO PŘENOS A PŘEVOD POHYBU

Zařízením pro přenos a převod pohybů rozumíme takové uspořádání kinematických dvojic, které umožňují převedení pohybu na žádané místo a změnu pohybu hnačího na hnany, který koná žádanou funkci. Přenos a převod pohybu se může dít :

- a) se zachováním druhu energie (pohybové)
- b) s přeměnou pohybové energie na jiný druh energie.

U přenosů a převodů se zachováním pohybové energie se mění pouze parametry a druh pohybu (dráha, rychlost, zrychlení, změna pohybu posuvného na rotační resp. naopak, změna pohybu rovnoměrného na nerovnoměrný, vyvození přerušovaného pohybu z plynulého ap.).

U přenosů a převodů pohybů s přeměnou pohybové energie se jedná o získání jiného druhu energie jako např. elektrické, tlakové ap. Tato se může opět změnit na pohybovou energii v požadovaném místě. Tyto přeměny energií mají, v přesné mechanice, hlavní užití ve snímačích s možností jejich zpětného převedení na původní energii (např. pro pohyb ukazatele přístroje).

Protože měniče energie jsou v převážné míře statickými prvky, nebudeme se jimi zabývat. Zaměříme se hlavně na mechanické převody a přenosy pohybu, protože tyto jsou základními stavebními prvky strojů a přístrojů.

Kinematické dvojice, tvořící převodové mechanismy, jsou ve své podstatě pohyblivými částmi, uloženými v nosných částech strojů a přístrojů tak, aby byl zajištěn jejich relativní pohyb.

Každá změna pohybu je doprovázena nezvratnými ztrátami energie. Tyto ztráty u mechanických převodů a přenosů mají být minimální. Podíl ztracené energie, práce či výkonu k přiváděnému nám udává mechanickou účinnost. Základním požadavkem při návrhu či volbě kinematické dvojice pro převod pohybu by měla být jeho maximální účinnost, protože tím šetříme energii a zmenšujeme oteplení strojů a přístrojů. Ze znalosti mechanické účinnosti kinematických dvojic vycházíme při výpočtech potřebného příkonu ze zadaného výkonu na výstupu stroje, přístroje.

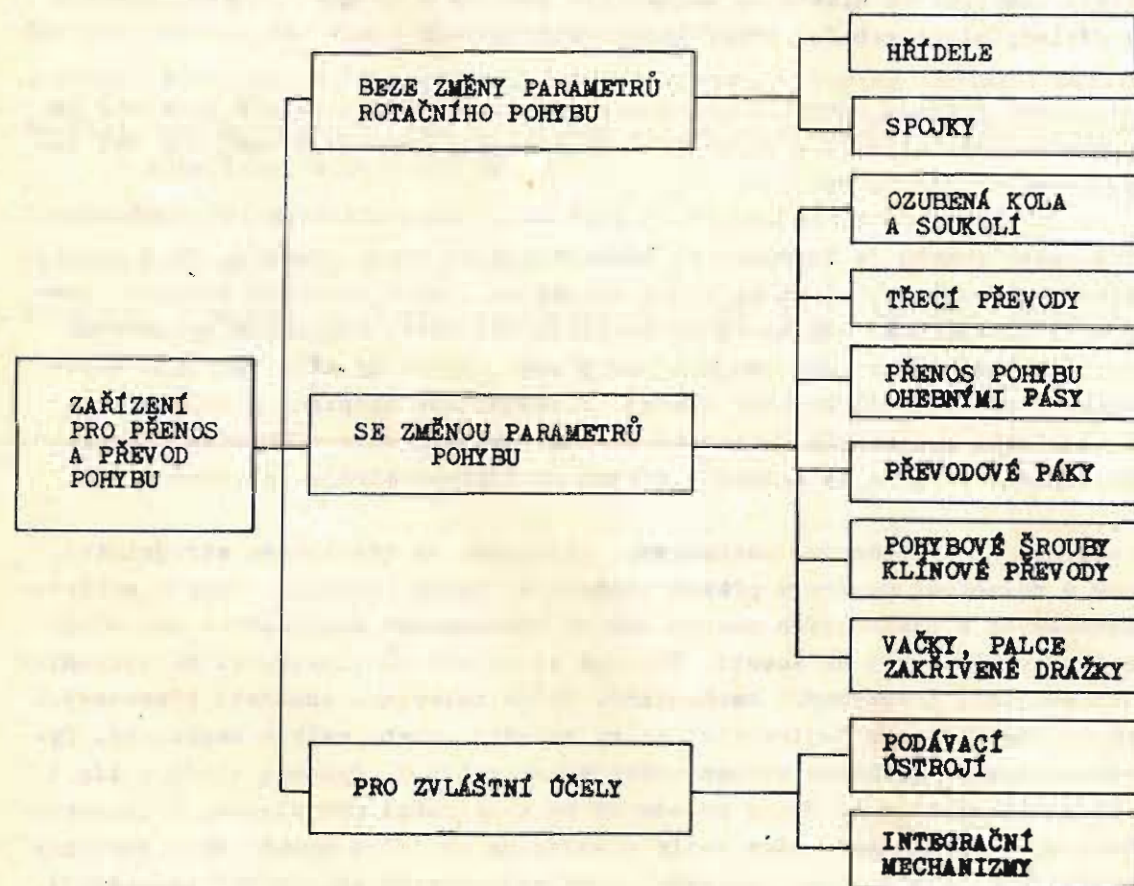
Ve srovnání s převodovými mechanismy, užívanými ve všeobecném strojnictví, jsou silové a rozměrové poměry v přesné mechanice značně rozdílné. Prostá miniaturizace převodových a přenosových mechanismů ze všeobecného strojnictví pro účely přesné mechaniky může vést ke scestí. Názorně si to můžeme ilustrovat na výrobních tolerancích součástí převodových mechanismů. Běžné tolerance součástí převodových mechanismů ve všeobecném strojírenství se na změnách pohybu celkem neprojeví. Tytéž tolerance však na přesných mechanismech velmi ovlivní přesnost chodu a tím i celkovou přesnost přístrojů. Různé požadavky na konstrukci převodových a přenosových mechanismů v přesné mechanice vedly a vedou na rozdílné konstrukční varianty celých mechanismů, na různorodé tvarování součástí převodů ap., které respektují všechny zvláštnosti oboru.

Přenos bez změn parametrů pohybu provádíme pomocí hřídelů a spojek. Pro dosažení přesnosti převodu a přenosu pohybu se žádá vázaný pohyb, realizovaný na

kratší vzdálenosti ozubenými koly. Vysokou přesnost docílujeme bezvúlovým chodem. Bezvúlový chod znamená vždy zvýšené tření, s nímž musíme počítat při návrhu příkonu. Převodové mechanismy s minimálními ztrátami třením vyžadují téměř čisté odvalování zubů po sobě t.j. odvalování bez prokluzu. Tomuto požadavku vyhovují cykloidní zuby nebo speciální valivé převody. Tam, kde tření a případný prokluz nevadí, dáváme přednost třecím převodům, které dále umožňují i plynulou změnu převodového poměru. Pro přenos pohybu na větší vzdálenosti a pro změnu rotačního pohybu na posuvný přímočarý nebo i na nerovnoměrný používáme ohebných pásů. Pro vyvození omezeného úhlového pohybu nebo i změny jeho parametrů lze dobře použít pákových převodů. Pro přeměnu rotačního pohybu na přímočarý či kývavý na kratší vzdálenosti, při daných zákonitostech pohybu, používáme vaček nebo zakřivených drážek. Přerušovaný opakující se pohyb, vyvozený z plynulého pohybu, pro podávací zařízení řeší podávací mechanismy.

Zákonitosti pohybů můžeme využít pro sčítací zařízení ve formě diferenciálních mechanismů a pro měření ploch a vyhodnocování grafů pomocí mechanických integračních mechanismů.

Zařízení pro přenos a převod pohybů můžeme klasifikovat podle níže uvedeného blokového schématu (obr. 9.1).



Obr. 9.1

9.1. HŘÍDELE A HŘÍDELOVÉ SPOJKY

9.1.1. H ř í d e l e

Hřídele jsou vesměs rotující součásti libovolného průřezu, které slouží k přenosu otáčivého pohybu nebo krouticího momentu. Vlivem vnějších sil jsou hřídele namáhány na ohyb a krut a vzniklé deformace tvoří průhyb nebo zkroucení hřídele.

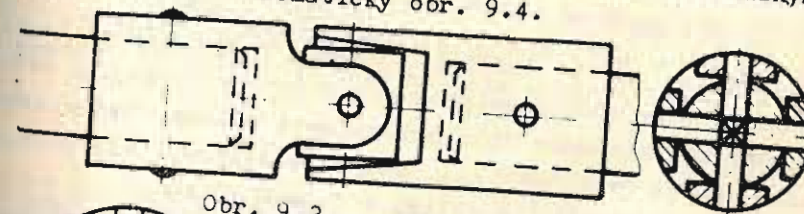
Osy jsou pevně uchycené nebo i rotující součásti, které slouží k vedení otáčejících se dílců. Na rozdíl od hřídelů osy nepřenášejí krouticí moment (mimo třecí moment) a jsou namáhány pouze na ohyb. Vlivem proměnlivých sil za rotace dochází u hřídelů a os k cyklickému namáhání, k příčným, podélným a torzním kmitům.

Použití hřídelů a os v přesné mechanice se neliší od užití ve všeobecném strojnictví. V konstrukci přístrojů se vyskytují malé zatížení a tak přesný pevnostní výpočet se obvykle nemusí provádět. Pokud je nutný pevnostní výpočet, provádí se na základě vztahů uvedených v pružnosti a pevnosti a v částech strojových s ohledem na únavu, vrubový účinek a velikost. V přesné mechanice se u hřídelů i malých průměrů klade větší důraz na jejich příčnou a torzní tuhost a na zjištění oblastí kritických frekvencí. Kontrola tuhosti hřídelů a kritických frekvencí se děje opět podle vztahů uvedených v přednáškách z předmětů: pružnost a pevnost, části a mechanismy strojů a dynamika.

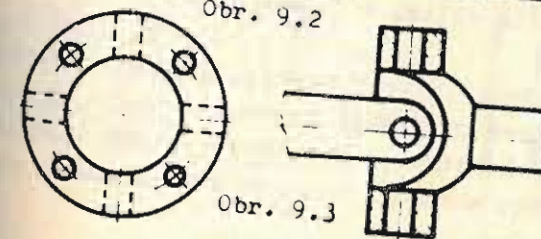
Ve stavbě přístrojů se používá poměrně často přímých hřídelů vyrobených z tažených drátů. Uchycení součástí na hřídel se řeší pak volbou uložení děr přílů, a to konstrukčních ocelí obvyklých jakostí, ocelí legovaných, ocelí nerezavějících, hliníku, mosazi, a i keramických materiálů.

Zvláštní pozornosti v přesné mechanice zasluhují kloubové (kardanové) i ohybné hřídele, kterými se přenáší rotace a krouticí momenty na hřídele, jejichž poloha je vzájemně posunuta nebo se může za provozu měnit.

Kloubové hřídele jsou tvořeny kulovým (obr. 9.2) nebo křížovým kloubem (obr. 9.3) výkyvně uloženým mezi konce spojovaných hřídelů. Úhel β , který svírá hnací a hnáný hřídel bývá $0^\circ + 15^\circ$. Nulový úhel se volí jen ve speciálních případech. Přenos rotace a krouticích momentů mezi hnacím a hnáným soukolím pomocí kloubových hřídelů ukazuje schematicky obr. 9.4.



Obr. 9.2



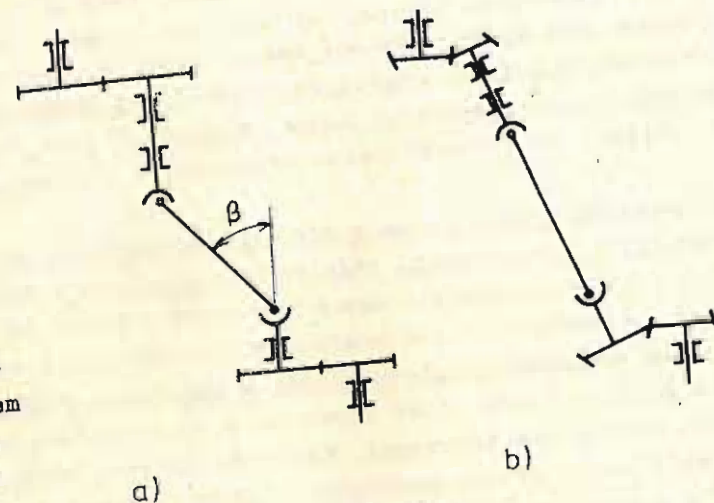
Obr. 9.3

Provedení a přenos pohybu z hnacího čelního soukolí na hnáné pomocí kloubového hřídele s úhlovým nastavením β . Tentýž přenos lze provést pomocí kuželových kol s nulovým úhlem nastavení kloubového hřídele. Výpočet hnacího momentu ze zadaného hnacího momentu se určí ze vztahů

$$M_1 = \frac{M}{\eta} \quad [N \cdot mm] \quad (9.1) \quad \eta = 1 - e \cdot f \quad (9.2)$$
 kde M je hnací moment
 M_1 je hnací moment
 η je mechanická účinnost
 e je součinitel úměrnosti závislý na úhlu nastavení hřídele a hodnotě předávaného momentu (tab. obr. 9.5)
 f je součinitel tření.

Pro orientační výpočet můžeme vzít mechanickou účinnost $\eta = 0,90$. Jinak lze přibližnou hodnotu mechanické účinnosti brát v závislosti na úhlu nastavení z tab. obr. 9.6.

Spojení hnacího a hnaného hřídele pouze jedním kloubem vyvolá při konstantní úhlové rychlosti ω_1 hnacího hřídele proměnlivou úhlovou rychlost ω_2 hnaného hřídele.



Obr. 9.4

Úhel β°	Předávaný moment [N mm]				
	10,0	25,0	50,0	75,0	100
	Součinitel e				
0	0,40	0,24	0,16	0,13	0,12
2,5	0,63	0,46	0,34	0,30	0,29
5	1,00	0,72	0,53	0,48	0,46
7,5	1,45	1,04	0,80	0,70	0,66
10	2,40	1,75	1,37	1,24	1,13

Obr. 9.5

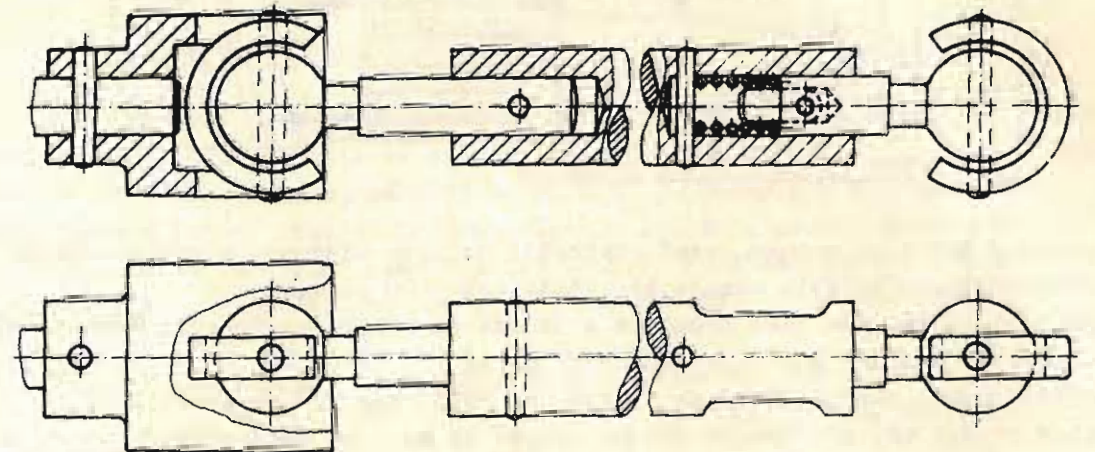
Úhlová rychlost ω_2 se mění od $\omega_{2 \min} = \omega_1 \cos \alpha$ do $\omega_{2 \max} = \frac{\omega_1}{\cos \alpha}$, kde α je okamžitý úhel natočení hřídele. Aby se docílilo rovnoměrné úhlové rychlosti ω_2 je nutno použít dvou kloubů. Důležitou podmínkou při konstrukci spojení hřídelů kloubovým hřídelem je dodržení stejného úhlu sklonu mezi klouby. Nedodržení této podmínky vyvolá kolísání úhlové rychlosti ω_2 , což může ovlivnit přesnost chodu. Chyba v přenosu může být zvětšena ještě výš v čepích kloubu.

Kloubové hřídele se užívají v konstrukcích, které pracují s nízkou frekvencí otáčení a kde jsou povoleny odchylky úhlové rychlosti hnaného hřídele. Pro stavbu přístrojů byla vyvinuta zjednodušená konstrukce kloubového hřídele podle obr. 9.7. Uvedená konstrukce umožňuje snadnou montáž, demontáž a současně i odpo-

β°	η
0	0,96
2°30'	0,94
5°	0,87
7°30'	0,83
10°	0,75
12°30'	0,68
15°	0,61

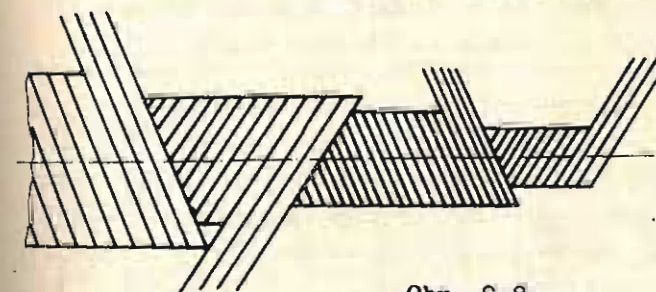
Obr. 9.6

jení přístrojů např. při dopravě tím, že jeden konec spojovacího hřídele je odpružen. Vysunutí odpruženého konce brání kolík, který se pohybuje v drážce spojovacího hřídele.



Obr. 9.7

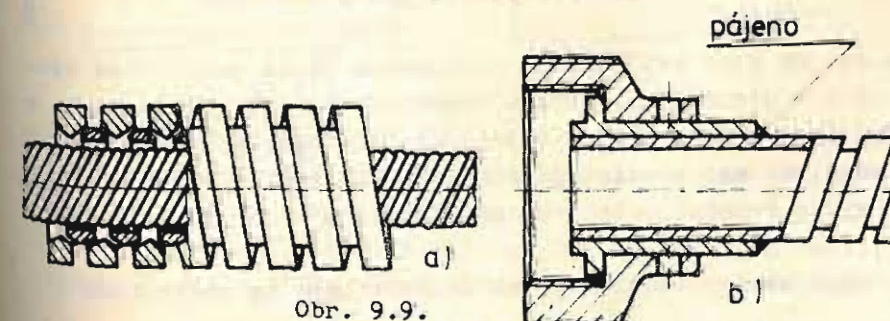
Ohebné hřídele se užívají pro přenos rotace a krouticího momentu na potřebné místo, které se může měnit za provozu. Ohebné hřídele se vyrábějí ze speciálních ocelových drátů spirálově vinutých v několika vrstvách. První vrstva má šroubovou spirálu s pravým stoupáním, druhá vrstva pak stoupání levé. Toto směrování vinutí se střídá v závislosti na počtu vrstev (obr. 9.8). Počáteční vrstva může začít také levým stoupáním. Otáčení hřídele a směrování vrchního vinutí ze strany hnacího hřídele má být takové, aby se vinutí dotahovalo. V případě, že se má hřídel otáčet v obou směrech, tak se průměr hřídele, určený z přenášeného krouticího momentu zvětšuje o 30 %. Ohebné hřídele se vyrábějí v průměrech od 3 do 12 mm, délka může činit až 7,5 m. Mechanická účinnost přenosu krouticího momentu pro přímé hřídele bývá $\eta = 0,93$ a u



Obr. 9.8

současně ohýbaných klesá na $\eta = 0,89$.

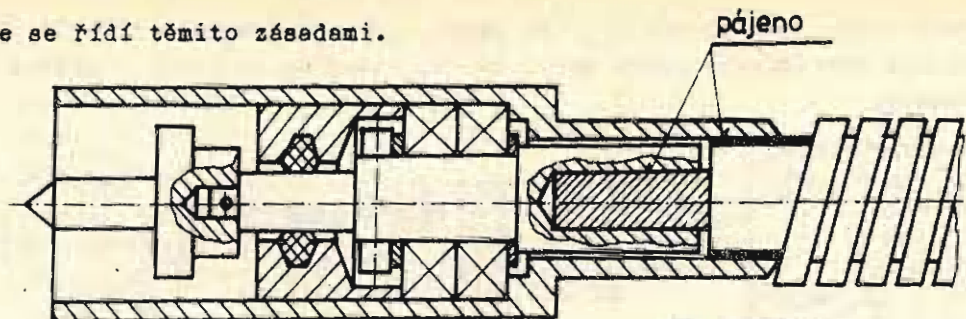
V čistém a krytém prostředí např. v pouzdře přístroje, mohou být ohebné hřídele nasazeny přímo. Když je nutno hřídele chránit před nečistotami a vlhkostí opatřujeme je ochranným krytem. Kryt zvyšuje tuhost a i pevnost hřídele. Kryt hřídele tvoří pružně deformovatelná pružina někdy opatřená pleteninovým obalem (bowden). Provedení krytého hřídele ukazuje obr. 9.9 a, b. Ochranný kryt se připo-



Obr. 9.9.

pojuje na těleso přístroje buď převlečnou maticí (obr. 9.9 a) nebo se provede upevnění pomocí valivých ložisek podle konstrukce na obr. 9.10. Návrh ohebného

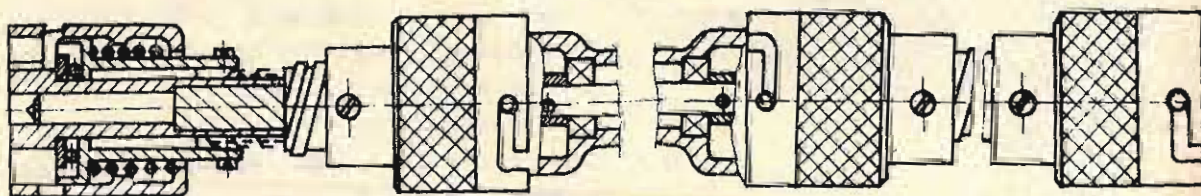
hřídele se řídí těmito zásadami.



Obr. 9.10

- 1) Přenášený krouticí moment nesmí překročit hodnotu udávanou výrobcem. Mezní otáčky ohebného hřídele nemají být větší než 3000 ot/min.
- 2) Ohyb hřídele se řídí jeho průměrem a je udáván výrobcem. Střední hodnota ohybu $R = (15 + 20)d$, kde d je průměr hřídele.
- 3) Maximální úhel zkroucení hřídele nemá být větší než 20° na metr délky.
- 4) Ohebný hřídel při přenosu rotačního pohybu má mít jen malé příčné kmity. Kmitání zmírníme vypuštěním osového drátu, tvořícího jádro hřídele. Takový hřídel je však méně ohebný.
- 5) Ohebný hřídel má být co nejpružněji spojen s hnacím a hnaným hřídelem. Tím se zvyšuje spolehlivost provozu.

Vzájemné propojení tuhého hnacího, hnaného hřídele a spojovacího ohebného hřídele je možno provést i bajonetovým spojením nebo převlečnou maticí. Toto usnadňuje snadnou montáž a demontáž. Konstrukční řešení spojení hřídele s bajonetovým spojením je znázorněno na obr. 9.11. Pružina v objímce na konci hřídele vytváří poddajné spojení hřídelů a současně pojišťuje bajonetový uzávěr.



Obr. 9.11

9.1.2. S p o j k y

Spojky slouží k přenosu rotačního pohybu a kroutícího momentu z hnacího hřídele na hřídel hnaný. Obvykle se při přenosu nežadá změna převodu.

V přesné mechanice spojky mimo svůj hlavní úkol mohou plnit ještě jiné úkoly. Tak spojky mohou sloužit k ulehčení montáže a demontáže strojů a přístrojů, k ochraně zařízení před přetížením, k vyrovnání tepelných dilatací, a výrobních nepřesností ap. Proto v přesné mechanice existují různé konstrukční varianty spojek, které respektují zvláštnosti a funkční požadavky při stavbě přístrojů.

Protože spojky v přesné mechanice plní podobné úkoly jako ve všeobecném

strojnictví, můžeme je analogicky dělit na:

- 1) spojky pevné
- 2) spojky poddajné
- 3) spojky vysuvné
- 4) spojky zvláštní.

9.1.2.1. Spojky pevné

Spojky pevné jsou konstrukčně jednoduché. Užívají se hlavně pro spojování hřídelů dělených na jednotlivé díly k jejich snadnější montáži nebo tam, kde je žádoucí jednoduché spojení a dají se splnit podmínky pro správnou funkci zařízení. Správná funkce pevných spojek vyžaduje dodržení přesné souososti. Při nedodržení souososti je spojka mimo vlastní krutové namáhání namáhána dodatečně na ohyb, který se pak přenáší na oba spojované hřídele.

Nejjednodušší pevnou spojkou je spojka trubková (obr. 9.12). Rozměry spojky, pokud je nutný výpočet, určíme ze vztahu

$$M_k = W_k \cdot \tau_{\text{dov}} \quad [N \cdot mm] \quad (9.4)$$

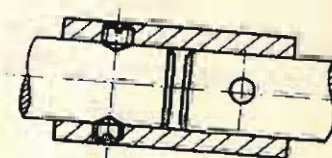
kde M_k je přenášený krouticí moment $[N \cdot mm]$

$W_k = \frac{D^4 - d^4}{D}$ je modul odporu objímky (trubky) v krutu $[mm^3]$

D, d je velký a malý průměr spojky $[mm]$.

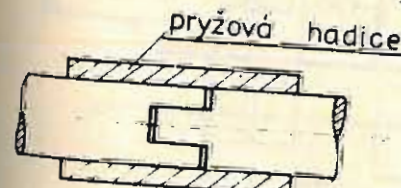
τ_{dov} je dovolené napětí v krutu materiálu spojky $[N \cdot mm^{-2}]$.

Délka trubky l se volí $(3 + 5)d$.

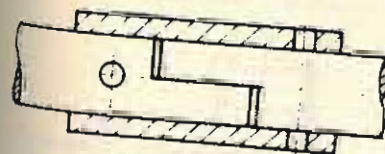


Obr. 9.12

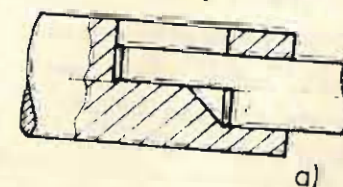
Spojka vyžaduje, aby oba konce spojovaných hřídelů měly stejné průměry. Vnitřní průměr spojky se volí poněkud větší, než je průměr hřídele. Tato volba umožňuje zmírnit požadavek na souosost a výrobní tolerance. Přenos kroutícího momentu na spojku a ze spojky na hnaný hřídel se provádí pomocí dvou párů příčných kolíků či tlačných šroubů přesazených o 90° . Tím je umožněn částečný výkyv spojky. Hřídele můžeme spojit také tak, že jeden konec hřídele opatříme zářezem a druhý konec pak odpovídajícím výstupkem, zasunutým do zářezu (obr. 9.13). Spojení hřídelů můžeme chránit navlečenou pryžovou hadicí. Místo uvedené konstrukce, která je výrobně náročnější, lze konce hřídelů zfrézovat do osové roviny, zasunout na sebe a spojení zajistit převlečenou pryžovou hadicí (obr. 9.14).



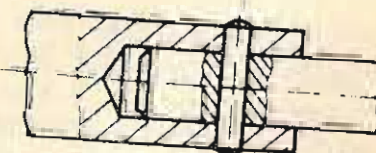
Obr. 9.13



Obr. 9.14



a)

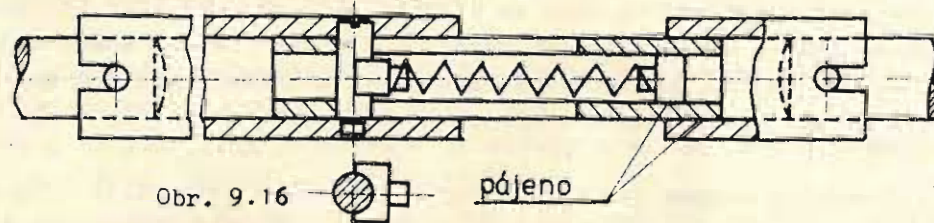


b)

Obr. 9.15

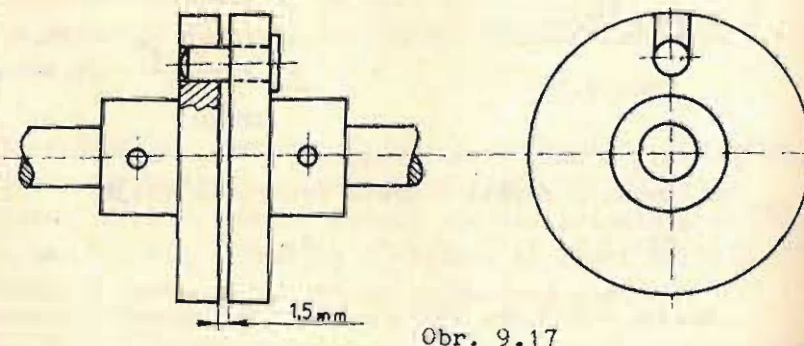
Analogické konstrukce lze použít i pro spojení hřídelů nestejných průměrů (obr. 9.15 a), kde snadné nasazení umožňuje vedení, provedené vývrtem u silnějšího konce hřídele. Pro spojení hřídelů nestejných průměrů lze spojku provést jednoduchým válcovým vývrtem v silnějším konci hřídele, zasunutím slabšího konce do něj a vzájemným spojením příčným kolíkem. Příčný kolík pak slouží k přenosu rotačního pohy-

bu či krouticího momentu (obr. 9.15 b). Příčného kolíku a zářezu pro přenos krouticího momentu je použito i u spojky na obr. 9.16. Jeden příčný kolík je pevně spojen s dutým koncem hnacího hřídele, druhý pak s koncem hnaného hřídele. Mezi oba konce hřídele je vložena trubková část, do níž je vložen opěrný díl, dotlačovaný pružinou na kolík v hnacím hřídeli. Trubková vložka je na druhém konci opatřena připájenou objímkou se zářezem, do níž zapadá kolík hnaného hřídele. Tato spojka umožňuje snadné rozpojení a spojení hřídelů bez jejich demontáže a současně vyrovnává axiální vůle a tepelné dilatace.

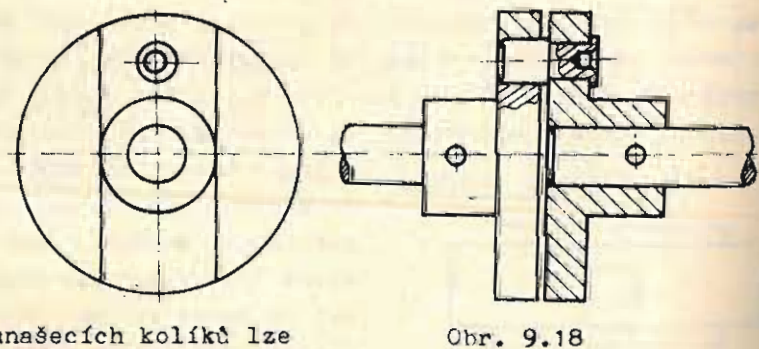


Pro přenos větších krouticích momentů se dá použít unášecích spojek přírubových nebo kotoučových. Častěji se užívá spojek kotoučových s unášivým kolíkem.

Provedení kotoučové spojky je znázorněno na obr. 9.17. Unášený kotouč může být nahrazen obdélníkovou deskou s nábojem (obr. 9.18). Spojení kotoučů s hřídelem se provádí kolíky nebo lze kotouče k hřídeli přišroubovat (obr. 9.19).



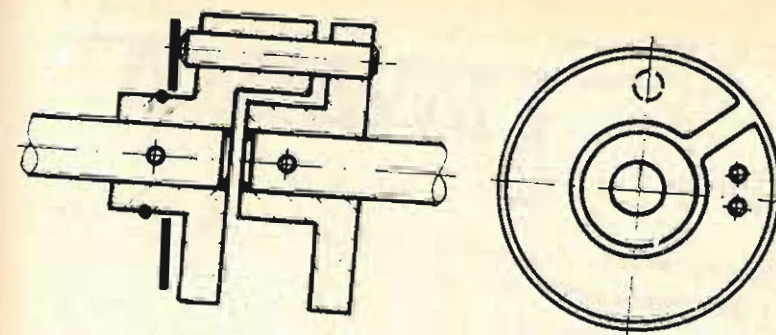
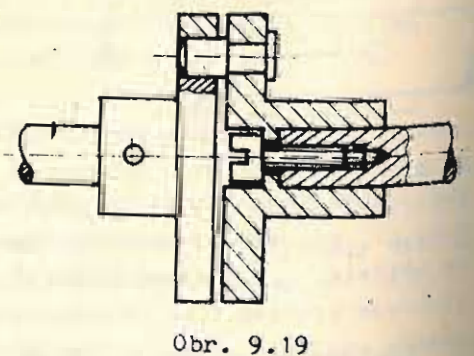
Spojení hřídelů v místech, kde není montážní přístup lze provést samonaváděcí spojkou podle obr. 9.20. Tato spojka se skládá ze čtyř dílců, a to ze dvou kotoučů, unášivého kolíku a pružiny. Na obr. 9.20 je samonaváděcí spojka s plochou spirálovou pružinou. Odpružení unášecích kolíků lze provést i šroubovými válcovými pružinami (obr. 9.21).



Uvedené spojky mimo spojku trubkovou mohou sloužit i jako spojky dilatační, pokud spára mezi konci hřídelů či kotoučů bude mít minimální vůli 1,5 mm. Velikost dilatační spáry je závislá na délce spojovaných hřídelů.

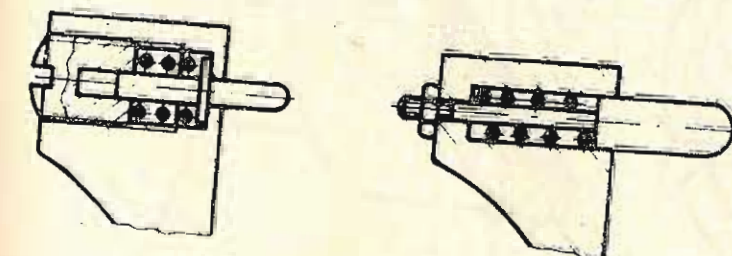
Mechanická účinnost zobrazených spojek se dá vypočítat ze vztahu

$$\eta = 1 - \frac{2 \cdot e \cdot f \cdot c}{\pi R} \quad (9.5)$$



Obr. 9.20

kde f je součinitel tření
 e je nesouosost geometrických os [mm]
 R je poloměr umístění středu kolíku od osy rotace [mm]
 c je opravný součinitel určený z empirického vztahu



Obr. 9.21

$$c = \frac{F + 3,11}{F + 18,5}, \text{ kde}$$

$$F = \frac{M_2}{R} \quad [N], (9.6)$$

kde M_2 je hnaný moment [Nmm]
Střední hodnota účinnosti $\eta = 0,98$.

9.1.2.2. Spojky poddajné a výkyvné

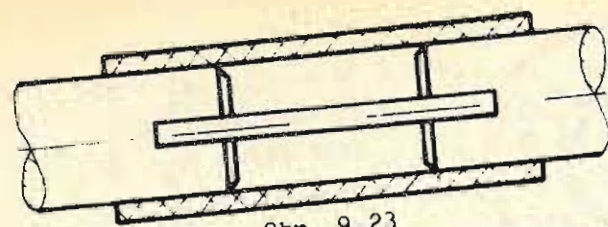
Spojky poddajné slouží k vymezení nesouososti hřídelů při přenášení rotačního pohybu. Pokud se vyskytuje u spojovaných hřídelů malá radiální nesouosost, lze použít pro spojení hřídelů křížové spojky, znázorněné na obr. 9.22. Vložený křížový kus stejného průměru, jako mají hřídele, je opatřen na jedné straně drážkou a na druhé straně výstupkem otočeným o 90°. Tento kus se vkládá mezi spojované hřídele do odpovídajícího výstupku a drážky. Funkční plochy jsou lícované



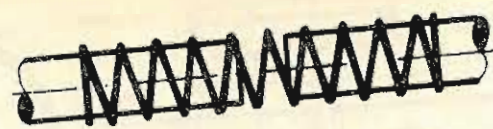
Obr. 9.22

(H7/j6). Tím se odstraní mrtvý chod. Montáž je jednoduchá a spočívá v zasunutí křížového kusu bez zajištění. Při větších přenášených momentech se používá spojky Oldhamovy. Nevýhodou těchto spojek je tvrdý chod a přenášení rázů bez tlumení.

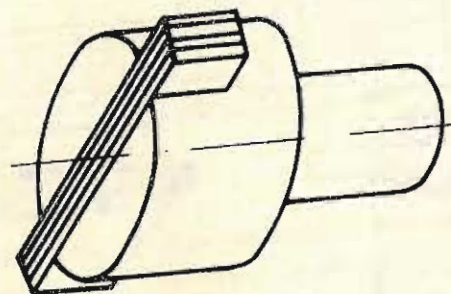
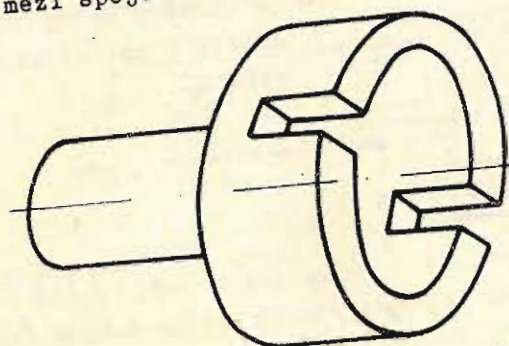
Pro tlumení rázů a vibrací při přenosu krouticích momentů za rotace se používá pružných spojek. Tyto spojky dovolují současně i malé nesouososti a tepelné dilatace. Nejjednodušší pružnou spojku může tvořit prostá prýžková hadice vytužená tkaninou. Tuto můžeme doplnit i plochou pružinou zasunutou do zářezů na koncích hřídelů (obr. 9.23). Těchto spojek se užívá poměrně často u vibračních strojů. Další jednoduchou spojku lze vytvořit pomocí šroubové válcové pružiny nasazenou na konce hřídelů. Pro přenos větších krouticích momentů se dá užít i spojek se svazkem listových pružin upevněných na jeden konec hřídele a zasunutých do drážky kotouče, nasazeného na druhý konec hřídele (obr. 9.25).



Obr. 9.23
Jako pružných elementů lze použít pryžových, fibrových, silonových vložek vložených mezi spojované hřídele nebo do přenosových kotoučů.

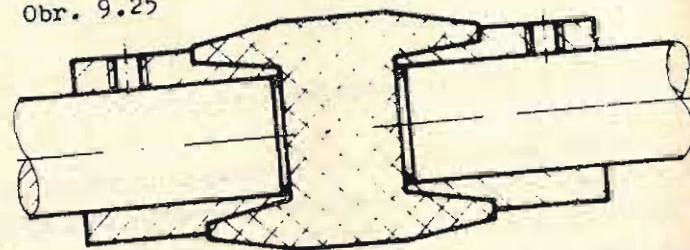


Obr. 9.24

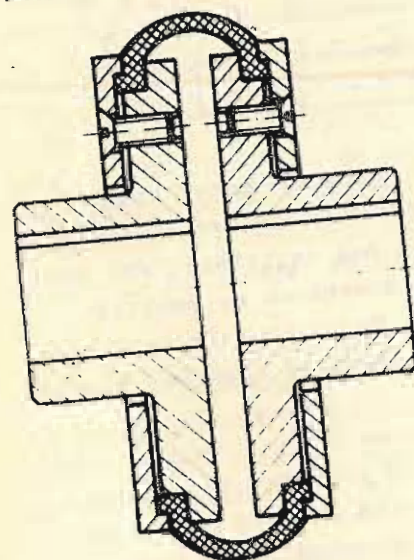


Obr. 9.25

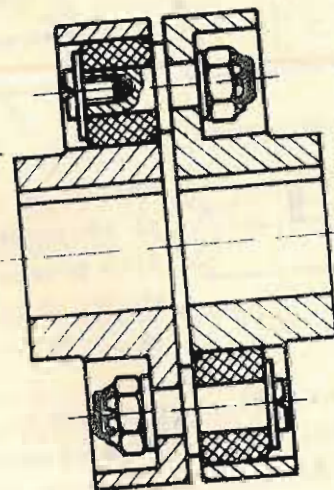
Jednoduchou pružnou spojku pro přenos malých kroutících momentů znázorňuje obr. 9.26. Obdobnou spojku s pryžovou manžetou představuje obr. 9.27. Do skupiny pružných spojek patří spojky čepové (obr. 9.28), spojka Hardyho (obr. 9.29). Jejich výhodou je plynulý přenos, tlumení vibrací, pohlcování šumu. Konstruktivních variant těchto spojek je celá řada. Tyto spojky se také sériově vyrábějí a dodávají se v typových rozměrových řadách s údaji o přenášených kroutících momentech.



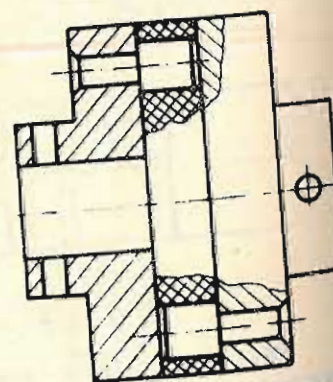
Obr. 9.26



Obr. 9.27



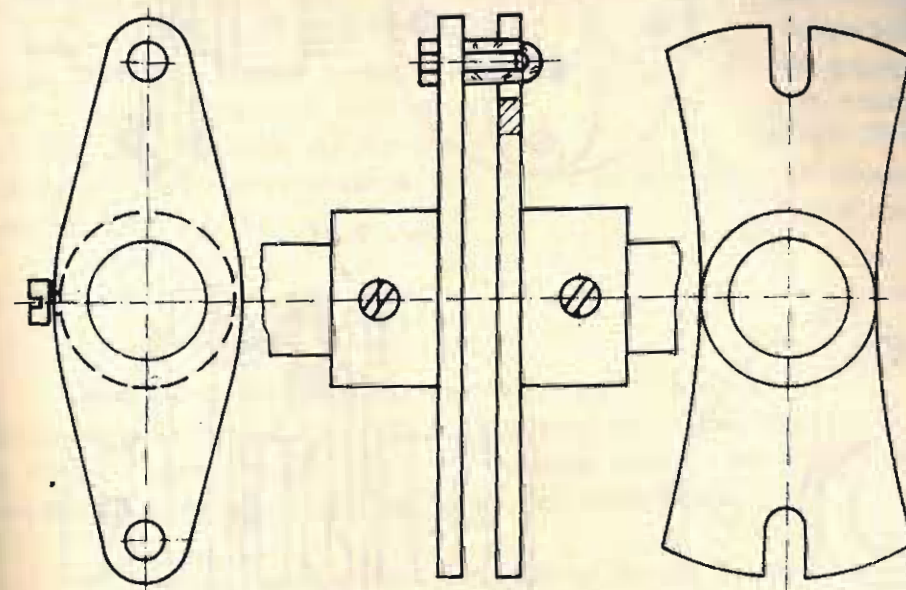
Obr. 9.28



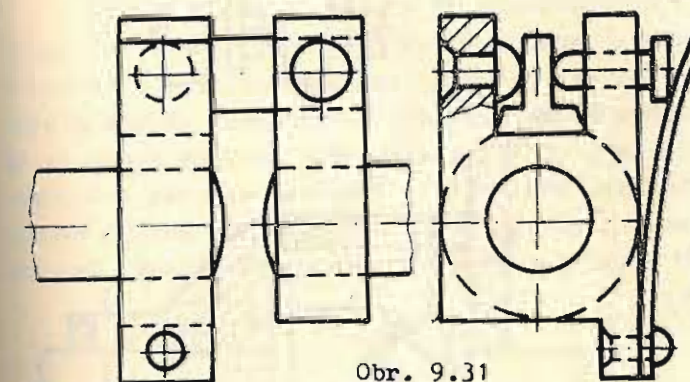
Obr. 9.29

V těch konstrukčních celcích, kde se očekávají větší nesouososti a i nerovnoběžnosti spojovaných hřídelů jsou vhodné unášecí a membránové pružné spojky. Těmto spojkám je vlastní jistá axiální a radiální protisměrná pohyblivost. Unáše-

cí pružné spojky se skládají ze dvou kotoučů, z nichž jeden kotouč zvaný unášec nese kolík, který zasahuje do příslušného výřezu druhého kotouče. Jednoduchou unášecí spojkou užívanou u elektroměru znázorňuje obr. 9.30. Elektrické izolace je docílena keramickou trubičkou, těsně navlečenou na kolík. Má-li se odstranit mrtvý chod v běhu spojky a plynulý rozběh, vnáší se mezi unášivou a unášenou část spojky pružná vazba. Spojku s pružnou vazbou, tvořenou plochou pružinou, uvádí obr. 9.31 a podobné spojky se šroubo-



Obr. 9.30

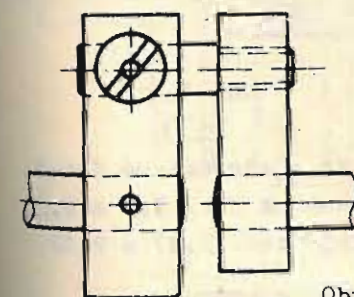


Obr. 9.31

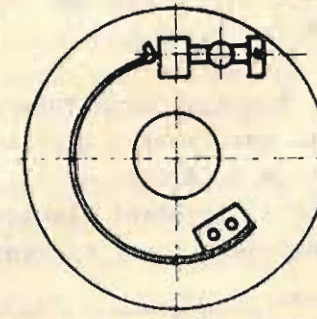
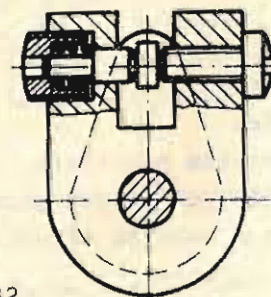
vou a plochou ohnutou pružinou ukazuje obr. 9.32 a 9.33. Činnost těchto spojek je patrná z obrázků. Pružný přenos se děje buď v jednom směru nebo lze spojku navrhnout i pro pružný přenos v obou směrech.

Přenos rotačního pohybu při radiální nesouososti a malém úhlovém vychýlení hřídelů ($3^\circ + 6^\circ$) se s výhodou provádí pomocí membránových spojek. Membrány mohou vykazovat všestrannou pohyblivost. Tyto spojky nemají mrtvý chod a zajišťují pružný přenos pohybu. Jednoduchá membránová spojka (obr. 9.34) má diskovou membránu se čtyřmi děrami, pootočenými s 90° . Těmito děrami

se pomocí šroubů přichytí membrána na unášené a unášivé rameno opatřené jen nábojem. Na obr. 9.35 je dvoumembránová spojka, která má větší tuhost a tím menší zkreslení přenášeného kroutícího momentu. Membrány se vyrábějí z pružné ocele a z fosforové bronzi. Přenos kroutícího momentu do dvou navzájem oddělených prostorů při omezeném úhlu natočení se může provést vyvinutou spojkou podle obr. 9.36. Tvářovaná membrána je vyrobena z platické hmoty.



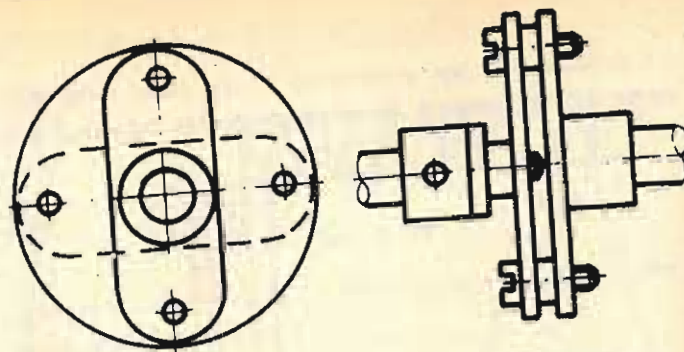
Obr. 9.32



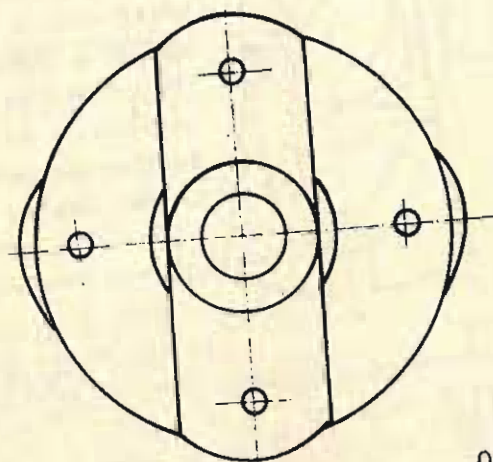
Obr. 9.33

se pomocí šroubů přichytí membrána na unášené a unášivé rameno opatřené jen nábojem. Na obr. 9.35 je dvoumembránová spojka, která má větší tuhost a tím menší zkreslení přenášeného kroutícího momentu. Membrány se vyrábějí z pružné ocele a z fosforové bronzi. Přenos kroutícího momentu do dvou navzájem oddělených prostorů při omezeném úhlu natočení se může provést vyvinutou spojkou podle obr. 9.36. Tvářovaná membrána je vyrobena z platické hmoty.

Při úhlové výchylce hřídelů větší než 6° se přenášení rotačního pohybu a kroutícího momentu uskutečňuje pomocí výkyvných spojek. Výkyvné spojky sestávají ze dvou kloubů, které jsou vůči sobě natočeny o 90° . Vlivem křížového uspořádání kloubů dochází k periodické změně úhlové



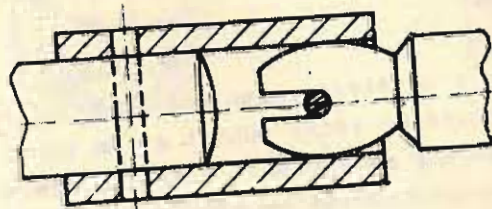
Obr. 9.34



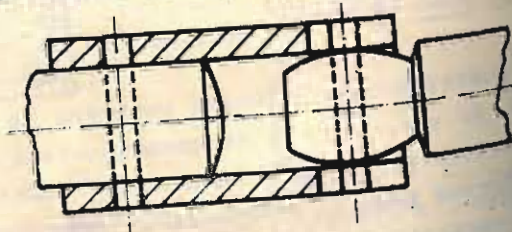
Obr. 9.35

rychlosti, a proto pro získání rovnoměrného pohybu je nutno klouby opatřit oba konce spojovaných hřídelů. Jedné kloubové spojky používáme pouze tehdy, chceme-li získat periodicky proměnlivé úhlové rychlosti hnaného hřídele. Správná činnost těchto spojek je podmíněna požadavkem na zajištění polohy os spojovaných hřídelů v jedné rovině, analogicky jako u kloubových hřídelů.

Konstrukčních řešení výkyvných spojek používaných v přesné mechanice existuje celá řada, a to jak v klasickém provedení, tak i ve zjednodušené formě. Klasické provedení kloubových a křížových spojek jsou uvedeny na obr. 9.2 a 9.3. Zjednodušené formy výkyvných spojek s kulovým kloubem ukazují obr. 9.37 a 9.38,

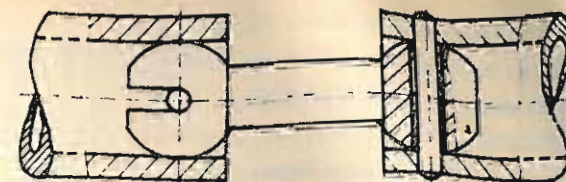


Obr. 9.37



Obr. 9.38

kde kulový kloub se výkyvně pohybuje na vnitřní ploše spojovací trubky či válcového vývrtu na konci spojovaných hřídelů. Přenos rotačního pohybu se děje příčným kolíkem, pevně uchyceným buď v trubce či vývrtu nebo přímo v kloubu. Spojení dvou dutých hřídelů na kratší vzdálenost ukazuje obr. 9.39. Ke spojkám tohoto typu patří i provedení spojek z obr. 9.7.



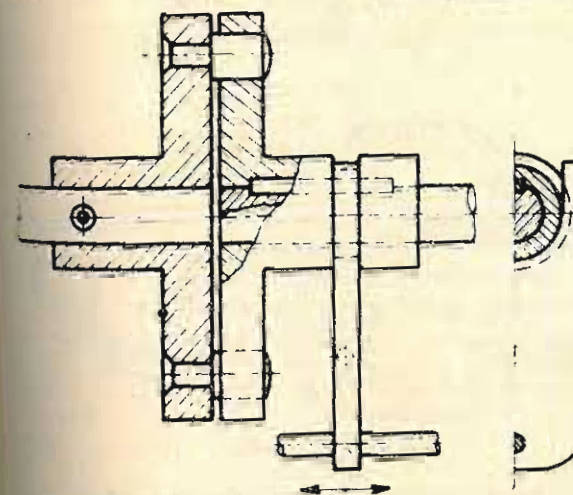
Obr. 9.39

9.1.2.3. Spojky výsuvné

Výsuvných spojek používáme tam, kde se žádá zapínání a vypínání hnaného hřídele za provozu. Zapínání či vypínání spojek se děje ručně nebo je ovládáno z vnějšku elektromagneticky, pneumaticky popř. i samočinně. Spojky se samočinným zapínáním a vypínáním řadíme do spojek zvláštních.

K vlastním výsuvným spojkám řadíme spojky čepové, zubové a třecí.

Čepové a zubové spojky se zasouvají za klidu a vypínání se děje pak za pohybu. Zasouvání těchto spojek za pohybu je možné jen tehdy, když oba spojované hřídele či rotující součásti nabudou stejné frekvence. Nedodržení této podmínky vede k rázům, které mohou poškodit nejen spojku, ale i celé zařízení. Třecí spojky se mohou zapínat a vypínat za klidu i za rotace, při čemž záběr je klidný, rozbíhání plynulé bez rázů i při plném zatížení. Konstrukčně musí být výsuvná spojka řešena tak, aby jeden díl spojky byl na hřídeli, obvykle hnaném, uložen posuvně. Hnaný hřídel se volí proto, protože při vypínání není naháněn a přesouvací mechanismus není trvale v záběru.



Obr. 9.40

Jednoduchou čepovou spojku představuje provedení na obr. 9.40. Výsuvné zařízení tvoří jednoduchá páka posuvatelná v axiálním směru nebo může konat i pohyb výkyvný okolo otočného čepu (naznačeno čárkovně). Při trvalém běhu bývá poloha páky zajištěna např. tažnou pružinou nebo mechanicky.

Častější je použití zubových spojek. Zubové spojky jsou charakterizovány tím, že obě poloviny spojek mají na čelech stejné spojovací prvky ve tvaru zubů nebo zubů. Ozuby mají obvykle pravouhlý profil a jejich počet bývá malý, nejméně však tři. Počet zubů na čelech spojkových kotoučů bývá vždy větší. Profily nejčastěji užívaných zubů jsou zobrazeny na obr. 9.41. Nejméně vhodný je pravouhlý profil, protože činí potíže při zasouvání spojky. Lepší je provést zuby alespoň mírně zkosené. Pro přenos pohybu pouze v jednom směru používáme jednostranně zkosených zubů. Při reverzaci chodu je lépe použít oboustranně zkosených zubů. Velmi dobré zasouvání zubů a přenos při reverzaci umožňují zuby oboustranně zkosené

s vrcholovým úhlem 60° . Mají však nevýhodu v tom, že jsou ze záběru vytlačovány a tudíž požadují stálou přitlačovací sílu, vyvozenou nejčastěji pružinou. Rozměrový výpočet těchto zubů se provádí podle těchto vztahů:

$$\beta = \frac{360^\circ}{z} ; t = D \sin \frac{\beta}{2} ;$$

$$h = \frac{t}{2} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} ; \tan \frac{\gamma}{2} = \frac{h}{D} ;$$

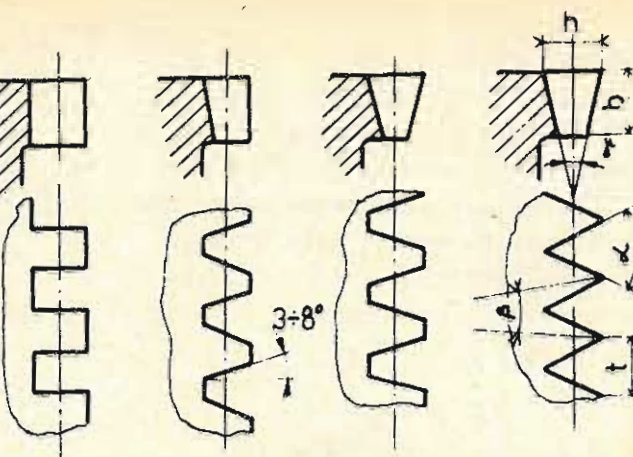
$$b = (3 + 5)t ; D = (1,5 + 3)d$$

kde z je počet zubů

γ je úhel podřezání zubů

h je výška zubů [mm]

b je šířka zubů [mm]



Obr. 9.41

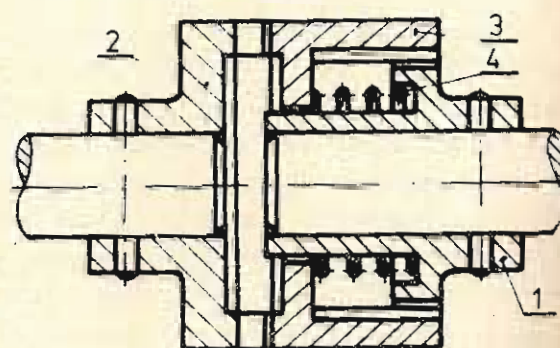
t je rozteč zubů [mm]

D je vnější průměr kotouče [mm]

d je průměr hřídele [mm]

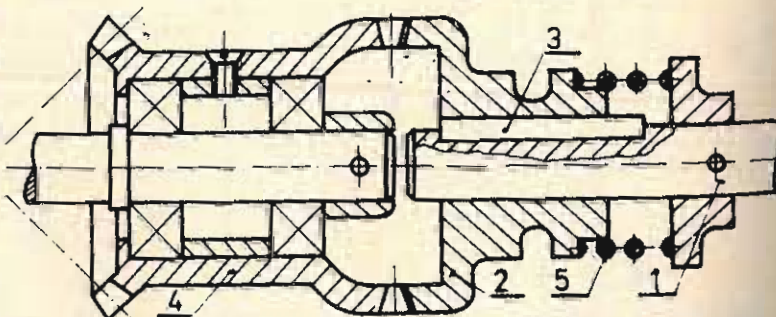
β je úhlová rozteč zubů na obvodě kotouče.

Jednoduchou spojku s ozuby pro občasné vypínání hlavně při demontáži znázorňuje obr. 9.42. Tato spojka se skládá z hnacího 1 a hnaného kotouče 2 pevně spojených s hřídelem a přesuvného kotouče s ozuby 3, který přenáší pohyb a moment na kotouč 2. V zapnutém stavu je spojka udržována pružinou 4. Při vysouvání spojky se kotouč 3 opatřený drážkami posouvá po kotouči 1 s odpovídajícím drážkováním.



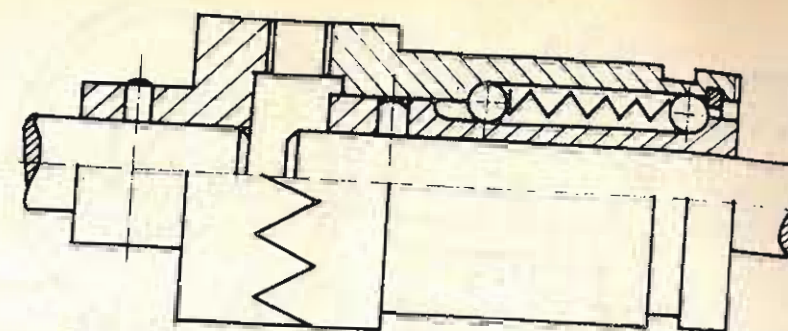
Obr. 9.42

Na obr. 9.43 je zubobová spojka pro přenos rotačního pohybu z kuželového kola 4 na průběžný hřídel 1 resp. opačně. Kuželové kolo uložené na valivých ložiskách tvoří jednu polovinu spojky. Druhá polovina spojky 2 se posouvá na peru 3 vloženém do hřídele. V záběru je spojka udržována pružinou 5, opírající se o kroužek 6, pevně spojeným s hřídelem 1.

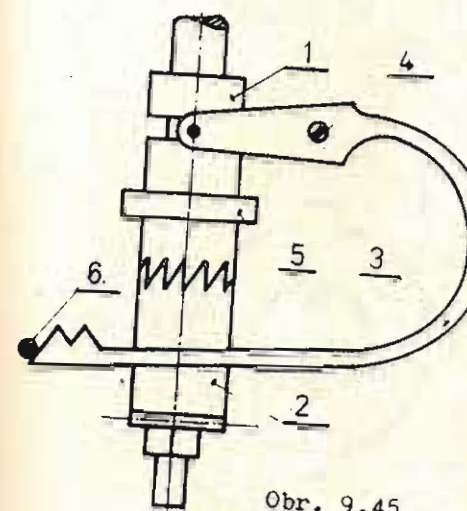


Obr. 9.43

Jiné provedení zubové spojky je na obr. 9.44, kde přenos točivého momentu na hnaný hřídel se děje odpruženými kuličkami umístěnými do drážek v náboji unášeného kotouče a v hnaném hřídeli. Odpružení kuliček dovolu je vysouvání spojky ze záběru. Jednostranného přenosu momentu se užívá např. v hodinách, u mikrometru ap. Hodinářskou spojku ukazuje obr. 9.45. Jedna strana spojky je tvořena korunou 1 s ozubeným kolečkem 5. Druhá polovina spojky je posuvná na čtyřhranném hřídelíku a nese korunové ozubení. Obě poloviny spojky jsou opatřeny drážkami,

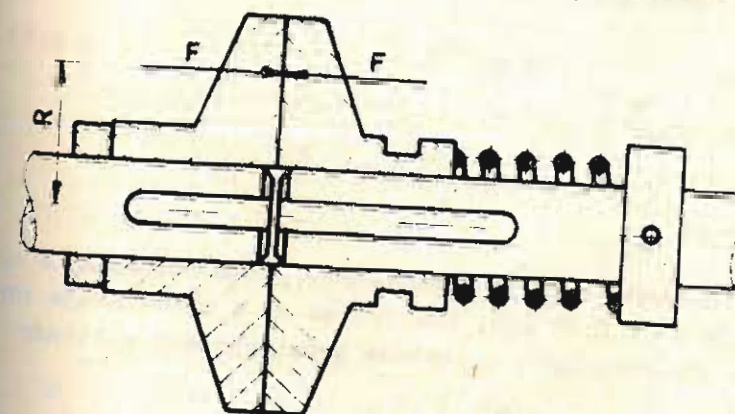


Obr. 9.44



Obr. 9.45

mohou být spojky kotoučové, bubnové a kuželové. Jednoduchá spojka třecí má 1 pár třecích ploch, disková 2 páry a lamelová 1 pár třecích ploch. Při daném krouticím momentu je pro volbu druhu třecí spojky rozhodující dovolený vnější průměr spojky.



Obr. 9.46

Výpočet vychází z krouticího momentu, který musí být přenesen třecím momentem. Pro přenos platí podmínka

$$M_T \geq M_k \quad \text{resp.} \quad M_T = k \cdot M_k \quad [Nm] \quad (9.7)$$

Třecí moment je vyvozen osovou přitlačnou silou určenou ze vztahu

$$F = \frac{M_T}{R \cdot f} \quad [N], \quad (9.8)$$

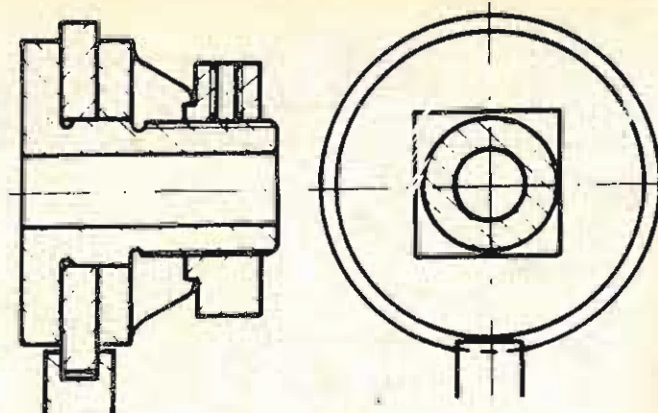
v nichž je uložena pružina 3, která se otáčí okolo čepu 4 a opírá se o kolík 6. V uvedené poloze se při otáčení korunou přenáší pohyb na kolečko 5 a přes další ozubené kolečko natahuje pero. Povytažením korunky se pružina natočí okolo čepu 4, opře o kolík 6, rozpne spojku a současně zatlačí korunové ozubení do záběru s kolečkem, který otáčí minutovou ručku pro nastavení časového údaje.

Aby se zvýšila životnost a spolehlivost zubových spojek, vyrábějí se tyto z kvalitních materiálů popř. i z nástrojových ocelí, které se po zakalení popouštějí na žluto.

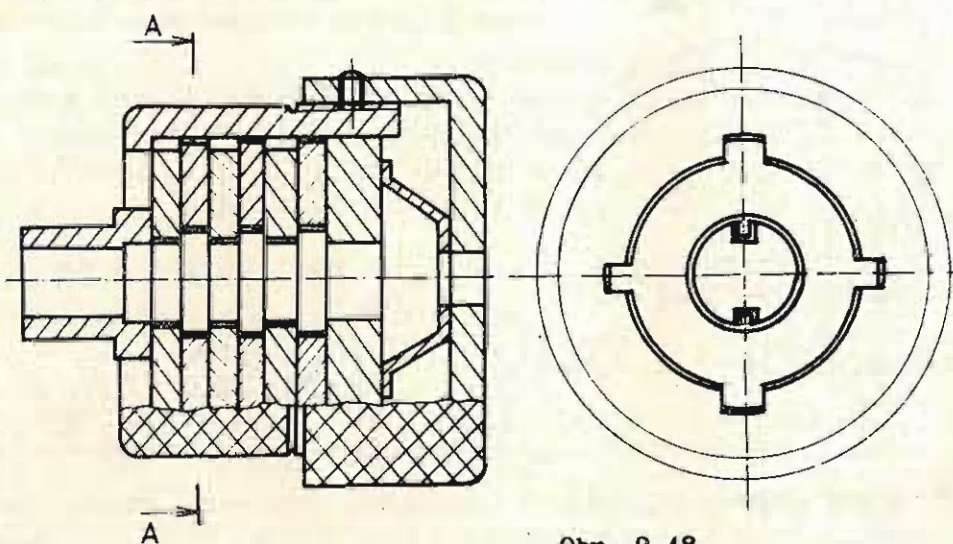
Třecí spojky přenášejí pohyb a krouticí moment třením, které vzniká mezi oběma polovinami spojky, přitlačovanými k sobě v axiálním popř. i v radiálním směru. Podle počtu párů třecích ploch dělíme třecí spojky na jednoduché, diskové a lamelové. Podle tvaru třecích ploch

Princip jednoduché třecí spojky kotoučové ukazuje obr. 9.46. Stálý záběr zajišťuje předpětí pružiny. Malá disková spojka je znázorněna na obr. 9.47. Stálý záběr zajišťuje membránová pružina, jejíž předpětí lze řídit opěrnou maticí. Vysouvání spojky se děje přesouváním disku. U lamelové spojky je dotlačování lamel do záběru vyvozováno předepjatou talířovou pružinou; (hřídel není zakreslen) (obr. 9.48).

kde M_k a M_T jsou krouticí a třecí momenty [Nmm]
 F je přitlačná síla [N]
 R je střední poloměr stykových ploch [mm]
 k je součinitel bezpečnosti ($k = 1,2$ pro klidné zatížení, $k = 1,2 + 1,5$ pro ostatní případy)
 f je součinitel tření stykových ploch



Obr. 9.47



Obr. 9.48

Měrný tlak ve stykových plochách nesmí překročit dovolenou hodnotu

$$p = \frac{F}{i S} \leq p_{dov} \quad [N \text{ mm}^{-2}] \quad (9.9)$$

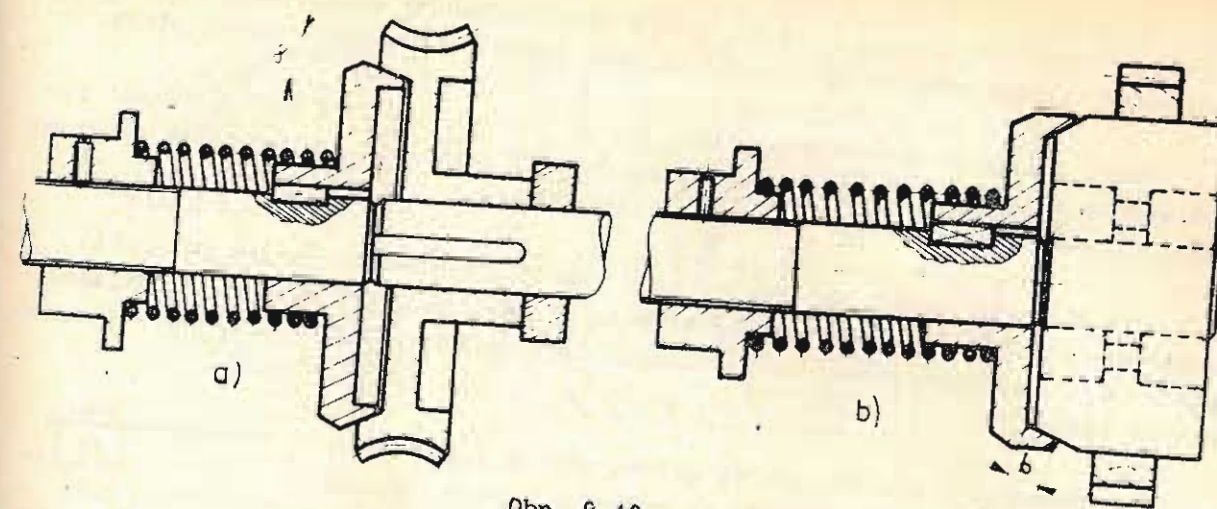
kde S je velikost stykové plochy [mm²]

p_{dov} je dovolený měrný tlak [N mm⁻²]

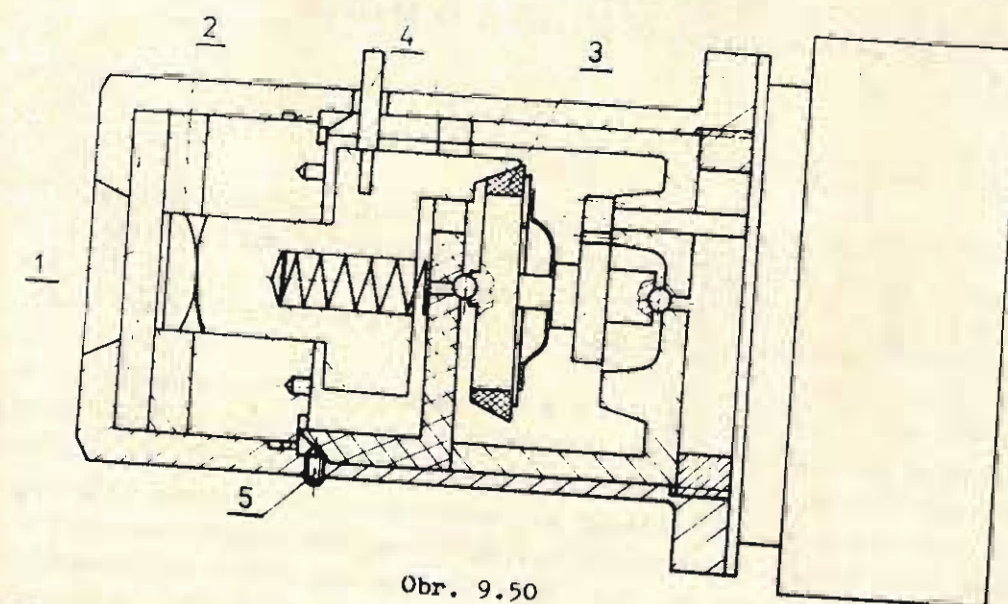
i je počet párů stykových ploch

Dostí časté je použití kuželových třecích spojek, vzláště v přímé kombinaci s ozubenými koly, jak to znázorňuje obr. 9.49 a, b, kde provedení a představuje odbírání krouticího momentu ze šnekového kola a provedení b pak spojení s čelním kolem volně otočným na hřídeli.

Zajímavou konstrukcí kuželové třecí spojky je optomechanické relé (obr. 9.50). Přitlačování natáčivé části spojky do záběru je řízeno tepelnými paprsky, které dopadají přes optický systém 1 na suspenzi se saze. Suspenze se zahřeje, zvětší objem a tlačí na pístek 2, který přitlačí spojku do záběru. Kuželový kotouč, který dostává rotační pohyb od elektromotorku natočí rameno spojky 4 a tím sepnou kontakt. Otáčivý moment je omezen tím, že třecí kužel 3 je volně otočný na osazeném hřídelíku a do záběru je tlačěn talířovou pružinou, jejíž předpětí lze řídit šroubkem 5. Reakční doba správně seřazeného relé je asi 0,1 s.



Obr. 9.49



Obr. 9.50

Třecí moment kuželových spojek se určí ze vztahu

$$M_T = \frac{\pi D_s^2 \cdot b \cdot p \cdot f}{2} = M_k \quad [Nmm] \quad (9.10)$$

kde $D_s = \frac{D_1 + D_2}{2}$ je střední průměr spojky [mm]

b je šířka pracovní plochy [mm]

p je měrný tlak ve stykové ploše [Nmm⁻²]

f je součinitel tření.

Při návrhu spojky je důležité stanovení vrcholového úhlu spojky 2α . Malý úhel α může vyvolat samosvornost, která umožní přenést velký krouticí moment, ale způsobuje těžkosti při vysouvání spojky. Velký úhel α umožňuje snadné vysouvání spojky, ale k činnosti potřebuje velkou přitlačnou sílu. Zasevací síla spojky se určí ze vztahu

$$F_z = F_N (\sin \alpha + f \cos \alpha) \quad [N] \quad (9.11)$$

kde F_N je síla kolmá na stykovou plochu spojky [N]

V praxi se osvědčil úhel $\alpha = 12,5^\circ$, který však potřebuje stálou přitlačnou sílu. Zmenšení přitlačné síly se dá docílit vhodnou volbou materiálů třecích ploch.

Třecí spojky se vyrábějí z ocelí, mosazí, hliníku a jeho slitin. Hnací kotouč spojky může být obložen z měkkých materiálů, jako kůže, fibrem nebo vhodnými plasty, které vykazují s kovem větší součinitel tření.

Jak bylo již řečeno, se mimo ručního ovládání výsuvných spojek dá použít elektromagnetického, kde elektromagnet může ovládat klasické vysouvací zařízení nebo může být součástí rotujících kotoučů. Toto ovládání umožňuje dálkové i automatické řízení.

Ke konstrukci třecích spojek můžeme použít i některých druhů svíracích zařízení, zvláště odpružených nábojů, kterých používáme jen při přenosu malých krouticích momentů, jak je tomu např. při připevnění ukazatelů přístrojů na hřídelík (obr. 9.51).



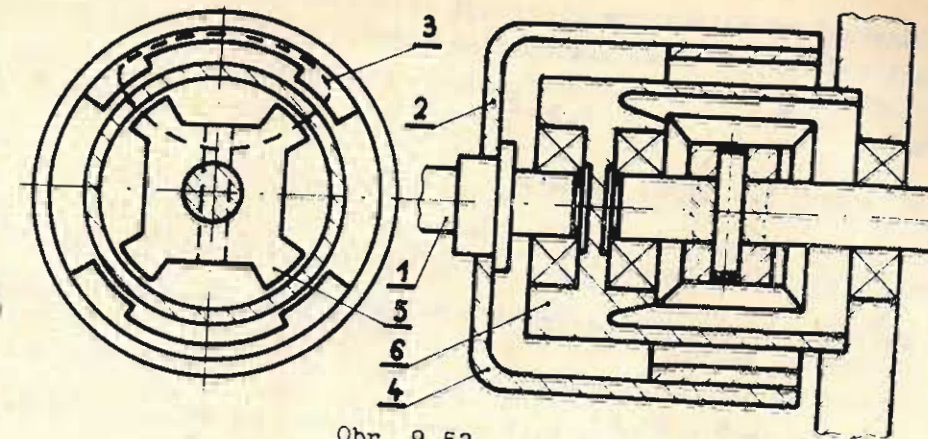
Obr. 9.51

9.1.2.4. Spojky zvláštní

Spojky zvláštní plní mimo svůj základní úkol, t.j. přenos krouticího momentu za rotace i další funkce. Podle účelu můžeme zvláštní spojky rozdělit na spojky magnetické, ochranné či pojistné, samočinně výsuvné a spojky jednosměrné (volnoběžné).

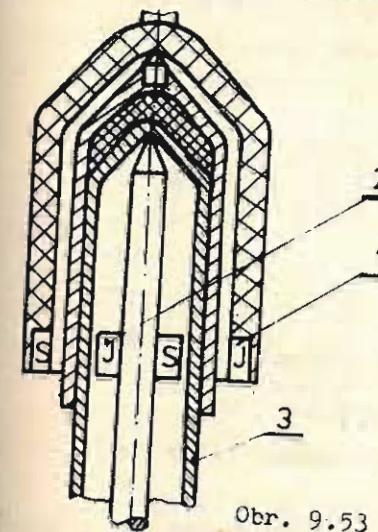
Spojky magnetické s permanentním magnetem se užívají v těch případech, kdy je třeba přenést pohyb a krouticí moment do dvou navzájem oddělených prostor např. do vzducho- nebo vodotěsných prostorů či do ochranné atmosféry z okolního prostředí. Přenos pohybu a krouticího momentu se u magnetických spojek děje účinkem koercivních sil mezi magnetem a ferromagnetickou kotvou, tvořící druhou polovinu spojky. Mezi permanentním magnetem a ferromagnetickou kotvou je stěna oddělující obě poloviny spojky. Stěna musí být z magneticky i elektricky nevodivého materiálu, aby nevzniklo magnetické krátké spojení a vířivé proudy. Přenášený moment stoupá s rostoucími otáčkami od nulové hodnoty až po mezní hodnotu, danou konstrukcí spojky. Odstíněním magnetického pole ferromagnetickou vložkou nebo změnou vzduchové mezery lze řídit maximální hodnotu přenášeného momentu. Protože nedochází k přímému styku hnacího a hnaného dílu spojky a také, že lze řídit max. hodnotu přenášeného momentu a díly spojky mohou navzájem prokluzovat, lze magnetických spojek používat i jako ochranných spojek. Další výhodou těchto spojek je schopnost tlumení rázů.

Princip magnetické spojky je znázorněn na obr. 9.52. Hnací hřídel 1 opatřený nosičem 2 permanentních magnetů 3 tvoří jednu polovinu spojky. Druhá polovina spojky nese na hřídeli 4 ferromagnetickou kotvu 5. Mezi kotvou a permanentní magnetem je vloženo pouzdro 6 z nemagnetické slitiny (bronz), které je spojeno se stěnou přístroje a tím odděluje od sebe prostory z různým prostředím. Magnetické siločáry se uzavírají přes toto pouzdro a unášejí kotvu.

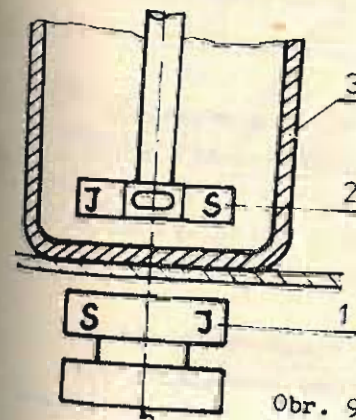


Obr. 9.52

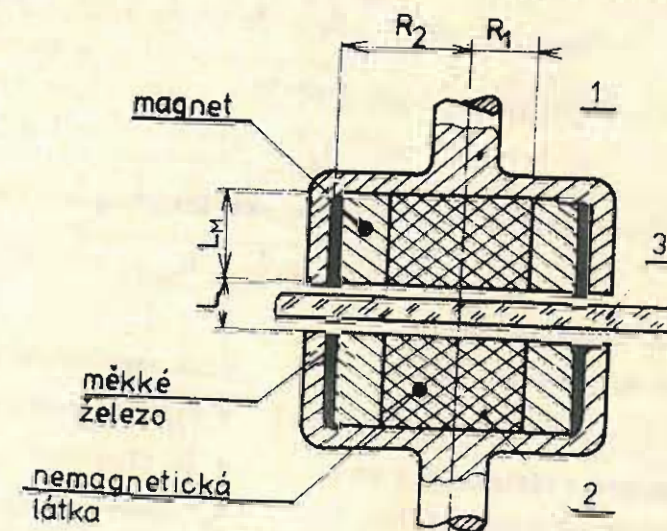
Magnetické spojky je užito např. u kontaktního teploměru Vertex (obr. 9.53). Plochých kotoučových magnetů se dá užít pro přenos rotačního pohybu do uzavřeného míchacího zařízení (obr. 9.54).



Obr. 9.53



Obr. 9.54



Obr. 9.55

Styrpólovou magnetickou spojku představuje obr. 9.55. Na uvedených obrázcích 1 představuje hnací část spojky, 2 hnanou část spojky, která může být tvořena magnetem nebo měkkým železem, 3 nemagnetickou látku oddělující prostory, do nichž se přenáší moment.

Výpočet spojky s permanentními magnety vychází z předpokladu, že při

správném nastavení magnetů se silokřivky uzavírají přes železnou nebo magnetickou kotvu. Pro baryoferritové magnety musí být splněna podmínka (obr. 9.55).

$$2 L_M + 1 = \frac{p}{4} ; \quad b \geq \frac{p}{4} \quad (9.11)$$

Maximální posuvná síla mezi rovinnými magnety

$$F_{\max} = 5,0 \cdot 10^{-9} H_c^2 S \cdot \left(1 - \frac{4L}{p}\right)^2 \cdot c \quad [N] \quad (9.12)$$

Z uvedené rovnice dostaneme vztah pro maximální přenášený moment spojky s obvodovými magnety

$$M_{\max} = 3,15 \cdot 10^{-8} H_c^2 R^2 \cdot b \cdot \left(1 - \frac{4L}{p}\right)^2 \cdot c \quad [N \text{ mm}] \quad (9.13)$$

Pro čelní kruhové magnety bude

$$M_{\max} = 10,5 \cdot 10^{-9} H_c^2 (R_2^3 - R_1^3) \cdot \left(1 - \frac{4L}{p}\right)^2 \cdot c \quad [N \text{ mm}] \quad (9.14)$$

Axiální síla přitahující čelní magnety

$$F_a = 6,5 \cdot 10^{-7} H_c^2 \cdot S \quad [N] \quad (9.15)$$

Moment vířivých proudů po vložení elektricky vodivé látky

$$M = 3,2 \cdot 10^{-8} \frac{V \cdot d}{\rho} \cdot M_{\max} \quad [N \text{ mm}] \quad (9.16)$$

V uvedených vztazích je :

L_M délka magnetu [mm]	ρ je specifický odpor [$\Omega \text{ mm}^{-2} \cdot \text{m}^{-1}$]
l šířka vzduchové mezery [mm]	v střední relativní rychlost [mm s^{-1}]
p pólová vzdálenost [mm]	d je tloušťka stěny el. vodivé látky [mm]
b je šířka magnetu [mm]	H_c intenzita magnetického pole [A mm^{-1}]
R_1, R_2 jsou poloměry [mm]	c korekční faktor závislý na konstrukci
S činná plocha magnetu [mm^2]	($c = 0,5 + 1,5$).

Ochranné (pojistné) spojky slouží k ochraně zařízení a přístrojů před přetížením. Pro konstrukci ochranných spojek používáme v podstatě tři principy, a to :

1) prokluzování třecích ploch, dotlačovaných k sobě axiální silou vyvozenou pružinami různých tvarů. Velikost přitlačovací síly je vypočtena na maximální dovolený přenášený krouticí moment.

2) odpružených zářezek jednosměrných, které zapadají do ozubů na obvodě nebo na čele spojového kotouče. Překročením maximálního dovoleného krouticího momentu se zářezka vytlačí z ozubu a přeskočí.

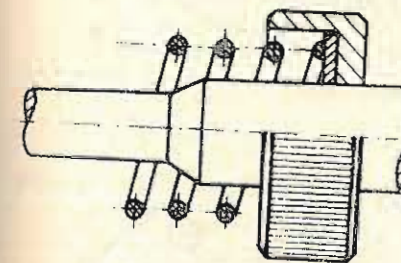
3) pojistných kolíků namáhaných na stříh, které při překročení přípustného momentu se přestříhnou.

První dva principy mají výhodu v tom, že při poklesu překročené hodnoty momentu jsou schopny samočinně se ustavit do pracovní polohy a pokračovat v přenášení momentu a pohybu. Třetí princip vyžaduje přerušování činnosti na dobu nutnou k výměně pojistného kolíku. Těchto spojek se užívá poměrně málo.

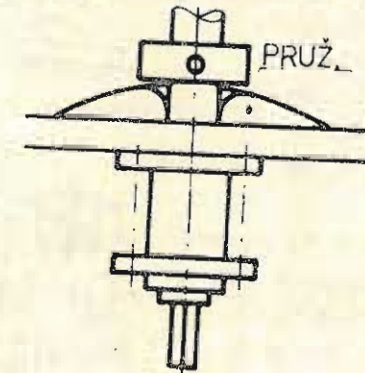
Princip ochranných spojek s prokluzem třecích ploch je realizován v podstatě třecí spojkou, která je v trvalém záběru, bez vysouvacího a zasouvání zařízení. Protože třecí plochy prokluzují při překročení mezního momentu, říká se těmto spojkám také *prokluzovací*.

Jednoduchou ochrannou třecí spojkou se šroubovou válcovou pružinou představuje obr. 9.56. Předpětí pružiny omezuje utahovací moment. Spojka na obr. 9.57 s membránovou pružinou slouží pro nastavení minutových ručiček u budíků. Jako ochranné třecí spojky mohou sloužit i spojky na obr. 9.47, 9.48, 9.49, ale bez vysouvacího mechanismu. Konstrukční řešení těchto spojek se musí přizpůsobit daným požadavkům a funkci přístroje. Výpočet uvedených spojek je analogický výpočtům třecích spojek.

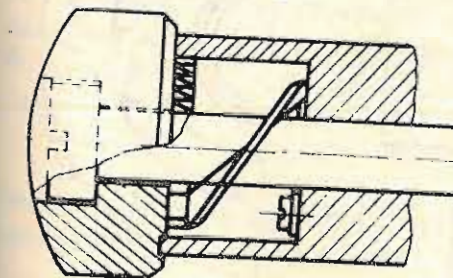
Druhý princip ochranných spojek je konstrukčně založen na zubových spojkách. Rozdíl mezi zubovou a ochrannou spojkou zubovou, zvanou také řehačkou, spočívá v tom, že jedna polovina spojky, obvykle hnací, je opatřena ozuby a druhá polovina nese jednu či více odpružených zářezek. Ozuby na hnací části spojky mohou být uspořádány buď čelně nebo obvodově a při tom mohou být buď jednostranně popř. oboustranně orientovány. Zářezky mají rovněž jednostranně orientovaný ozub (popř. i oboustranně), který zapadá do ozubů spojového kotouče. Síla pružiny dotlačující zářezku do ozubu, musí být spočítána a nastavena tak, aby po překročení daného krouticího momentu umožnila vysunutí zářezky ze záběru. Velikost potřebné síly pro vysunutí zářezky se vypočítá ze vztahu uvedeného v kap. o zářezkách. Příklad provedení jednostranné spojky (řehačky) je na obr. 9.58, kde zářezku tvoří přímo pružina. Ochranné spojky s ozuby užívané u šroubových mikrometrů, kterými se limituje dosedací tlak, jsou uvedeny na obr. 9.59 a 9.60, a to s obvodovými a čelními ozuby.



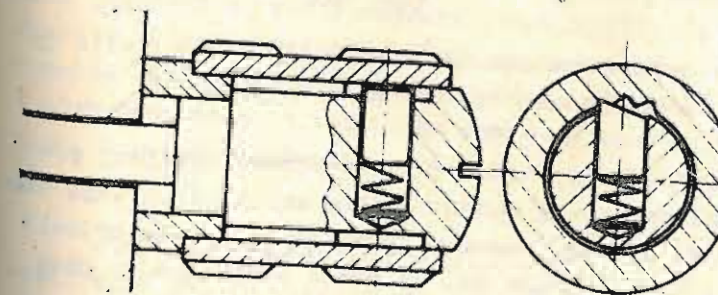
Obr. 9.56



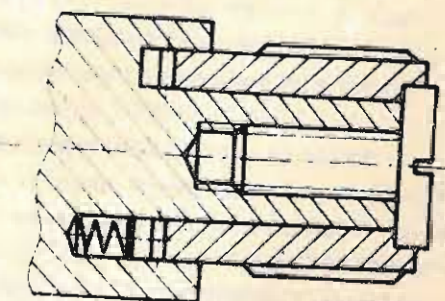
Obr. 9.57



Obr. 9.58

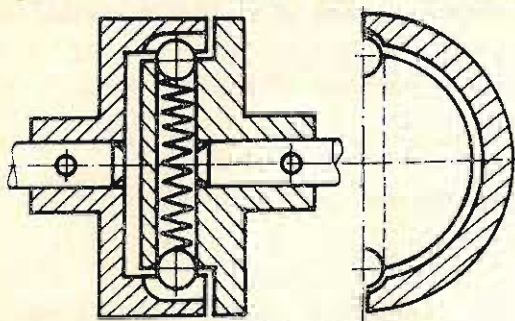


Obr. 9.59



Obr. 9.60

Má-li ochranná spojka zubová zaručit ochranu před přetížením v obou směrech, musí být použito symetricky tvarovaných ozubů a příslušně upravených zarážek. V těchto případech lépe vyhovují ozuby ve tvaru kruhových oblouků a místo zarážek lze použít odpružených kuliček. Princip této spojky je na obr. 9.61 a provedení pak na obr. 9.62 a 9.63. Nevýhodou těchto spojek je hluk, připomínající řehačku



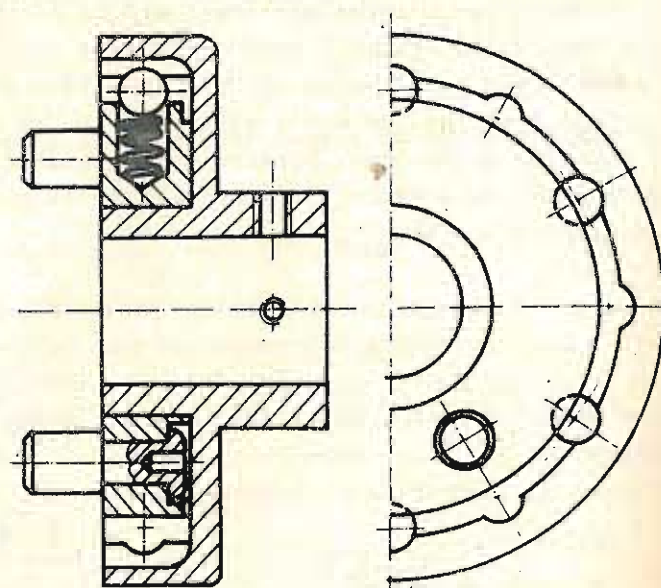
Obr. 9.61

a vznik vibrací. Proto je použití těchto spojek omezeno na ta zařízení, kde uvedené nevýhody nevadí. Výpočet těchto spojek je analogický zarážkám odpovídajících typů, jen s tím rozdílem, že je nutno do výpočtu uvážit setrvačné síly, které buď dotlačovací sílu zvětšují (obr. 9.62) nebo zmenšují (obr. 9.63).

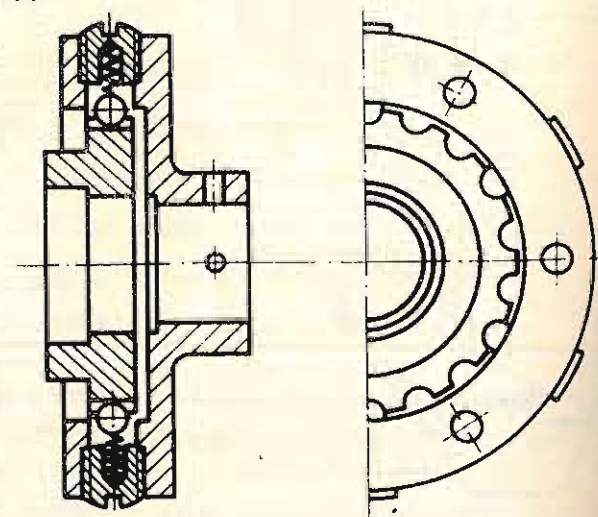
Pro samočinné spojování či rozpojování hřídelů strojů a přístrojů při určitých otáčkách pohonu slouží nejčastěji spojky odstředivé. Samočinného spojování hřídelů při daných otáčkách používáme tam, kde je nutno nechat rozběhnout hnací zařízení bez zatížení a teprve po rozběhu zapnout hnané. Těmto spojkám říkáme rozběhové. Naopak vypínáním stroje po dosažení určitých maximálních dovolených otáček chráníme stroj či zařízení před poškozením setrvačnými silami.

Odstředivé spojky jsou ve své podstatě spojkami třecími, kde třecí síla je vyvozena odstředivou silou působící na uzamykací mechanismus spojky.

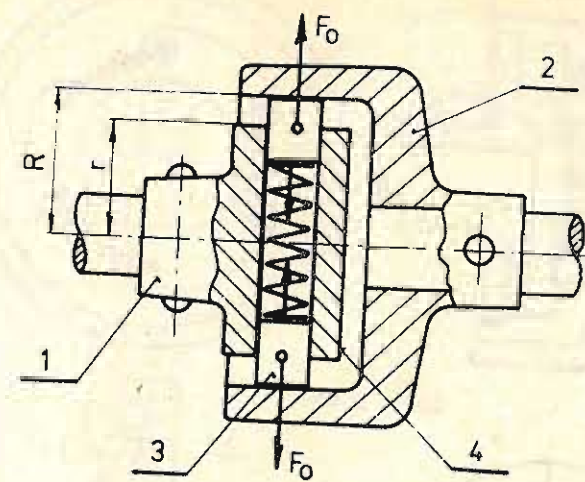
Princip odstředivé spojky na obr. 9.64 představuje rozběhovou spojku, přenášející rotační pohyb nebo krouticí moment až pohon dosáhne určité frekvence otáčení. Tato rozběhová spojka se skládá z hnací části 1 upevněné na hnacím hřídeli a z hnané části 2, spojené pevně s hnaným hřídelem. Ve hnací části spojky jsou volně pohyblivé závaží 3 přitahované k sobě silou pružiny F . Za rotace spojky vzniká odstředivá síla



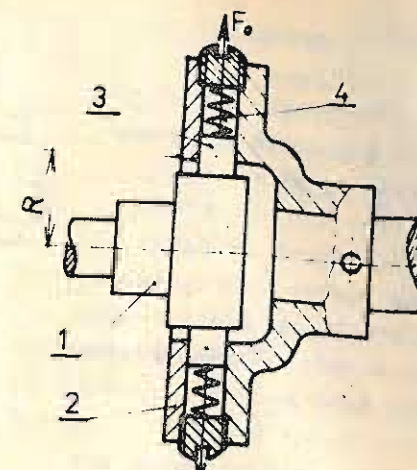
Obr. 9.62



Obr. 9.63



Obr. 9.64



Obr. 9.65

$$F_o = m r \omega^2$$

[N]

(9.12)

kde m je hmotnost závaží [kg]

r je vzdálenost těžiště závaží od osy rotace [m]

ω je úhlová rychlost [s^{-1}]

Když $F_o \geq F$, dochází ke styku závažíček s hnanou polovinou spojky a spojka se samočinně zapne. Třecí moment mezi stykovými plochami se určí ze vztahů:

$$F_N = F_o - F \text{ [N]}; F_T = F_N \cdot f \text{ [N]}; M_T = 2 F_T \cdot r = 2 (F_o - F) \cdot r \cdot f \text{ [Nmm]}$$

kde F je síla předpětí pružiny [N]

F_o je odstředivá síla [N]

F_N je síla působící ve stykové ploše za rotace [N]

M_T je třecí moment [Nmm]

Při přenosu daného krouticího momentu musí být splněna podmínka $M_T \geq M_K$. Záběrový moment musí brát v úvahu i setrvačnost částí uváděných do rotace. Úhlovou rychlost, při níž dojde k zapnutí spojky určíme z podmínky $F = F_o$. Odtud

$$\omega_o = \sqrt{\frac{F}{m r}}$$

[s^{-1}]

(9.20)

Zvyšování úhlové rychlosti nad hodnotu ω_o roste odstředivá síla a tudíž i přenášený moment.

U odstředivých spojek, zaručujících vypínání spojky po dosažení určité max. dovolené úhlové rychlosti (obr. 9.65), je pohyblivé tělísko vedeno v hnané části 2 a dotlačováno pružinou na hnací část 1. Při dosažení maximálních otáček, přemůže odstředivá síla sílu pružiny, tělísko se vysune ze záběru. Tím dochází k přerušení přenosu rotačního pohybu a krouticího momentu. Výpočet vychází z podmínky kolmé síly působící v místě styku tělíska a hnací části spojky.

$$F_N = F - F_o$$

(9.21)

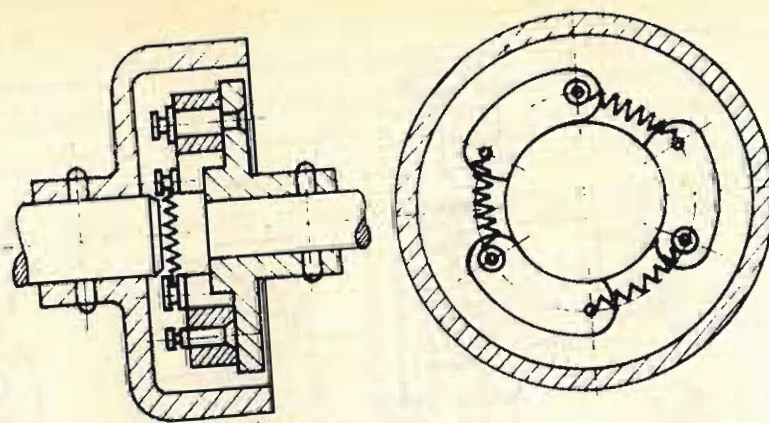
Jinak je výpočet analogický předcházejícímu případu. Konstrukční provedení odstředivé spojky ukazuje obr. 9.66. Závažíčka zde mají tvar segmentů, otočných kolem čepu pevně spojeného buď s hnací nebo i hnanou polovinou spojky. Zvětšením počtu segmentů docílíme větší stykovou plochu a tím i větší hodnotu přenášeného

krouticího momentu.

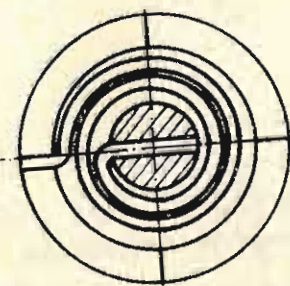
Pro přenos rotačního pohybu a krouticího momentu pouze v jednom směru používáme spojky, které jsou samočinně ovládnuty směrem otáčení. Protože tyto spojky umožňují volný pohyb v jednom směru, říkáme jim také spojky *volnoběžné*.

Volnoběžné spojky mohou být konstrukčně řešeny jako spojky zubové s řehlačkou nebo jako spojky s kuličkami či válečky. Jednoduchou jednosměrnou spojku ukazuje obr. 9.67. U této spojky je jedna polovina spojky tvořena kotoučem se čtyřmi ozuby, druhou polovinu spojky vytváří kuželově vinutá pružina. Tato je jedním koncem uchycena pevně na hnaném hřídeli a druhým koncem se opírá o ozub hnacího kotouče. V naznačeném směru otáčení dochází k přenosu pohybu. V opačném směru konec pružiny klouže po klínové ploše a přeskakuje přes ozuby. Zubovou spojku s čelními jednosměrně uspořádanými zuby ukazuje obr. 9.68. Hnací ozubené kolo 1 je spojeno s kolem s vnitřním ozubením 2. Tato kola se mohou volně otáčet na hřídeli 3. S hřídelem 3 je pevně spojen hnací kotouč, nesoucí čep západky 4. Západka je tlačena do zubové mezery pružinou. V naznačeném směru otáčení hnacího kola unáší západka hnanou část spojky. Při změně směru otáčení dojde k vysunutí západky a tím k přerušení přenosu pohybu. Prokluz západky může nastat také v tom případě, předběhne-li hnané kolo kolo hnací.

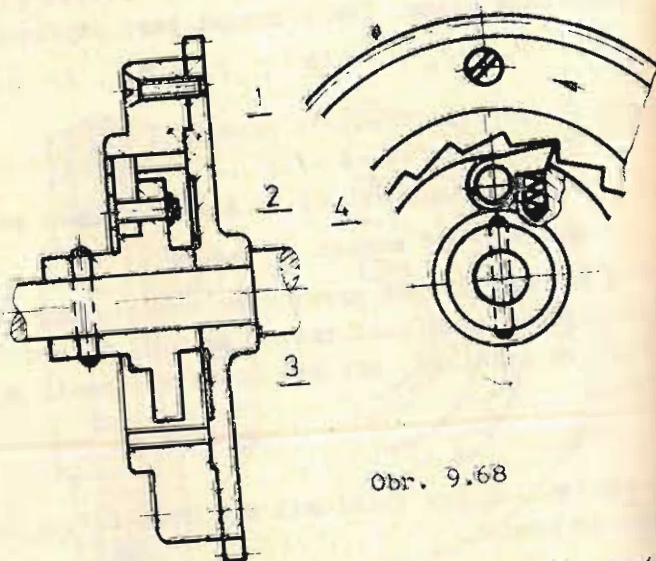
Volnoběžnou spojku s kuličkami či válečky představuje spojka na obr. 9.69. Rotační pohyb a krouticí moment se přenáší zaklíněním kuličky 3 mezi hnacím kolem 2, volně otočným na hřídeli 4. Moment se přenáší pouze tehdy, je-li rotační pohyb hnacího kola či zátěžný moment hnaného kola větší než rotační pohyb hnaného kola či moment hnacího kola. Bude-li rotační pohyb hnacího kola menší než hnaného, kulička se vysune ze záběru a spojku uvolní.



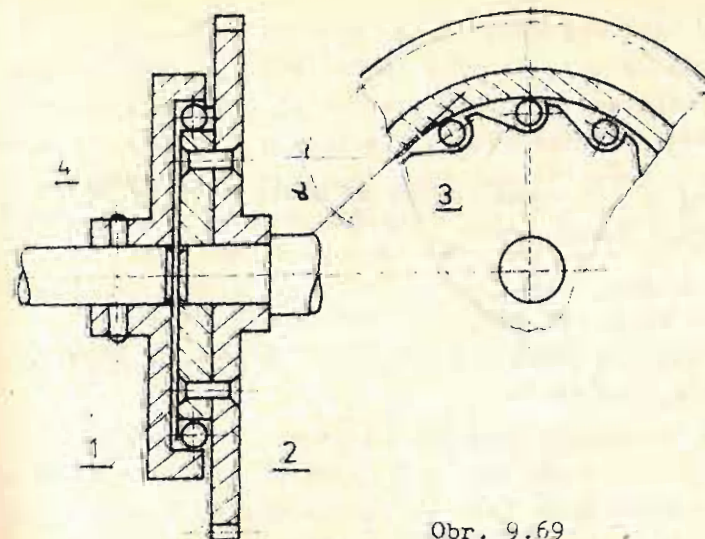
Obr. 9.66



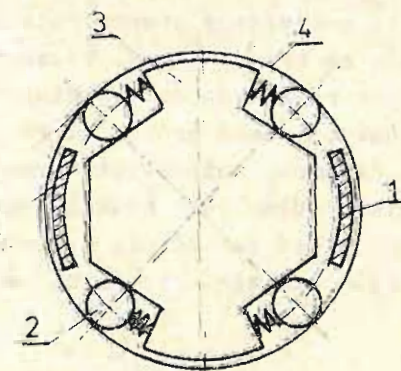
Obr. 9.67



Obr. 9.68



Obr. 9.69



a)



b)

Spolehlivá činnost volnoběžné spojky je závislá na přesné výrobě a na úhlu sklonu vybrání. Úhel sklonu musí zaručit samosvornost a tak platí

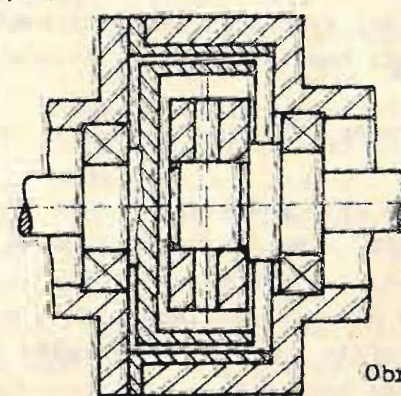
$$\varphi \geq \frac{\alpha}{2} \quad (9.22)$$

kde φ je úhel třecí, a

α je úhel mezi rovinou vybrání na hnaném kole a tečnou ke kružnici hnacího kola v bodě dotyku.

Do této skupiny spojek patří i spojka na obr. 9.70. Podle znázorněného principu a je

možno při otáčení rozříznuté objímky 1, která je součástí hnacího hřídele, přenést rotační pohyb i se zatížením na hnanou část 3. Objímka při rotaci v obou směrech stlačí pružiny, a tím uvolní kuličky či válečky. Tyto pak přenesou pohyb na hnanou část 3. Stane-li se část spojky 3 hnací, pružiny zatlačí kuličky či válečky po zkošené ploše do záběru s brzdícím kotoučem 4, dojde k jejich zaklínění a tím přerušení pohybu.



Obr. 9.70

Hnací moment spojky určíme ze vztahu:

$$M_1 = M + 2 F_T \cdot R + M_L \quad [N \cdot mm] \quad (9.23)$$

kde M je hnaný či odporový moment $[N \cdot mm]$

F_T je třecí síla mezi kuličkami či válečky a brzdícím bubnem $[N]$

R je vnitřní průměr brzdného bubnu $[mm]$

M_L je odporový moment ložisek $[N \cdot mm]$

Třecí síla se vypočítá ze vztahu:

$$F_T = \frac{F \cdot f}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad [N] \quad (9.24)$$

kde F_p je síla vyvozená pružinou

f je součinitel tření

α je stykový úhel, při němž $\tan \frac{\alpha}{2} \leq f$.

Konstrukční provedení je na zobrazení b. Uvedená spojka má mrtvý choď ve směru rotace hnací objímky do 2° a ze strany hnané části 3 do $0^\circ 30'$.

Související normy ČSN : 01 4940, 01 4942, 01 4949, 01 4950, 01 4951, 01 4952 + 01 4955, 01 4960, 01 4975, 01 4990, 01 4991, 01 4992, 02 6400 02 6516 + 02 6520, 02 6203, 02 6204, 02 6208.

9.2. OZUBENÁ KOLA A SOUKOLÍ

Ozubená soukolí tvoří kinematickou dvojici pro vázaný přenos rotačního pohybu nebo krouticího momentu z hnacího hřídele na hřídel hnaný. Vázanost pohybu se děje pomocí ozubených kol, jejichž zuby při rotaci do sebe postupně zapadají. V přesné mechanice používáme ozubených soukolí všech druhů, které jsou užívány ve všeobecném strojnictví t.j. soukolí čelních, kuželových, šroubových, šnekových, hřebenových, planetových a diferenciálních. Mimo tato soukolí používáme dále i speciálních typů soukolí, u nichž se např. mění periodicky úhlová rychlost nebo převodový poměr během jedné otáčky. Dále lze měnit i polohu os různoběžných hřidelů během provozu a pod.

Základ ozubených soukolí tvoří ozubené kolo, které na svém obvodě nese zuby. Profil zubů musí vyhovovat těmto kinematickým požadavkům : při dané konstantní úhlové rychlosti hnacího kola ω_1 žádáme, aby úhlová rychlost hnaného kola

ω_2 a převodový poměr $i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}$ byly konstantní. Splnění těchto požadavků je vázáno na tyto podmínky ;

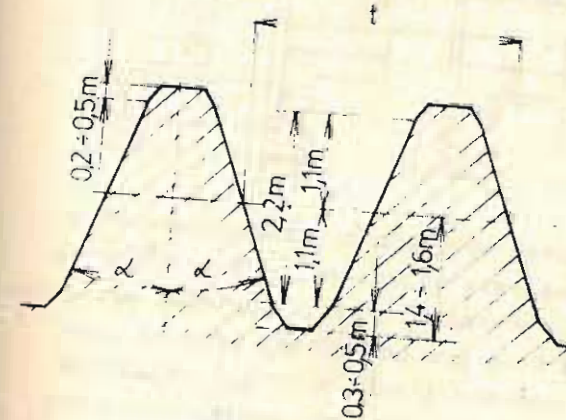
normála profilových křivek v záběrovém bodě musí být společná a musí procházet bodem valení ; rychlost ve směru normály musí být konstantní a společná pro obě kola ; společné body dotyku záběru musí ležet na záběrové čáře. Na základě těchto požadavků a podmínek lze teoreticky vytvořit různé profily zubů. Ne však každý profil lze snadno a přesně vyrobit. Proto se i v přesné mechanice, mimo speciální požadavky na funkci ozubených soukolí, používá profilů zubů užívaných ve všeobecném strojnictví, a to zubů evolventních a zubů cykloidních. Převážně se užívá zubů evolventních, neboť tyto lze vyrobit přesně odvalovacím způsobem a dodržení daného převodového poměru není citlivé na malou změnu osové vzdálenosti.

Cykloidního ozubení se užívá přednostně v hodinářském průmyslu, protože vykazuje menší prokluz a tím menší ztráty třením ve srovnání s ozubením evolventním. Pak lze jím vytvářet soukolí s velkými převody, aniž by došlo k podřezání zubů. Cykloidní ozubení je citlivé na změnu osové vzdálenosti, která vyvolává kolísání převodového poměru. Toto však příkrokovým přenosem rotace příliš neovlivňuje a tudíž neovlivňuje přesnost hodin. O cykloidním ozubení bude pojednáno zvlášť.

Volba profilu zubu časoměrných zařízení se řídí jejich účelem. U časoměrných zařízení, které slouží k posuvu registračního papíru a posuv tvoří současně časovou základnu, je nutno použít evolventního profilu zubu. Evolventní ozubení svou přesností a plynulostí pohybu zaručí správnou časovou základnu. Větší ztráty třením se vykompenzují zvýšením příkonem hnacího zařízení. Časoměrná zařízení, které slouží pouze k indikaci časového údaje a které má mít malé rozměry a tudíž malý příkon, musí vykazovat malé ztráty třením v ozubení i v uložených hřídelů. Těmto požadavkům lépe vyhoví cykloidní ozubení.

9.2.1. Evolventní ozubená kola a soukolí

Rozměry ozubených kol se řídí modulem a počtem zubů. Moduly jsou normovány a uvedeny v ČSN 01 4609. V přesné mechanice používáme modulů od 0,2 výše. Pro účely přesné mechaniky byl navržen evolventní profil pro moduly pod 1 mm (obr. 9.71), který se vyznačuje zvětšenou výškou hlavové a patní části zubu. U evolventních ozubených kol čelních s přímými zuby se v praxi používá minimálně 12 zubů, vyjimečně můžeme jít na počet 7, kdy zub se stává špičatým. Počty zubů pod 14 vyžadují korekci. Pokud je to možné a nejsme omezeni rozměry kol, volíme počty zubů tak, aby nemusely být korigovány. Obvykle bývá počet zubů $z \geq 25$. Doporučené počty zubů v závislosti na modulu udává tabulka obr. 9.72. Pro počty zubů nad 100 nemáme používat těch, které jsou tvořeny prvočísly, a to z výrobních důvodů. Počty zubů nad 240 mají být dělitelné desíti. Převodový poměr užívaný v přesné mechanice bývá $i \leq 10$ (vyjimečně $i = 15$). Maximálního převodu užíváme jen v těch případech, kdy se předávají malé krouticí momenty při



Obr. 9.71

$m = 0,4; 0,5; 0,6$	$Z = 26 + 180$
$m = 0,8$	$Z = 22 + 120$
$m = 1$	$Z = 18 + 105$
$m = 1,5$	$Z = 18 + 70$

Obr. 9.72

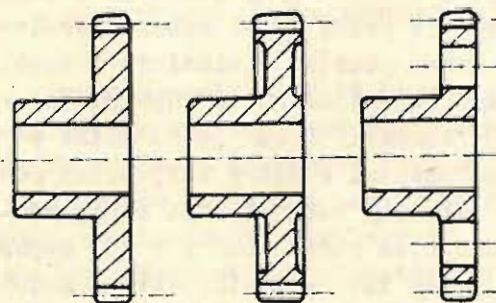
malých frekvencí otáčení. U silových převodů, motoricky poháněných bývá maximální převodový poměr $i = 5$. Z hlediska opotřebení a přenosu výrobních nepřesností má převodový poměr tvořit nesoudělné číslo, i když se někdy nedodrží přesně požadovaný převodový poměr.

Při stavbě přístrojů a zařízení, bývá obvykle nemáhání soukolí malé a proto se v těchto případech nemusí provádět výpočet a kontrola na pevnost a opotřebení. Jde-li však o silový přenos, uvedené výpočty jsou nutné a provádíme je podle vztahů pro návrh a výpočet ozubených kol, uvedených v částech strojů a v příslušné normě.

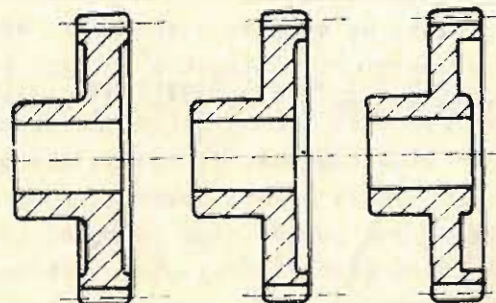
Škála užívaných materiálů pro ozubená kola je v přesné mechanice velmi široká. Ozubená kola se vyrábějí z litiny, z konstrukční a legované oceli, z bronzu, mosazi, ze slitin hliníku, ze spékanych kovů a z umělých hmot. Volba materiálu závisí na zadávacích a provozních podmínkách, na silovém působení a charakteru zatížení.

žení, prostředí, na mazání ap. Do obvodové rychlosti $v = 3 \text{ ms}^{-1}$ lze použít konstrukční oceli o pevnosti $\sigma_{pt} = 350 \text{ N mm}^{-2}$. Pro malá zatížení se volí materiály menších pevností (mosaz, hliníkové slitiny). Pro prostředí s korodujícími účinky se užívá takových materiálů, které danému prostředí odolávají, t.j. např. nerez oceli, bronz, mosaz, umělé hmoty ap. Je-li žádán tichý chod soukolí doporučuje se užívat ozubených kol z umělých hmot - plastu, textgumoidu ve spojení s kovovým kolem, které musí mít vysokou pevnost. Ozubená kola z plastu, textgumoidu mají mít šířku kola menší alespoň o 2 mm na každé straně vzhledem k šířce kovového kola. Opačné řešení by vedlo ke vzniku okrajového výstupku v důsledku nerovnoměrného opotřebení a otláčení po délce zubu.

Konstrukce čelních ozubených kol větších průměrů se řídí stejnými zásadami, jako ve všeobecném strojnictví. U kol malých průměrů doporučuje se používat osvědčených konstrukcí, zobrazených na obr. 9.73. Tato kola se doporučují pro průměry

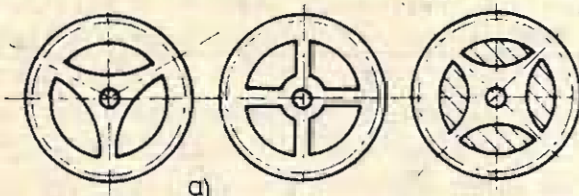


Obr. 9.73

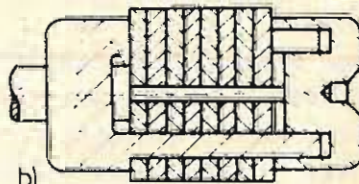


Obr. 9.74

ϕD do 50 mm. Nad ϕD 50 mm lze kola odlehčovat vybráním na čelech nebo děrami. Provedení kol podle obr. 9.74 se může používat, ale výjimečně. Nedoporučuje se používat kol s oboustranně vyvedeným nábojem, protože náboj je zbytečně prodlužuje a zvětšuje rozměry zařízení. Malá ozubená kola pro hodinářský průmysl jsou téměř vždy vystřižena pod lisem z tvrdého mosazného plechu a bývají odlehčena otvory podle obr. 9.75 a. Odlehčovací otvory slouží nejen ke zmenšení hmotného momentu setrvačnosti, ale jsou i středícími otvory pro nasazení na tuhý přesný trn (b) pro hromadnou výrobu zubů (obr. 9.75b).



a)

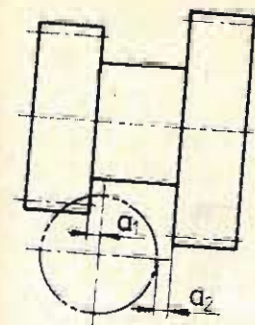


b)

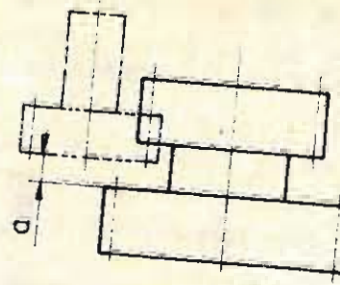
Obr. 9.75

Kombinovaná kola lze vytvářet buď z jednotlivých kol sešroubováním, či sánťováním nebo lze je vysoustružit na společném náboji. Vzdálenost kol rozdílných průměrů na jednom náboji se řídí způsobem výroby zubů. Při výrobě dělicím způsobem modulovou frézou vzdálenost menšího kola závisí na průměru frézy a nezbytných délek a_1 , a_2 , které zaručí plné projetí frézy podél zubu a nezasáhne druhé kolo (obr. 9.76). Při výrobě zubů odvalovacím způsobem hoblováním může být vzdálenost kol menší, a to o doběh nástroje po přejetí délky zubu (obr. 9.77).

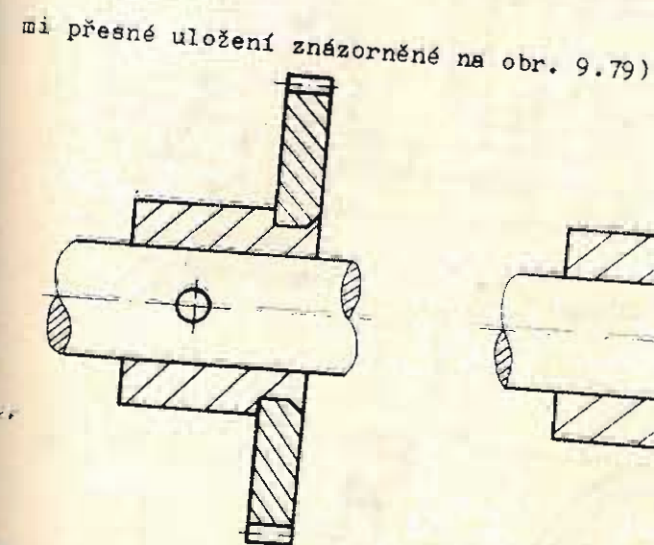
Šikmých zubů používáme u soukolí, kde žádáme plynulý záběr a pak u hřebenevého ozubení např. pro posuv tubusu optických přístrojů. Šikmé zuby vyžadují větší šířku kola, aby se úhel sklonu mohl projevit. Ozubená kola větších průměrů se



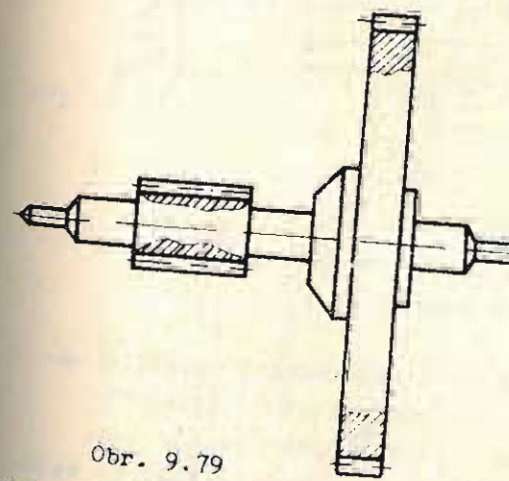
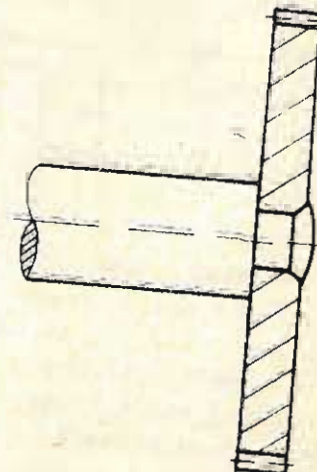
Obr. 9.76



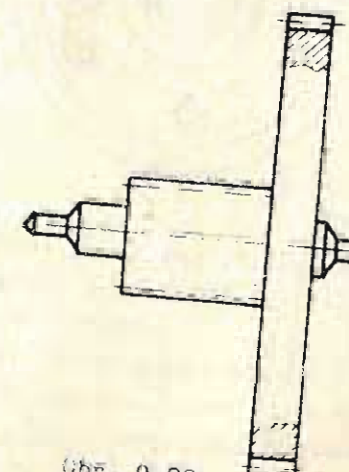
Obr. 9.77



Obr. 9.78



Obr. 9.79



Obr. 9.80

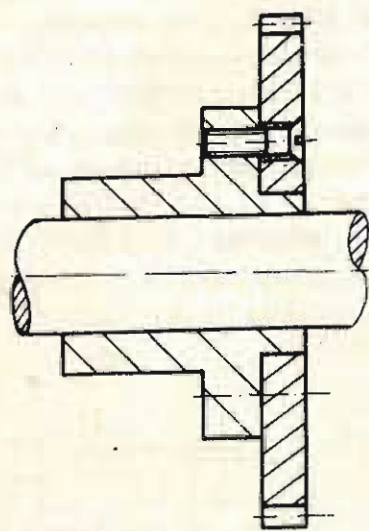
Zvlášť přesného uložení ozubeného kola se docílí jeho nasazením a středěním na osezení zvláštního náboje s přírubou. Kolo se k přírubě přišroubuje a náboj se nalísuje na hřídel. Po nalísování se kolo osoustruží v hrotech. Upevňovací šrouby bývají tři (obr. 9.81).

Nepřesnosti výroby a boční vůle se u malých modulů projevují daleko výrazněji, než u modulů velkých. Zvláště při malých počtech zubů. Proto je lépe u soukolí malých rozměrů volit větší počet zubů s menším modulem než naopak.

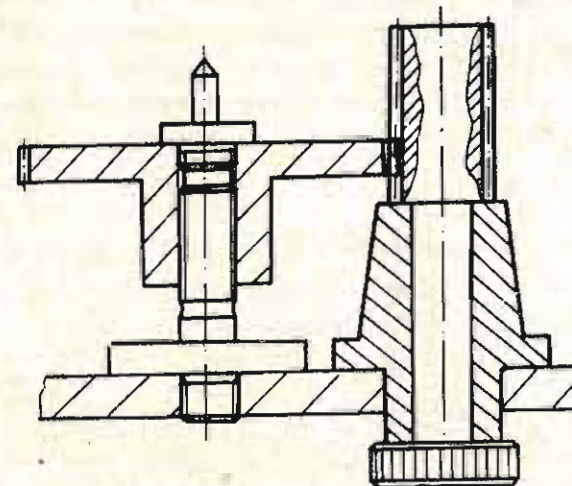
Pro zvýšení přesnosti přenosu rotačního pohybu je snaha zajistit bezvúlový

chod. Cesty k získání bezvúlového chodu jsou tyto :

- regulací osové vzdálenosti
- výběrem ozubených kol a jejich párováním a zaběháváním
- konstrukčním uspořádáním soukolí.

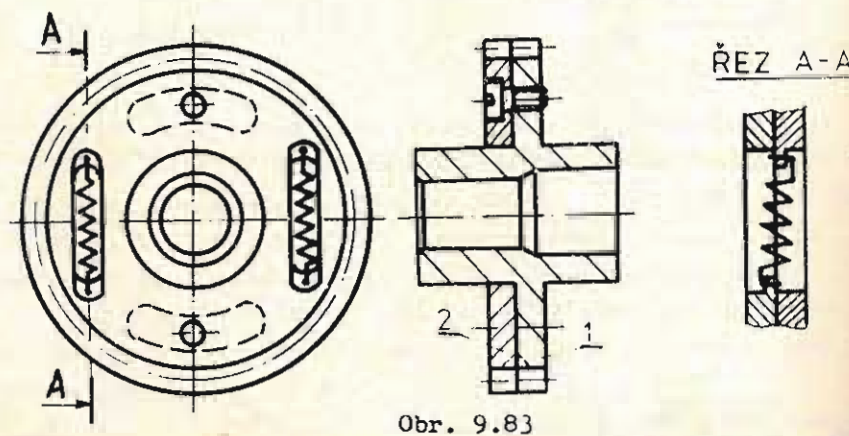


Obr. 9.81



Obr. 9.82

Bezvúlový chod regulací osové vzdálenosti se provádí přibližováním ozubených kol tak, aby boční vůle byla minimální. Tato cesta neodstraní chyby v rozteči. Další nevýhoda spočívá ve zmenšení hlavové vůle, což vyžaduje úpravy výšky hlav či pat zubů. Výběru ozubených kol se užívá při sériové výrobě soukolí, je však ekonomicky i časově náročné.



Obr. 9.83

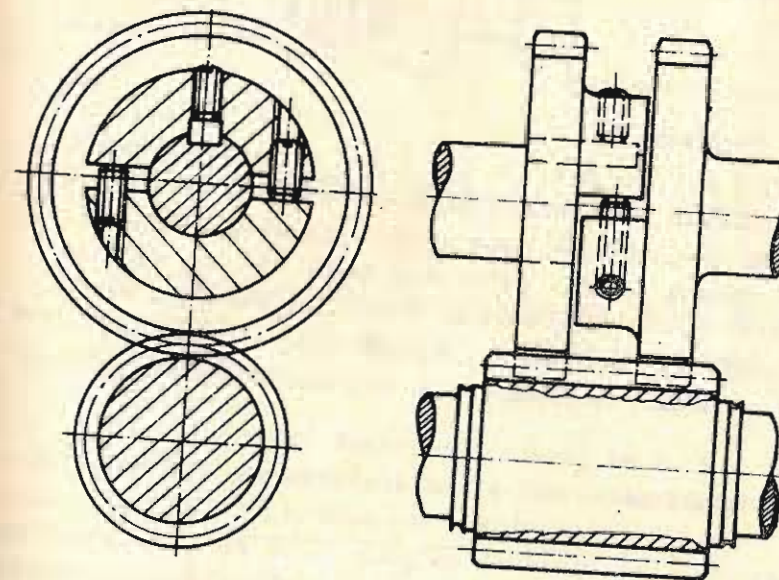
Nejllepší výsledky k odstranění mrtvého chodu dává konstrukční řešení u něhož jedno kolo ze soukolí se provádí jako dvojité, vzájemně otočně uložené a předepjaté pružným elementem. Zabírající kolo bývá provedeno jako jednoduché. Příklad řešení kola vymezujícího boční vůli je na obr. 9.83. Uvedené kolo se skládá ze dvou stejných kol 1, 2, z nichž kolo 1 má náboj, který současně tvoří vedení pro volně se natáčející kolo 2. Obě kola mají na čelní ploše vyfrézovány podélné drážky s oušky pro uchycení tažné šroubové válcové pružiny. Axiální vůle kol se seřizuje pomocí šroubů s válcovou hlavou, které jsou zašroubovány do kola 1. V kole 2 jsou oválné drážky, které umožňují volné natáčení kol. Pružiny odtahují kola od sebe a tím vymezují boční vůli při záběru s pastorkem. Toto řešení umožňuje bezvúlový chod i při chybě rozteče.

Bezvúlový přenos větších a velkých momentů, zvláště při reverzaci chodu, se řeší odtlačováním upravených nábojů dvojitého kola, pomocí tlačných šroubů

(obr. 9.83a). Aby se docílilo stejné únosnosti ozubení, mají být dělená kola vyrobena z materiálů vyšších pevností než je materiál pastorku.

Kuželová kola používána ve stavbě přístrojů mají převážně přímé zuby. Ve výjimečných případech zvláště při přenosu velkých krouticích momentů, je možné použít zubů šikmých nebo zakřivených. Analogicky, jako u čelních kol, je základem rozměrových a pevnostních výpočtů modul a počet zubů. Volba počtu zubů v závislosti na modulu se může řídit podle tab. (obr. 9.72). Maximální převodový poměr bývá v rozmezí

$i = 5 + 7,5$; při přenosu malých krouticích momentů a při malé frekvenci otáčení může být $i = 10$.

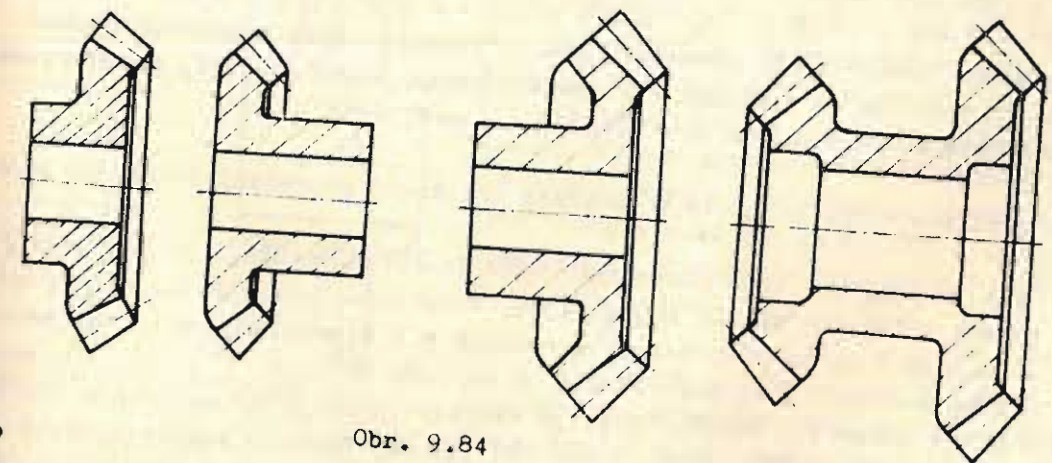


Obr. 9.83a

Pokud se týká pevnostního a rozměrového výpočtu platí totéž, co bylo řečeno pro čelní ozubená kola. Upozorňujeme však na to, že pro pevnostní výpočet a případnou korekci je rozhodující počet zubů na porovnávacích kolech.

Minimální počet zubů u kuželových kol s korekcí bývá 7. Výrobní přesnost kuželových kol v přesné mechanice se volí ve třídě 2 + 4.

Při konstrukci menších a malých kuželových kol se řídíme osvědčenými tvary uvedenými na obr. 9.84.

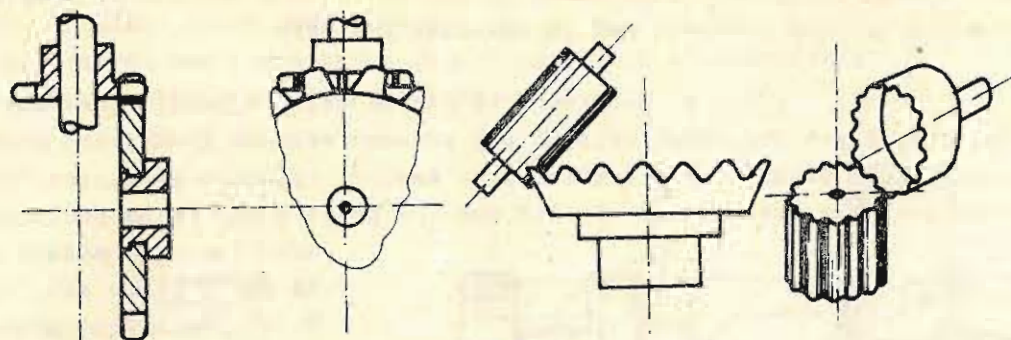


Obr. 9.84

Konstrukce ozubených kol kuželových větších rozměrů se provádí podle stejných zásad, jako ve všeobecném strojnictví.

Pro méně, co do přesnosti, náročná kuželová soukolí (např. u pascích strojů, budíků či hraček) je možno užít i jednoduššího tvarování nebo i kol vyliisovaných z plechu a upravených do kuželového tvaru. Taková kuželová soukolí jsou znázorněna

na obr. 9.84a.



Obr. 9.84a

Soukolí s vnitřním ozubením se skládá z pastorku s vnějším a kola s vnitřním ozubením. Při záběru zubů dochází ke styku konvexní plochy zubu pastorku s konkávní plochou zubu kola a tím k lepšímu rozložení dotykového tlaku mezi zuby. Tato výhoda je však podmíněna velmi přesnou výrobou ozubení, která se dá těžko docílit. Z tohoto důvodu má soukolí s vnitřním ozubením v přesné mechanice omezené použití. Užívá se jej hlavně tam, kde se žádá souhlasný smysl otáčení hnacího a hnaného hřídele a u konstrukcí planetových soukolí.

Výška hlavy zubů kola bývá menší než u kol s vnějším ozubením a určí se ze vztahu :

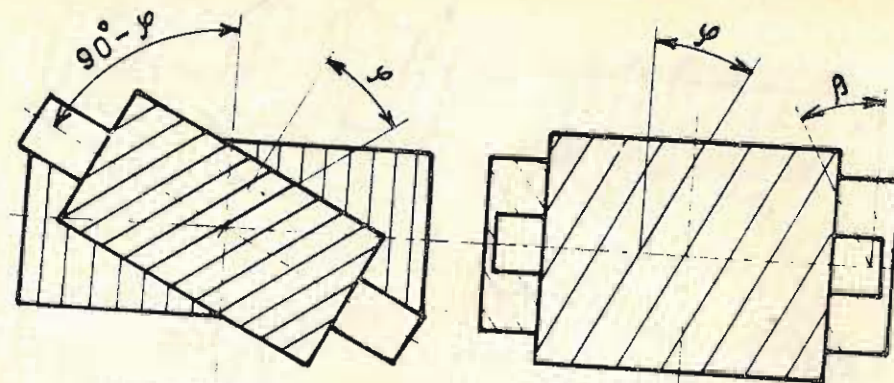
$$h_{a2} \leq \frac{z_1 m}{2} \left[\frac{z_2}{z_1} - \sqrt{\left(\frac{z_2}{z_1} \right)^2 + \left(1 - 2 \frac{z_2}{z_1} \right) \sin^2 \alpha} \right] \quad (9.25)$$

Rozměry kol se určují na základě modulu, počtu zubů z_1 , z_2 pastorku a kola s uvažováním snížené výšky hlavy zubu kola a úhlu záběru α . Tolerance při výrobě soukolí s vnitřním ozubením se berou stejné jako u soukolí s vnějším ozubením.

Pro přenos rotačního pohybu na dva hřídele mimoběžné se i v přesné mechanice užívá šnekového a šroubového soukolí. Šnekové soukolí umožňuje získat velký převodový poměr, plynulý záběr a bezhlučný chod. Mechanická účinnost je ve srovnání s předcházejícími soukolí nižší, a to vlivem velkého prokluzu a nedokonalého rozložení tlaku mezi zuby.

V přesné mechanice se užívá v podstatě tří druhů provedení šnekového soukolí :

- Šnek je válcový, kolo globoidní. Toto tvarování soukolí je pro přesný přenos rotačního pohybu nejčastější. Obvykle se užívá šneku, který má v příčném řezu tvar Archimedovy spirály a v osovém řezu pak tvar hřebenevého ozubení. Úhel mimoběžných os se volí 90° .
- Šnek je válcový a šnekové kolo je tvořeno ozubeným kolem čelním s přímými zuby (obr. 9.85). Úhel, který svírají osy šneku a šnekového kola bývá $90^\circ - \varphi$, kde φ je úhel stoupání šroubovice závitů šneku. Maximálně přípustný úhel stoupání φ je 20° . Vzhledem ke špatným záběrovým poměrům, nelze tohoto uspořádání použít pro velká zatížení, velké rychlosti a pro vysokou požadovanou přesnost.
- Šnek je válcový a šnekové kolo tvoří ozubené kolo se šikmými zuby. Úhel os bývá obvykle 90° . Toto soukolí je vlastně šroubové soukolí pravouhlé.



Obr. 9.85

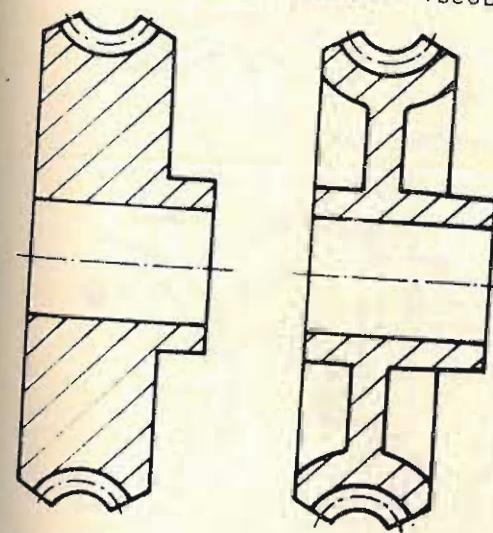
Obr. 9.86

je malá. Styk zubů bývá bodový a proto lze očekávat rychlé opotřebení při trvalém provozu.

Rozměry šnekových i šroubových kol se vypočítají ze vztahů uvedených v čas-tech strojových. Pokud je nutný výpočet na pevnost a opotřebení, řídíme se příslušnou normou ČSN.

Převodový poměr šnekových soukolí se volí v rozmezí od $i = 3$ až do $i = 500$. Počet zubů na šneku bývá $z_1 = 1 + 5$ a u šnekového kola volíme minimální počet zubů $z_2 = 28$. Při menším počtu zubů $z_2 < 28$ musíme zuby korigovat. U jednochodého šneku může být počet zubů na šnekovém kole libovolný, avšak větší než 28. U ví-cechodých šneků má být počet zubů na šnekovém kole nesoudělné číslo např. $47/2$, $55/3$ atd.

Tvarování šnekových kol při přenosu velkých a středních krouticích momentů se provádí stejně jako ve všeobecném strojnictví. Pro přenos malých krouticích momentů při malých rozměrech soukolí se osvědčily tvary kol podle obr. 9.87. Přesahování nábojů symetricky na obě strany se nedoporučuje, jednak proto, že uchycení kola na hřídeli vyžaduje více místa a také proto, že tento tvar ztěžuje výrobu. Pokud to rozměry kola dovolují, můžeme provést odlehčení také otvory v kotouči. Výrobní tolerance u přesných šnekových soukolí musí být menší než u soukolí používaných ve všeobecném strojnictví a řídí se příslušnou normou ČSN.



Obr. 9.87

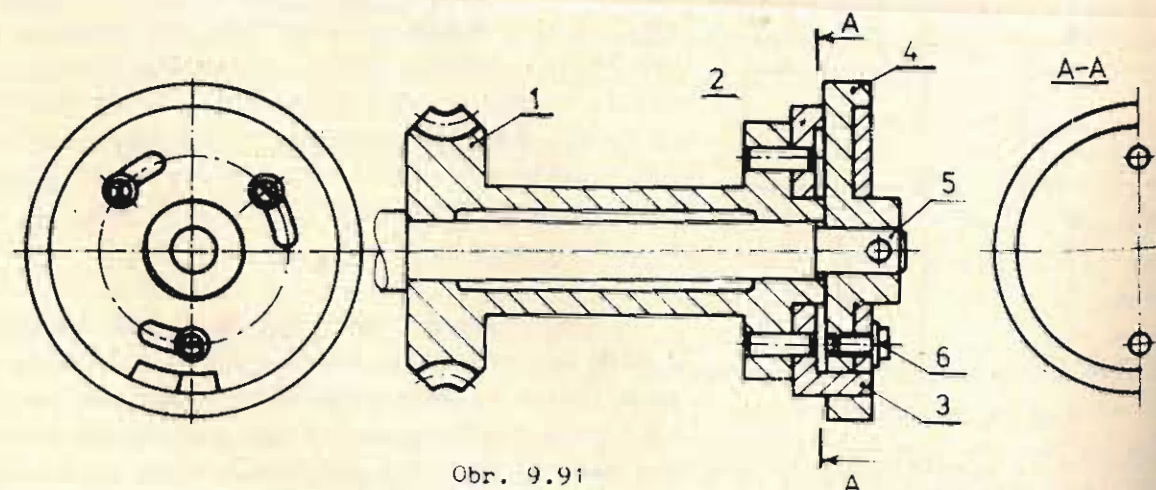
Zjednodušená konstrukce šnekového soukolí může být provedena úzkým čelním ozubeným kolem a šnekem vytvořeným normálním závitem na dřívku nebo pružinou navlečenou na válcový dřív. (obr. 9.88). Speciální tvar šnekového soukolí pro daný směr otáčení ukazuje obr. 9.89. Analogicky jako u čelních ozubených soukolí, tak i u šnekových soukolí pro přesný, plynulý a reverzní chod je žádoucí odstranění vůle mezi zuby. Toto se provádí buď na straně šnekového kola nebo na straně šneku. Pro vymezení bočních vůlí na straně šnekového kola používáme dvojdílné řešení kola (obr. 9.90). Jeden díl šnekového kola je pevně spojen s hřídelem a druhý díl kola se volně natáčí

na náboji prvního dílu. Vzájemná poloha obou dílů vzhledem ke šneku se udržuje předpětím šroubové válcové pružiny, zachycené na kolíčkách uvnitř dutého kotouče. Na obr. 9.91 je uveden způsob pro odstranění mrtvého chodu,

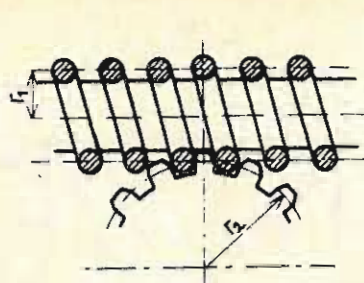
který využívá přímo kinematické větve. Šnekové kolo 1 má náboj převeden v pružnou torzní trubku, zakončenou osazením většího průměru. Na toto osazení je nasazen kotouč 2 s palcem 3. Palec se pohybuje v obvodové drážce objímky 4, spojené pevně s hřídelem 5. Jakmile se šnekové kolo začne otáčet, natáčí se napřed trubkový náboj kola a s ním i disk s palcem. Natáčení kola trvá tak dlouho, dokud se palec nedotkne konce drážky v objímce 4. Po dosažení tohoto stavu se začne otáčet hřídel 5. Hodnota pootočení kola 1 se vymezí natočením objímky 4, která se v požadované poloze zajistí šrouby 6.

U jednoduchých šnekových soukolí lze mrtvý chod vymezit také zdvojeným šnekovým kolem (obr. 9.92). Vymezení mrtvého chodu ze strany šneku je schematicky znázorněno na obr. 9.93. Zde je šnek dotlačován do záběru válcovou šroubovou nebo talířovou pružinou.

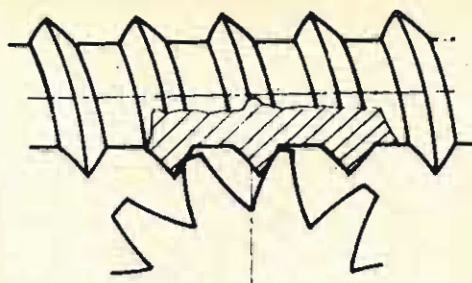
U šnekových soukolí dochází vlivem prokluzu zubů ke ztrátám na přeneseném výkonu.



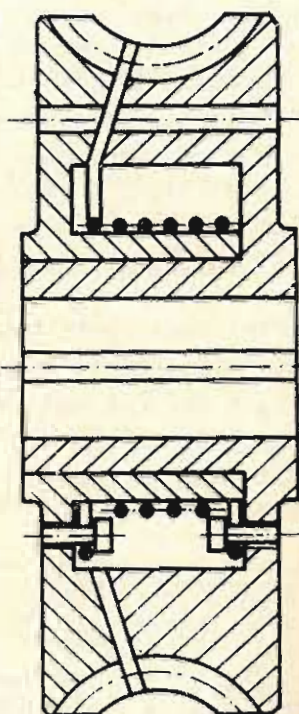
Ztráty třením jsou závislé nejen na dvojicích spoluzebírajících materiálů, ale také na hodnotě kluzné rychlosti. Mechanická účinnost ovlivňuje počet chodů šneku, a to tak, že se zvětšujícím počtem zubů na šneku tato vzrůstá. Snaha po docílení



Obr. 9.88



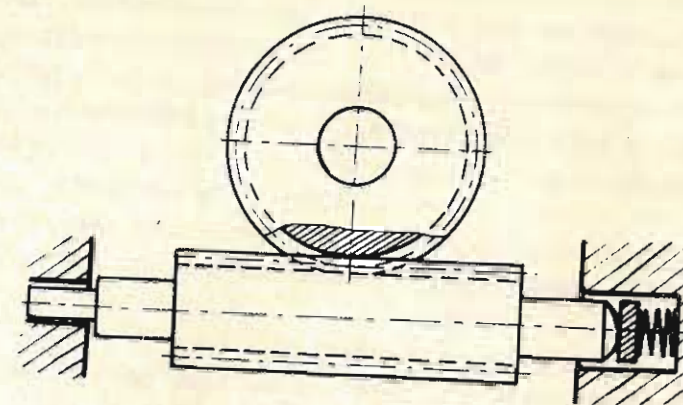
Obr. 9.89



Obr. 9.90



Obr. 9.92

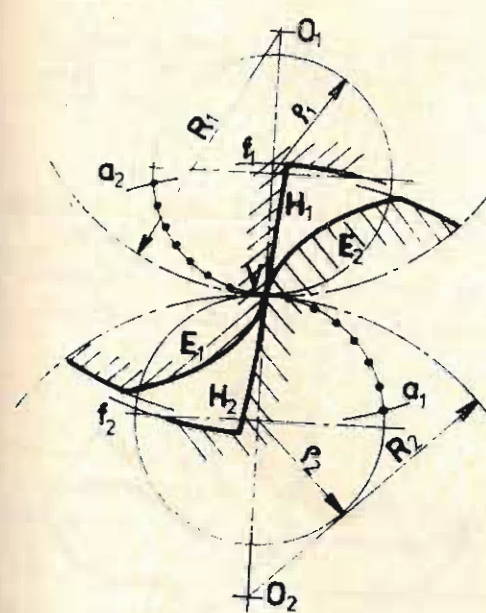


Obr. 9.93

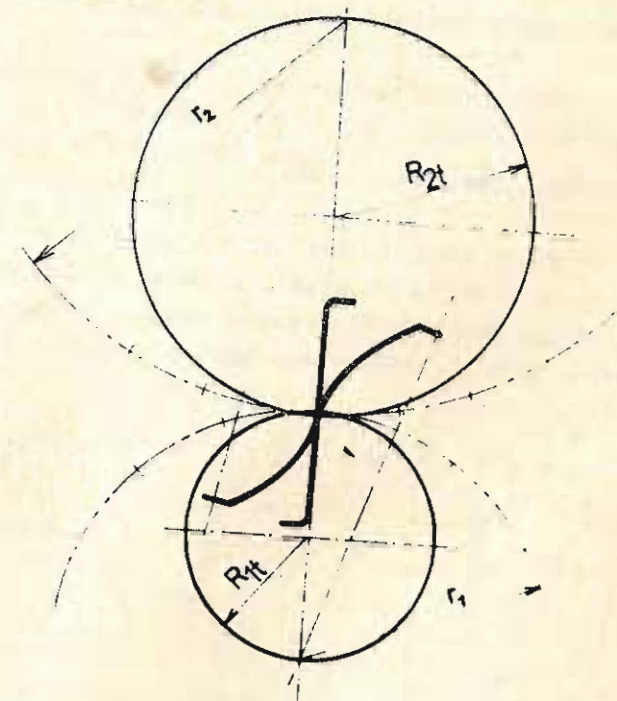
Mechanická účinnost se pohybuje od 0,72 do 0,92 a upřesňuje se na základě skutečných rozměrů šnekového soukolí. Příkon šnekového soukolí se určuje z potřebného výkonu na jeho výstupu.

9.2.2. Cykloidní a hodinářské ozubení

Cykloidní ozubení má profily zubů tvořeny cykloidními křivkami. Profil cykloidního ozubení dostaneme odvalováním tvořících kružnic po obou stranách roztečné kružnice. Odvalováním tvořící kružnice o poloměru ρ_1 po roztečné kružnici z vnější strany vzniká epicykloida E_1 (obr. 9.94).



Obr. 9.94



Obr. 9.95

Tato tvoří hlavu zubu pastorku. Odvalováním tvořící kružnice o poloměru ρ_2 po vnitřní straně roztečné kružnice k_1 obdržíme hypocykloidu H_1 tvořící patu pastorku. Analogicky sestrojíme odvalováním tvořících kružnic po roztečné kružnici k_2

epicykloidu a hypocykloidu E_2 a H_2 , vytvářející hlavovou a patní část zubu protikola. Záběrová čára je tvořena částmi kruhových oblouků tvořících kružnic omezená hlavovými kružnicemi kola a protikola a_1 , a_2 . Patu zubu omezíme patními kružnicemi f_1 a f_2 . Výška hlavy zubu se rovná modulu, výška paty je dána modulem a vrcholovou vůlí, analogicky jako u evolventního ozubení. Průměr roztečné kružnice se určí ze součinu modulu a počtu zubů.

Cykloidní ozubení má ve srovnání s ozubením evolventním tyto přednosti :

- a) zmožňuje větší převodový poměr na jedno soukolí (až $i = 15$) při malých rozměrech,
- b) až do počtu zubů $z_{min} = 6$ neexistuje podřezání,
- c) vykazuje menší opotřebení, protože při záběru dvou zubů dochází ke styku vypouklé části s částí vydutou a tím k lepšímu rozložení tlaku mezi zuby,
- d) zuby se po sobě odvalují s minimálním prokluzem.

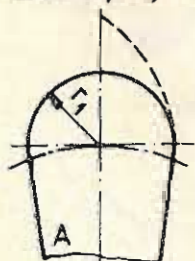
Nevýhody cykloidního ozubení spočívají :

- a) ve větší citlivosti ozubení na změnu osové vzdálenosti, která vyvolává změnu převodového poměru,
- b) v chybách profilu zubu při výrobě
- c) v relativně drahé výrobě, protože nástroj je tvarově složitý. Pro každé kolo je třeba zvláštního nástroje, protože konfigurace zubů závisí na jejich počtech.

Relativně drahá výroba a nepřesnosti při výrobě vedly k tomu, že se použití cykloidního ozubení nerozšířilo i přes řadu výhod. Dnes se cykloidního ozubení používá pro speciální případy jako např. v hodinářství, nebo tam, kde se žádají malé rozměry soukolí při silovém působení.

Hodinářské ozubení má základ v cykloidním ozubení, u něhož jsou poloměry tvořících kružnic $\rho_1 = \rho_2$. Při tom $\rho_1 = R_1/2$; $\rho_2 < R_2/2$, kde $R_{1,2}$ jsou poloměry roztečných kružnic.

Je-li poloměr tvořící kružnice $\rho_1 = R_1/2$ resp. $\rho_2 = R_2/2$ přechází hypocykloida v radiální přímku a tento profil má i pata zubu (obr. 9.95). Aby se ulehčila výroba hodinářského ozubení a nástrojů na výrobu zubů, zavedl se modifikovaný profil. Hodinářský průmysl používá prakticky tři modifikované profily, a to A, B, C.



Obr. 9.96

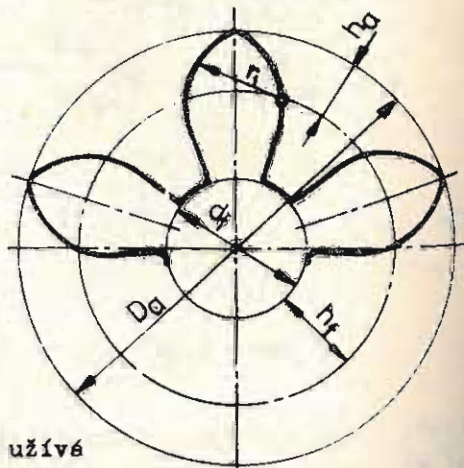


Obr. 9.97



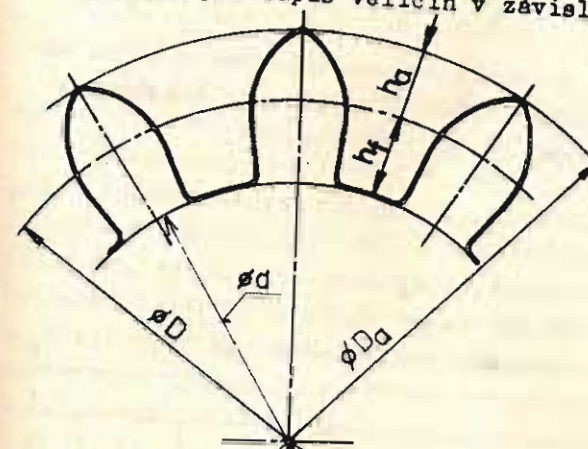
Obr. 9.98

Modifikace A (obr. 9.96) má hlavu zubu tvořencu kruhovým obloukem o poloměru $r_1 = s/2$, kde s je šířka zubu. Této modifikace se užívá málo, protože má poměrně velkou odchylku od správného profilu a při odvalování má velký prokluz. Modifi-



Obr. 9.99

kovaný profil B (obr. 9.97) je tvořen dvěma kruhovými oblouky o poloměru $r_1 = 2/3 s$. Profil C vytváří část kružnice o poloměru $r_1 = s$, resp. $r_1 = 5/6 s$. Tento profil se nejvíce přibližuje k teoretické epicykloidě. Oba poslední profily mají nejčastější použití. Všechny uvedené modifikace vykazují při chodu změnu převodového poměru. Na počátku záběru je převodový poměr i_p větší než převodový poměr na konci záběru i_k . Rozdíl $\Delta i = i_p - i_k$ je dále ovlivněn nedodržením meziosové vzdálenosti. Tento nedostatek vylučuje proto použití těchto profilů pro ta časoměrná zařízení, kde se má vytvářet časová osa, jak je tomu např. u posuvu registračního papíru pro zápis veličin v závislosti na čase.



Obr. 9.100

Moduly cykloidového hodinářského ozubení se pohybují od 0,0700 do 1 mm. Kroky po nichž se modul mění jsou tyto:

od 0,0700 do 0,100 je krok 0,0025 mm
0,100 do 0,200 0,0050 mm
0,200 do 0,300 0,0100 mm
0,300 do 0,500 po 0,020; a konečně
0,500 do 1,000 je krok roven 0,050.

Přednostně se má používat těchto modulů: 0,0800; 0,1000; 0,120; 0,200; 0,250; 0,320; 0,400; 0,500; 0,550; 0,600; 0,800; 1,000

a kola (obr. 9.100) udávají tab. na obr. 9.101 a 9.102. (Údaje převzaty ze švýcarské normy NHS list 56701 a list 56702).

Rozměrové výpočty pastorku (obr. 9.99)

PASTOREK

Modul	$m = 0,08 + 1$		Hlavová vůle		$c_a = 0,4 m$
Průměr roztečné kružnice	$d = mz$		Výška paty		$h_f = h_{a2} + c_a$
Průměr hlavové kružnice	$D = d + 2 h_a$		Průměr patní kružnice		$d_f = d - 2 h_f$
Počet zubů z	6 + 10		11 + 16		
Tloušťka zubů s_z	1,05 m = 1/3.t		1,25 m = 2/5.t		
Boční vůle	0,52 m = 1/6.t		0,32 m = 1/10.t		
Profil	z	h_a	r_1	h_a	r_1
A	(10 + 16)	0,525 m	0,525 m	0,625 m	0,625 m
B	8 + 16	0,67 m	0,70 m	0,805 m	0,833 m
C	6 + 7	0,855 m	1,05 m	1,05 m	1,25 m

U hnaného pastorku profilu C je tloušťka zubu $s_z = 1,25 m$

Průměry patní kružnice hnaného pastorku pro $m = 1$

z	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
d_f/m	2,56	3,36	4,20	5,08	5,96	6,84	7,72	8,60	9,52	10,44	11,36

h_{a2} = výška hlavy zubu protikola

Obr. 9. 101

C é v o v é o z u b e n í je speciálním případem cykloidního ozubení, které dostaneme, když poloměr tvořící kružnice položíme $\rho_1 = R_1$ resp. $\rho_2 = R_2$ podle

toho, na kterém kole nebo ozubené tyči chceme vytvořit t.zv. cévy. U kola s cévami se epicykloida redukuje na bod t.j. na střed čepu. Ve skutečnosti zub kola nemůže být tvořen bodem a proto se nahrazuje čepem, válečkem - cévou. Tato představa je ekvidistantu bodu. Zub protikola se vytvoří odvalováním tvořící kružnice vně jeho roztečné kružnice t.j. epicykloidou. Aby byl však možný záběr s cévou musí být epicykloida zredukována na ekvidistantu, s ekvidistanční vzdáleností, odpovídající poloměru cévy. Průměr cévy se rovná přibližně polovině rozteče zubů t.j.

$$d' = 0,4 t.$$

Patá zubu protikola má tvar kružnice o poloměru rovném polovině průměru cévy, nebo může být vytvarována radiálními přímkami. Cévoové ozubení je znázorněno na obr. 9.103 a rozměry se vypočítají podle údajů v tab. obr. 9.104.

KOLO

Modul	$m = 0,08 + 1$	Převod	$i = 5 + 10$
Průměr roztečné kružnice	$D = mz$	Tloušťka zubu	$s_z = 1,57 m$
Průměr hlavové kružnice	$D_a = mz + 2 h_a$	Výška paty	$h_f = 1,57 m$
Průměr patní kružnice	$D = mz - 2 h_f$	poloměr zakřivení zubu	$r_1 = 1,4 h_a$

Výška hlavy zubu hnacího kola										
I. jakost	z_1^*	6	7	8	9	10	12	14	15	16
	h_a/m	1,35	1,43	1,50	1,57	1,64	1,76	1,87	1,92	1,96

II. jakost	Je-li u zabírajícího kola $z_1 = 6 + 9$, výška hlavy $h_a = 1,35 m$ Je-li u zabírajícího kola $z_1 = 10 + 16$, výška hlavy $h_a = 1,57 m$									
------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

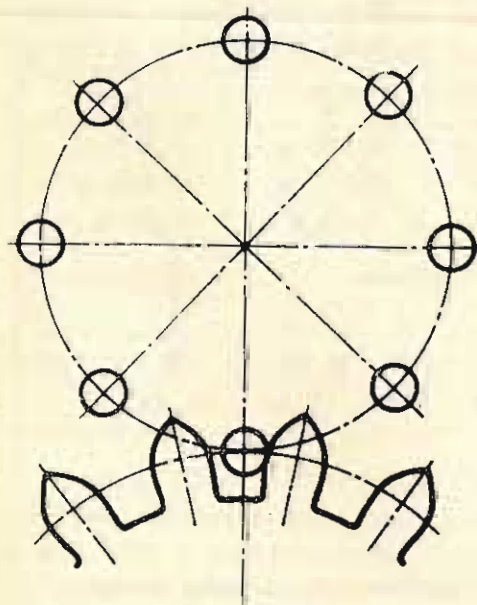
III. jakost	Je-li u zabírajícího kola $z_1 = 6 + 16$, výška hlavy $h_a = 1,35 m$									
-------------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

z_1^* je počet zubů vyrobených přímo na hřídelíku.

Výška hlavy zubu hnacího kola $h_a = 1,35 m$.

Hřídele s ozubením a čepy se vyrábějí v jakosti I. nebo II.

Obr. 9.102



Obr. 9.103

	Pastorek	Kolo
Počet zubu	$z_1 \geq 6$	z_2
Modul	m	m
Rozteč	πm	πm
ϕ roztečné kružnice	$D_1 = mz_1$	$D_2 = mz_2$
ϕ hlavové kružnice	$D_a = D + d'$	$D_{a2} = D_2 + 2 h_{a2}$
ϕ patní kružnice	-	$D_{f2} = D_2 - 2 h_{f2}$
Výška hlavy zubu	$h_{a1} = d'/2$	$h_{a2} = 1,35 m$
Výška paty zubu	$h_{f1} = d'/2$	$h_{f2} = 1,45 m$
Výška zubu	$h = d'$	$h_2 = 2,8 m$
Tloušťka zubu	$s_{z1} = 1,047 + 1,351 m$	$s_2 = \frac{t}{2} = 1,57 m$
Boční vůle	$C = 1,57 m - d = (0,523 + 0,219)m$	

Obr. 9.104

Ozubený hřeben cévoový je tvořen válečky - cévami do něhož zabírá ozubené cykloidní kolo se zuby tvořenými ekvidistanční křivkou. Cévoové ozubení vykazuje velké skluzu, které se dají zmírnit uložením válečků v kluzných či valivých ložiskách.

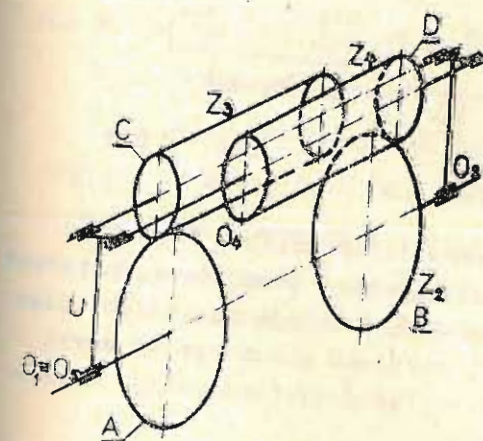
Větší tření, boční vůle a i opotřebení omezují použití hřebenového cévoového ozubení na přenos malých sil, pro prašné prostředí a pro levnou výrobu ozubených soukolí.

9.2.3. D i f e r e n c i á l y

Diferenciály jsou ozubená soukolí určená pro algebraický součet dvou či více na sobě nezávislých pohybů. Na rozdíl od planetového soukolí, o němž bylo pojednáno v předmětu části strojů, není u diferenciálů pevných kol. Každé kolo koná rotační pohyb kolem vlastní osy a satelitní kola konají navíc ještě rotační pohyb kolem centrálních kol. Tento unášivý pohyb je uskutečněn unašečem, v němž jsou rotačně uložena satelitní kola. Diferenciály používáme buď k vyrovnávání různých rychlostí otáčení hnacích kol, k vytváření převodů s velkým převodovým poměrem a ke sčítání velkých hodnot s danou přesností. V přesné mechanice se užívá hlavně posledních dvou případů. Přesnost sčítání je závislá na výrobě a na velikosti bočních vůlí spoluzabírajících ozubených kol.

Diferenciály můžeme sestavit pomocí ozubených kol čelních, kol kuželových a šnekových a ozubených hřebenů (lineárních kol).

9.2.3.1. Diferenciály s čelními ozubenými koly



Obr. 9.105

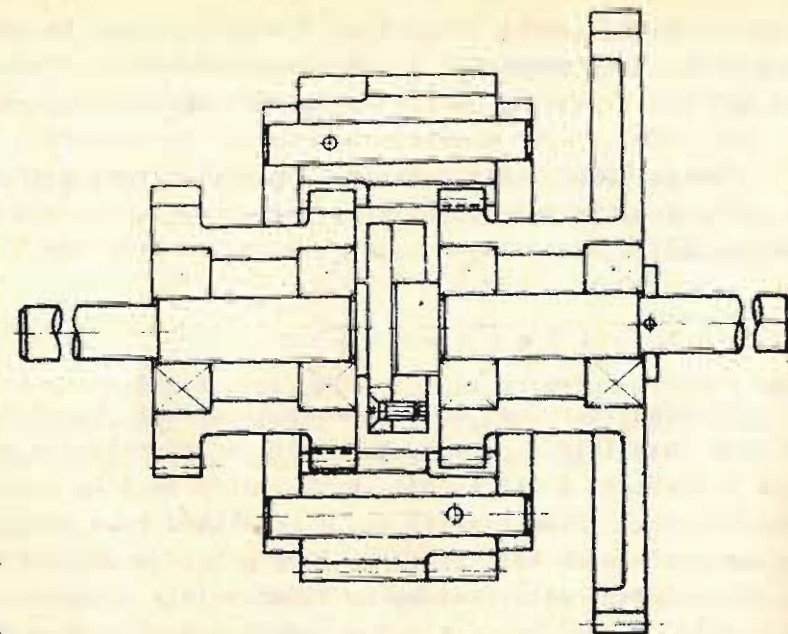
Schematicky je diferenciál s čelními koly znázorněn na obr. 9.105, kde kola A, B představují centrální kola, rotující kolem os O_1, O_2 , kola C, D satelity, otáčející se kolem os O_3, O_4 . U, unašeč rotující kolem osy $O_5 \equiv O_1 \equiv O_2$. Centrální kola jsou uložena na hřídelích O_1, O_2 , při čemž kolo A zabírá s kolem C, kolo B s kolem D. Satelity CD pak zabírají do sebe a jsou volně otočně uložena v unašeči U. Reálné provedení (obr. 9.106) používá více satelitů pro vyvážení soustavy.

Máme-li nyní pomocí diferenciálu sčítat algebraicky pohyby, pak mohou nastat tyto tři variace řešení sumace, a to:

- pohyby se přivádějí na kola A a B - výsledný pohyb se snímá z unašeče U.
- pohyby se přivádějí na kolo B a unašeč U - výsledný pohyb se snímá z kola A
- pohyby se přivádějí na kola A a unašeč U - výsledný pohyb se snímá z kola B.

Pro vyhodnocení sumace pohybů, je nutno u diferenciálu stanovit převodový poměr mezi jednotlivými členy a předem stanovit, který z členů je hnací a který je hnáný. Toto je důležité pro ty případy, kdy převodový poměr mezi členy není roven 1. Z kinematického hlediska se vlastně u diferenciálů jedná o tři druhy

pohybů, a to o pohyb absolutní, relativní a unášivý. Pohyby absolutní jsou přiváděny na hnací člena z vnějšku. Relativní pohyby vykonávají satelity vůči centrálním kolům - jsou to rotace satelitů kolem vlastních os. Tyto relativní pohyby musí být stejné, jinak by mohlo dojít k prokluzům, které však zuby v záběru nedovolí a tím dojde k blokování mechanismu. Unášivý pohyb vykonává unašeč, který rotuje kolem os centrálních kol, t.zv. unášivou rychlostí. Vzájemný vztah mezi uvedenými pohyby si vyjádříme pomocí vektorů úhlových rychlostí.



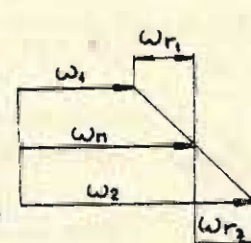
Obr. 9.106

Nechť ω_1 a ω_2 jsou absolutní úhlové rychlosti kol A a B a nechtě smysly rotace jsou stejné (obr. 9.107), pak při požadavku stejné relativní rychlosti satelitů vůči kolům $\omega_{r1} = \omega_{r2}$ musí platit

$$\omega_u = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$

Tento vztah platí, i když smysly rotace obou kol jsou rozdílné. Smysl unášivé rychlosti je určen smyslem větší hodnoty absolutní rychlosti. Uvedený vztah přepíšeme na tvar

$$\omega_1 + \omega_2 - 2\omega_u = 0$$



Obr. 9.107

Vztah (9,27) je základem pro určení převodového poměru diferenciálu. Převodový poměr se však mění podle toho, které členy jsou hnací a které jsou hnané, při čemž se musí uvážit i smysl rotačních pohybů. Smysl rotace se označuje znaménkem plus nebo minus. Znaménko plus označuje souhlasný smysl, znaménko minus opačný smysl rotace vzhledem k přiváděným absolutním pohybům. Pro převodový poměr mezi jednotlivými členy diferenciálu dostaneme upravený vztah

$$i_k = \frac{\omega_1 - \omega_u}{\omega_2 - \omega_u} \quad (9.28)$$

$$\text{resp. } \omega_1 + i_k \omega_2 - \omega_u (i_k + 1) = 0 \quad (9.29)$$

kde i_k je převodový poměr mezi členem 1 a k-tým členem při nepohyblivém unašeči. Za člen 1, 2 můžeme dosadit libovolný člen, na který se přivádí hlavní (absolutní) pohyb s uvážením jeho smyslu. Pro praktické účely je vhodné převodové poměry mezi jednotlivými členy uvést do tabulky. Tak pro znázorněné schéma, kde kola A a B mají stejný počet zubů $z_1 = z_2$ a satelity mají počty zubů $z_3 = z_4 = z_1/2$.

hnané hnací	A	B	U
A		-1	2
B	-1		2
U	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	

Obr. 9.109

je tabulka převodů na obr. 9.109. Pro složitější schéma s rozdílnými počty zubů na centrálních a satelitních kolech (obr. 9.110) je

$$i_k = \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3}$$

a vztah mezi úhlovými rychlostmi přijme tvar

$$\omega_1 + \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3} \omega_2 - \omega_u \left(1 + \frac{z_2 z_4}{z_1 z_3} \right) = 0$$

Podle tohoto vztahu byla vypracována příslušná tabulka převodových poměrů. Vstupní (hnací) krouticí moment se určuje z výstupního (hnaného) momentu. Příslušný vztah udává rovnice

$$M_1 = \frac{M_2}{\eta_{dif}} i_{dif} + M_T \quad [N \cdot mm] \quad (9.30)$$

kde M_1 je vstupní (hnací) moment $[N \cdot mm]$

M_2 je výstupní (hnaný) moment $[N \cdot mm]$

i_{dif} je převodový poměr mezi členy diferenciálu

η_{dif} je mechanická účinnost

M_T je třecí moment v ložiskách $[N \cdot mm]$.

Mechanická účinnost diferenciálu je závislá na způsobu předávání momentů a určuje se pro jednoduchý diferenciál čelní ze vztahů:

$$\begin{aligned} i_{dif} = \frac{1}{2} & \quad \eta_{dif} = \frac{1}{2} (1 + \eta_1^2 \cdot \eta_2) \\ i_{dif} = 1 & \quad \eta_{dif} = \eta_1^2 \cdot \eta_2 \\ i_{dif} = 2 & \quad \eta_{dif} = \frac{2}{1 + \frac{1}{\eta_1^2 \cdot \eta_2}} \end{aligned} \quad (9.31)$$

kde η_1 je mechanická účinnost centrální kolo - satelit

η_2 je mechanická účinnost satelit - satelit.

Obvodová síla působící na satelit

$$F = \frac{M_2}{D}$$

$$(9.32)$$

kde D je průměr centrálního kola. Při více satelitech se obvodová síla rovnoměrně rozloží na ně a je závislá na příslušných převodových poměrech, při čemž pro $i_{dif} = 1$ a 2 platí vztah (9.32) a pro $i_{dif} = 1/2$ je

$$F = \frac{M_2}{2D}$$

Třecí moment závisí na druhu použitých ložisek. Při přenosu malých kroutících momentů M_2 se hodnoty střední účinnosti pohybují v mezích:

$$\text{pro } M_2 = 2 + 10 \text{ N mm} \quad \eta = 0,08 + 0,3$$

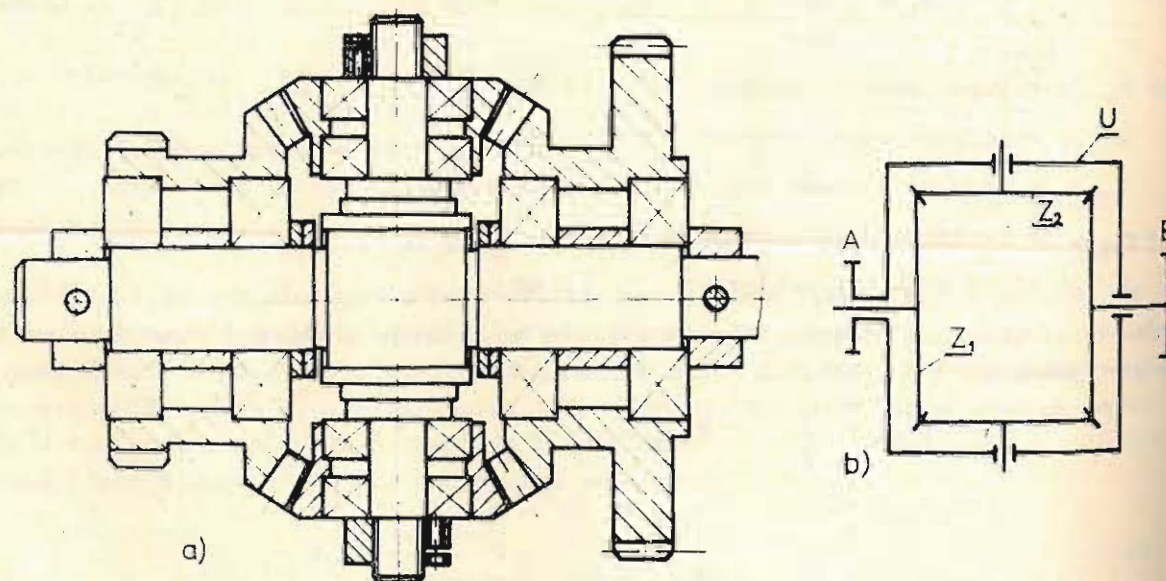
$$\text{pro } M_2 = 12 + 35 \text{ N mm} \quad \eta = 0,33 + 0,57$$

$$\text{pro } M_2 = 50 + 150 \text{ N mm} \quad \eta = 0,65 + 0,78$$

Při použití více satelitů je nutno zkontrolovat návrh diferenciálu i z hlediska smontovatelnosti, analogicky jako u planetových soukolí.

9.2.3.2. Diferenciály s kuželovými ozubenými koly

Kuželový diferenciál (obr. 9.111a) je sestaven z kuželových kol, a to ze dvou centrálních kol 1, 2 volně se otáčejících na hřídeli 3 a z jednoho nebo dvou satelitů 4, rotujících na ose 5, pevně spojené s hřídelem 3. Osa 5 tvoří současně unašeč. Příslušné schéma je znázorněno na obr. 9.111 b. Kuželové diferenciály jsou kompaktnější než diferenciál čelní a proto se jim dává přednost. Pro docílení lehkého chodu, musí být diferenciál konstrukčně řešen tak, aby se umožnila vzájemná stavitelnost kol vůči sobě; k tomu používáme stavěcích kroužků a matic.



Obr. 9.111

Kinematické vazby u kuželového diferenciálu jsou dány vztahem:

$$\omega_1 + \frac{z_2}{z_1} \omega_2 - \left(1 + \frac{z_2}{z_1}\right) \omega_u = 0 \quad (9.33)$$

Obvykle se volí $z_1 = z_2$ a pak platí

$$\omega_1 + \omega_2 - 2\omega_u = 0 \quad (9.33a)$$

Z (9.33a) vyplývá, že:

a) při nepohyblivém satelitu je převodový poměr

$$i_{A \rightarrow B} = -1 \quad \text{resp.} \quad i_{B \rightarrow A} = -1$$

b) při nepohyblivém jednom centrálním kole (A nebo B) se rotace předává satelitům a převodový poměr

$$i_{U \rightarrow A} = 2 \quad \text{nebo} \quad i_{U \rightarrow B} = 2$$

Při záměně hnacích a hnaných kol, nabývá převodový poměr převratné hodnoty. Tabulárně uspořádané hodnoty převodových poměrů udává tab. (obr. 9.112).

hnací \ hnané	A	B	U
A		-1	2
B	-1		2
U	1/2	1/2	

Obr. 9.112

Pro hnací moment platí:

$$u \quad i_{dif} = 2$$

$$M_1 = (M_2 + 2M_{L1}) \left(1 + \frac{1}{\eta_1 \eta_2}\right) + 4M_{L2} \frac{z_1}{z_2 \eta_2} + 2M_{L3}$$

$$\text{pro } i_{dif} = 1$$

$$M_1 = (M_2 + 2M_{L1}) \frac{1}{\eta_1 \eta_2} + 4M_{L2} \frac{z_1}{z_2 \eta_2} + 2M_{L3} \quad (9.34)$$

$$\text{pro } i_{dif} = 1/2$$

$$M_1 = (M_2 + 2M_{L1}) \left(\frac{1}{1 + \eta_1 \eta_2}\right) + 4M_{L2} \frac{z_1}{z_2 \eta_2} + 2M_{L3}$$

kde M_1 a M_2 jsou hnací a hnaný moment

[N mm]

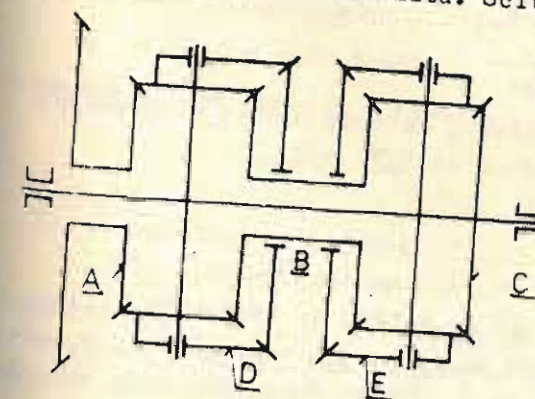
M_{L1} , M_{L2} , M_{L3} jsou třecí momenty valivých ložisek v hnací a v hnané větvi a v uložení satelitů

[N mm]

η_1 , η_2 jsou účinnosti centrální kolo - satelit, hnací a hnané části.

z_1 , z_2 jsou počty zubů centrálního kola a satelitu.

Kuželové diferenciály lze řadit za sebou (do série) a tím zvyšovat počet sčítacích operací. Schéma zdvojeného kuželového diferenciálu ukazuje obr. 9.113 spolu s příslušnou tabulkou převodů. Uvedeným diferenciálem můžeme přenášet pohyb z centrálního kola B současně na centrální kola A a C a na kola D a E uchycené na ose satelitů. Sčítání pohybů lze provést třemi způsoby:



Obr. 9.113

hnací \ hnané	A	B	C	D	E
A		-1	1	2	2
B	-1		-1	2	2
C	1	-1		-2	-2
D	1/2	1/2	1/2		1
E	1/2	1/2	1/2	1	

- a) výsledný pohyb na kole A dostaneme jako součet pohybů kol B a D
b) výsledný pohyb na kole C je součtem pohybů kol B a E
c) výsledný pohyb na kolech D a E je dán současným pohybem kol A, B, C.

Trojité kuželový diferenciál znázorněný na obr. 9.114 může provádět tyto součty pohybů :

na ose 1 :

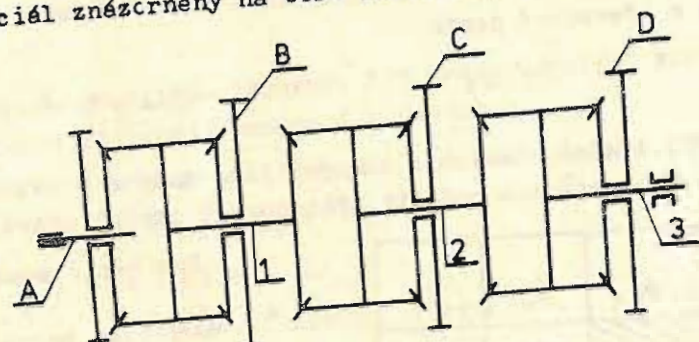
$$\text{součet } \frac{A \pm B}{2}$$

na ose 2 :

$$\text{součet } \frac{A \pm B}{2} \pm \frac{C}{2}$$

na ose 3 :

$$\text{součet } \frac{A \pm B}{2} \pm \frac{C}{2} \pm \frac{D}{2}$$



Obr. 9.114

Uspořádání sériových vazeb může mít i jiné variace než byly uvedeny. Diferenciálů lze využít i pro redukci otáček t.j. pro získání převodů s velkým převodovým poměrem. Takový reduktor je znázorněn na obr. 9.115. Když si zvolíme počty zubů na kolech tak, aby

$$z_1 = z_7 = 37; \quad z_3 = z_9 = 46;$$

$$z_2 = z_8 = 100; \quad z_4 = z_{10} = 125;$$

$z_5 = z_6 = 50$ pak převodový poměr mezi hřídeli 1, 2 a 3 bude :

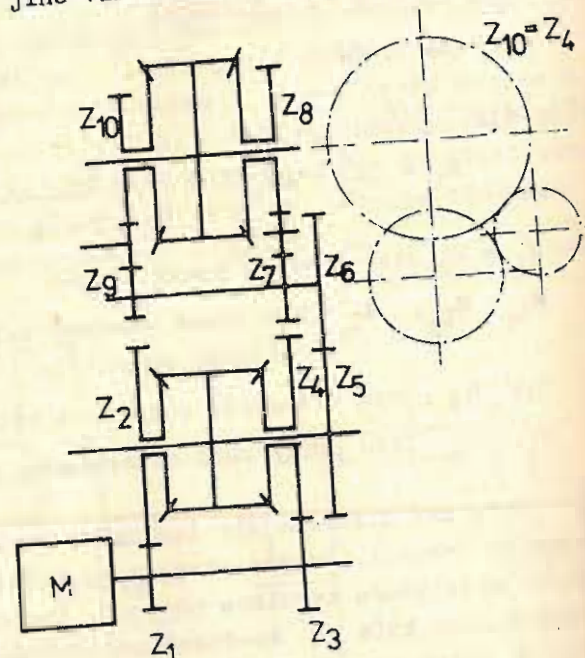
$$i_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{z_1}{z_2} - \frac{z_3}{z_4} \right) i_{\text{dif}} =$$

$$= \left(\frac{37}{100} - \frac{46}{125} \right) \cdot \frac{1}{2} = -\frac{1}{1000}$$

$$i_{31} = \frac{n_3}{n_1} = \left(\frac{z_7}{z_8} - \frac{z_9}{z_{10}} \right) i_{21} \cdot i_{\text{dif}} =$$

$$= \left(\frac{37}{100} - \frac{46}{125} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1000} = -\frac{1}{1\,000\,000}$$

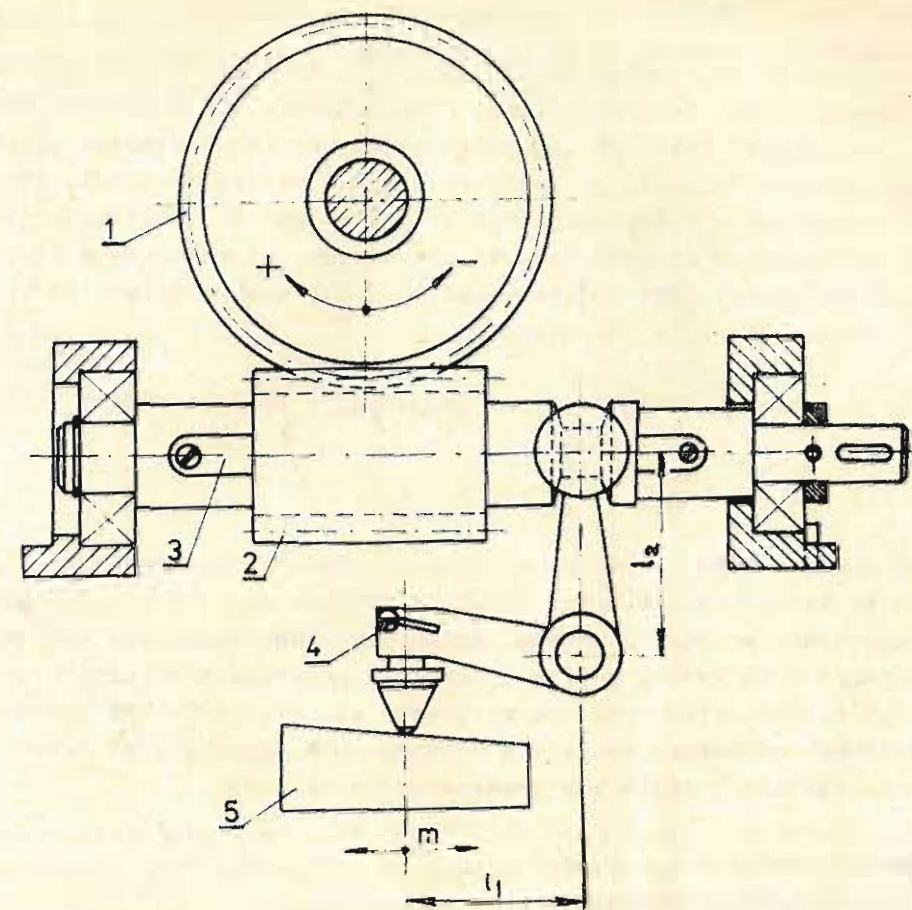
Bude-li mít hřídel 1 např. 50 ot. s^{-1} , pak hřídel 3 se bude otáčet s frekvencí $5 \cdot 10^{-5} \text{ ot. s}^{-1}$, t.j. že hřídel 3 se otočí jednou za 5,55 hod.



Obr. 9.115

9.2.3.3. Šnekové diferenciální soukolí

Šnekové diferenciální soukolí (obr. 9.116) se skládá ze šnekového kola 1, šneku 2 posuvně uloženého na hřídeli a vedeného perem 3, pákového převodu 4, mechanicky vázaného na rovinnou vačku 5 (konoid ap.). Hřídel šnekového kola vykonává v podstatě dvojitý pohyb, a to vlastní rotaci, přijatou ze šneku a natáčení, vyvolané posuvným pohybem šneku z rovinné vačky přes pákový převod. Výsledný pohyb



Obr. 9.116

je tudíž dán algebraickým součtem uvedených pohybů.

Celkový úhel natočení šnekového hřídele se určí ze vztahu :

$$\varphi = \frac{2\pi}{z_2} \left(\pm n \cdot z_1 \pm \frac{u}{t} \right), \quad [\text{rad}] \quad (9.35)$$

kde z_1 je počet chodů šneku

z_2 je počet zubů šnekového kola

n je frekvence otáčení [ot. s^{-1}]

u je přemístění středu O podél osy šneku [mm]

t je rozteč zubů šneku. [mm]

Přemístění u se vypočte z rovnice

$$u = v \frac{l_2}{l_1} \quad [\text{mm}] \quad (9.36)$$

kde v je výchylka vodítka. [mm]

l_1, l_2 jsou délky ramen pák. [mm]

Znaménka plus n, u, z_1 ve vztahu (9.35) platí pro pravochodý šnek při jeho rotaci ve směru proti pohybu hodinových ručiček resp. pro levochodý šnek při jeho rotaci ve směru hodinových ručiček. Znaménko minus odpovídá pravochodému šneku při jeho rotaci ve směru chodu a levochodému šneku při jeho rotaci proti směru chodu hodinových ručiček. Znaménko plus u u u/t odpovídá otáčení klouzátko proti směru chodu hodinových ručiček.

9.2.3.4. Planetová soukolí

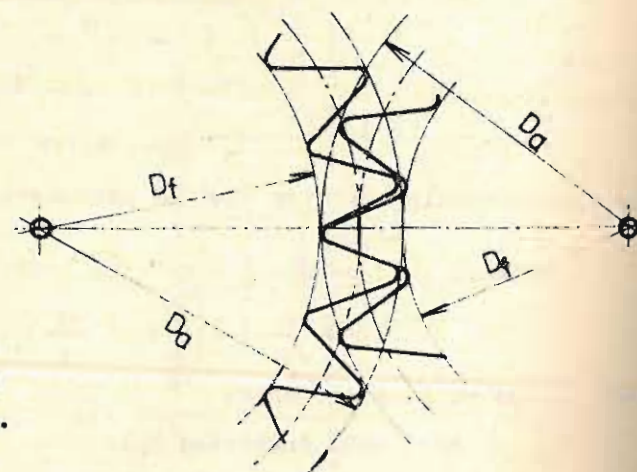
Planetové soukolí je speciálním případem diferenciálů, které vznikne tak, že jedno z centrálních kol pevně uchytíme. Pohyb snímáme buď z unašeče nebo z druhého otočného centrálního kola. Je-li unašeč pevně uchycen dostaneme normální převod. Výhodou planetového soukolí je souosost hřídelů centrálních kol, docílení velkého převodového poměru při poměrně vysoké mechanické účinnosti. Z uvedených důvodů nahrazují planetová soukolí šnekové převodovky. Kinematické a silové poměry se vyšetřují analogicky jako u diferenciálů, jen s tím rozdílem, že úhlová rychlost pevně uchyceného kola je nulová.

Konstrukční řešení se řídí zásadami uvedenými v předmětu části strojí.

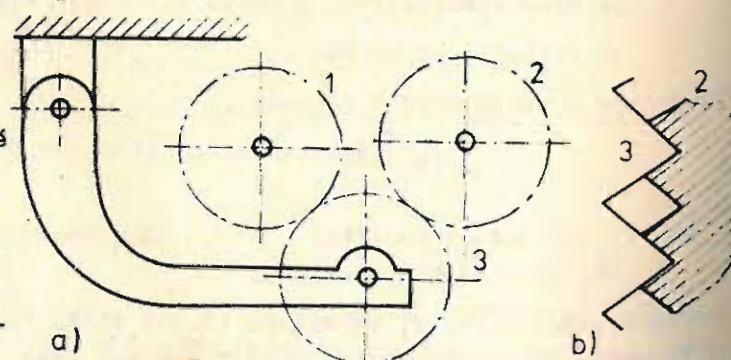
9.2.4. Speciální soukolí

V přesné mechanice se setkáváme s různými požadavky na přenos vázaného rotačního pohybu na krátké vzdálenosti. Jedná se např. o omezený rotační pohyb, o vyvození přerušovaného rotačního pohybu, změnu plynulého rotačního pohybu na přímočarý vratný pohyb a na kývavý pohyb, o okamžité zařazení a vypnutí převodu, o periodický pohyb s proměnlivou úhlovou rychlostí ap. Tyto zvláštní požadavky ovlivňují konstrukci ozubených soukolí a i tvary zubů. Konstrukční řešení těchto soukolí má mnoho variant a proto zde uvedeme pouze některá.

Pro okamžité zapínání a vypínání převodu v přístrojích jako např. u mechanických stopek, chronometrických otáčkoměrů užíváme zahrocených zubů, tvarovaných podle obr. 9.117. Zahrocené zuby zaručují okamžitý záběr. Aby nedošlo k velké chybě vlivem spínání a vypínání, musí být rozteč zubů velmi malá. Při velkém počtu zubů přichází do záběru větší počet párů zubů a proto se nevyžaduje příliš velká přesnost výroby. Zmenšená přesnost nemá vliv na funkci. Princip činnosti stopek je znázorněn na obr. 9.118a. Kolečko 1 zabírá stále s kolečkem 3. Stisknutím ovládacího knoflíku se páka 4 vychýlí a zatlačí kolečko 3 do záběru s kolečkem 2, které je stejně velké jako kolečko 1. S kolečkem 1 je spojena velká vteřinová ručka a s kolečkem 2 malá ručka. Kolečko 1 a 3 mohou mít i dvakrát větší rozteč než kolečko 2, jak je znázorněno na detailu b.



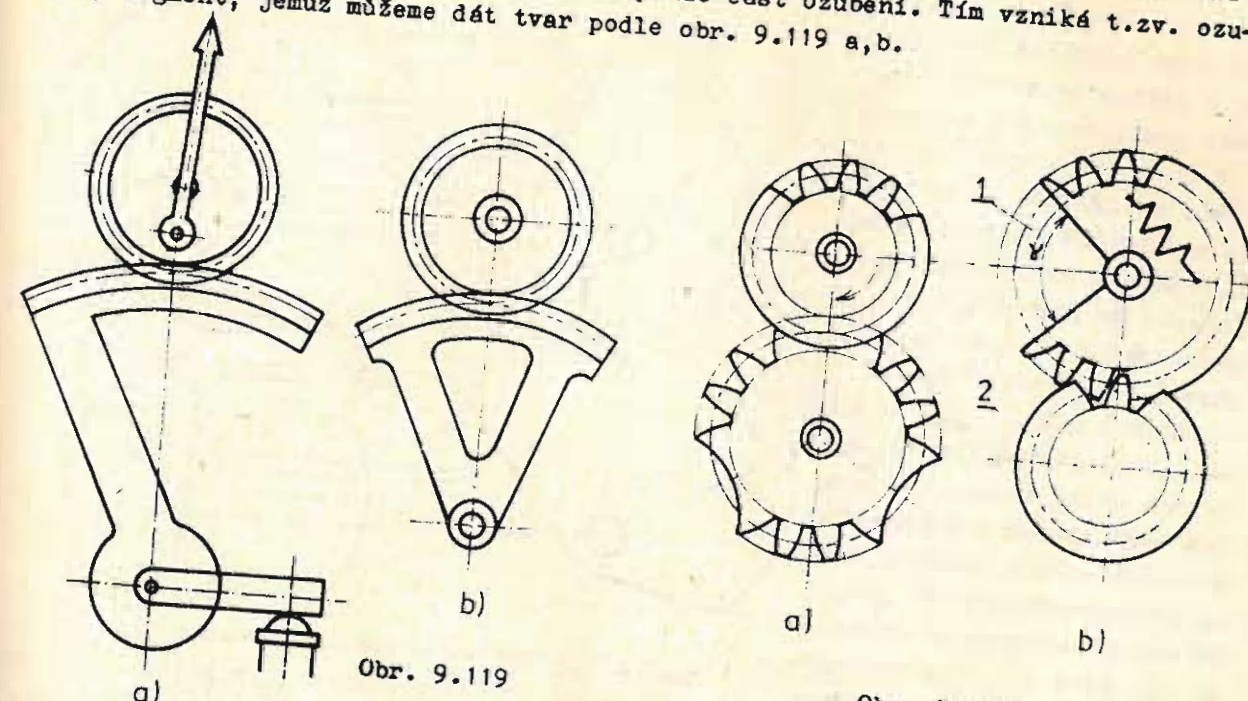
Obr. 9.117



Obr. 9.118

Pro úhlově omezený pohyb, jak je tomu např. u převodů deformačních manometrů

pro zvětšení a převedení výchylky deformačního orgánu, není třeba používat normálního ozubeného kolečka, ale postačí pouze část ozubení. Tím vzniká t.zv. ozubený segment, jemuž můžeme dát tvar podle obr. 9.119 a, b.

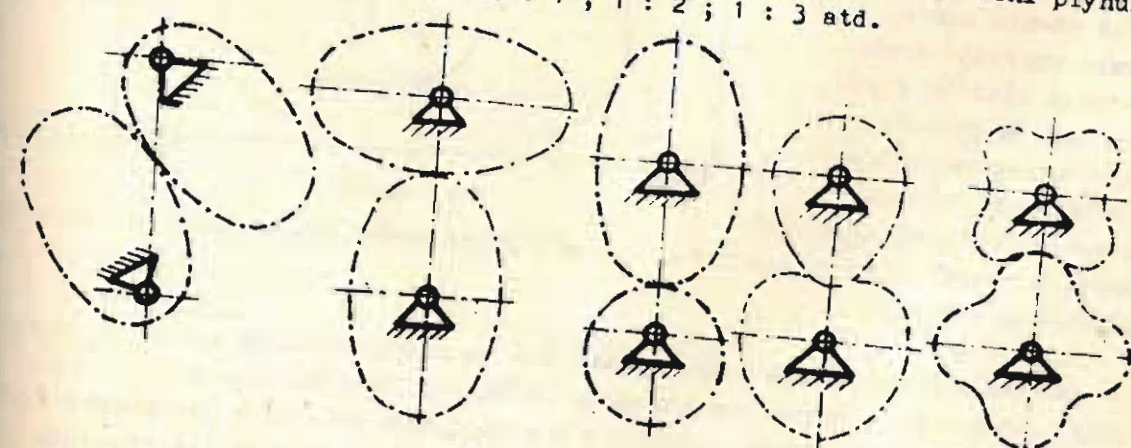


Obr. 9.119

Obr. 9.120

Pro docílení periodicky přerušovaného rotačního pohybu, lze použít ozubených kol s omezeným počtem zubů na obvodě. Příslušné mechanismy jsou znázorněny na obr. 9.120. U provedení a a i b konají hnací kola 1 plynulý rotační pohyb. Ozubená kola 2 konají přerušovaný pohyb. Aby nedošlo ke zlomům zubů při záběru, musí se zabránit vzájemná poloha hnacího a hnaného kola. U provedení a je hnací kolo v době přerušování pohybu vedeno válcovým vybráním v kole 2. Provedení b užívá volně protáčivého hnacího sektorového kola, uloženého na hnacím hřídeli. Když hnané kolo přijde do záběru s pohyblivým sektorem, nebude se hnaný hřídel otáčet, pokud se hnací hřídel nepootočí o úhel α .

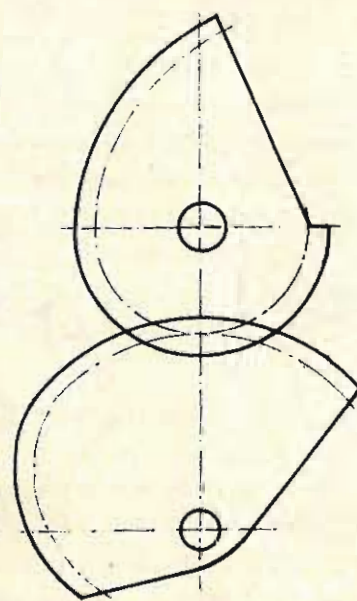
Chceme-li získat převody s cyklicky se měnící úhlovou rychlostí, t.j. proměnlivého převodu během jedné otáčky, používáme soukolí s nekrouhlými ozubenými koly. Nekrouhlá ozubená kola mohou mít eliptické, oválné resp. i jiné tvary. Osová vzdálenost mezi koly zůstává konstantní. Převodový poměr se mění plynule kolem střední hodnoty, která bývá 1 : 1 ; 1 : 2 ; 1 : 3 atd.



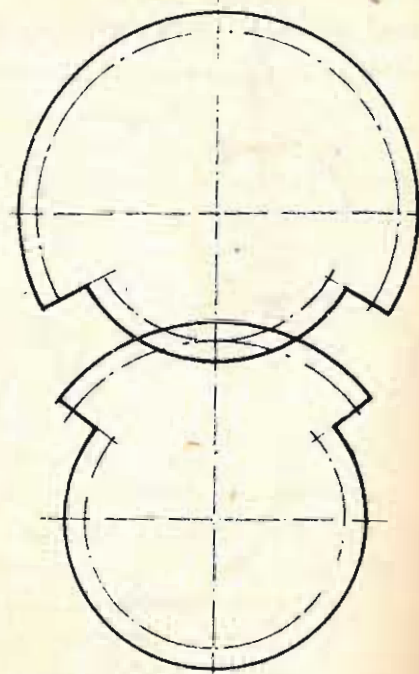
Obr. 9.121

Schematicky jsou převody s neokrouhlými kotouči znázorněny na obr. 9.121.

Pro plynulou změnu vázaného úhlového natočení dvou hřídelů můžeme použít otevřených profilovaných kol např. s Archimedovou spirálou (obr. 9.122). Na jedné straně neokrouhlé kotouče usnadňují konstrukční řešení požadavku na plynulou změnu převodového poměru, na druhé straně však výroba těchto ozubených kol je obtížná a také méně přesná. Proto je jejich užití vhodné jen tam, kde není kladen požadavek na dodržení přesné hodnoty změny převodového poměru resp. na změnu úhlových natočení. Mechanismus pro skokovou změnu převodového poměru ozubenými koly je na obr. 9.123.



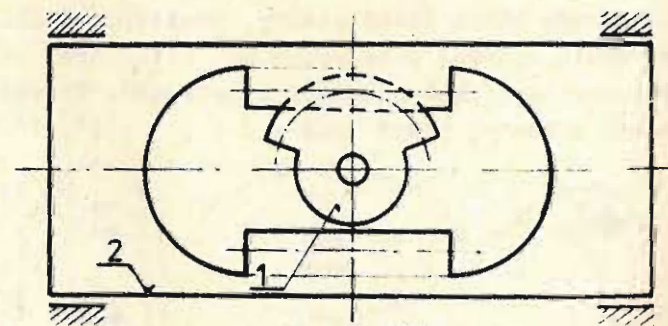
Obr. 9.122



Obr. 9.123

Pro plynulou změnu rotačního pohybu na pohyb posuvný s reverzací používáme ozubených hřebemí ve spojení s hnacím pastorkem. Tohoto soukolí můžeme použít i pro opačnou funkci t.j. pro změnu pohybu posuvného na pohyb rotační.

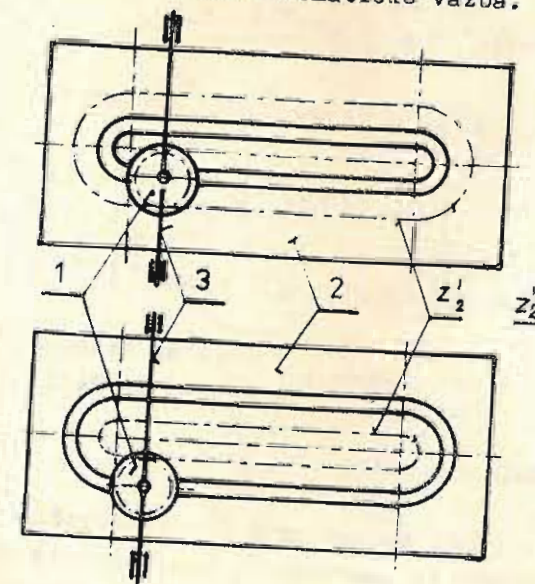
Přeměnu rotačního pohybu na pohyb přímočarý vratný, při stálém zachování smyslu otáčení hnacího ozubeného kola můžeme docílit dvěma způsoby, a to : buď se stálou polohou osy rotace hnacího hřídele nebo se změnou polohy hnacího kola. Konstrukční řešení podle prvního způsobu lze uskutečnit ozubeným hřebenem zabírajícím do ozubeného kola s částečným ozubením. Uvedený mechanismus je znázorněn na obr. 9.124. Výškový rozměr mechanismu je ovlivněn požadovanou délkou posuvného pohybu, který udává průměr roztečné kružnice hnacího kola. V místě obratu pohybu musí mít smykadlo kruhové vybrání většího poloměru, než je poloměr hlavové kružnice pastorku. Počet zubů hřebene musí být ve vzájemné souvislosti s počtem zubů na pastorku, aby při změně směru pohybu smykadla nedošlo ke vzpříčení zubů.



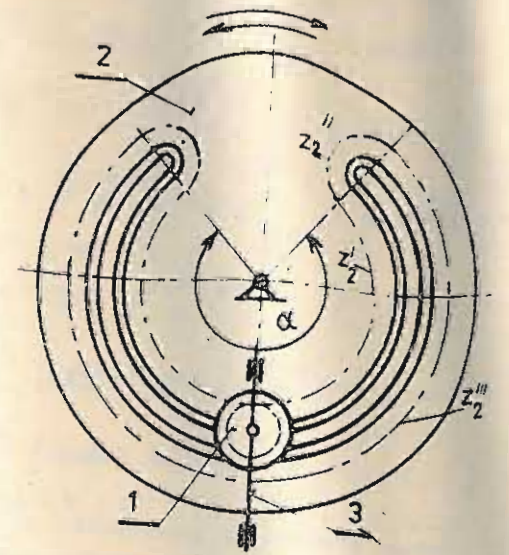
Obr. 9.124

Mechanismus pro změnu pohybu rotačního na pohyb postupný vratný s prodlevou na konci zdvihu lze provést pomocí změny polohy hřídele hnacího kola. Schéma uvedeného mechanismu s ozubením vnitřním a s ozubením vnějším b je na obr. 9.125. Pastorek 1, rotující s konstantní úhlovou rychlostí, je umístěn na posuvném

hřídeli 3, který je kolmý na vodící plochy smykadla. Mezi hnacím členem 1 a smykadlem 2 je tuhá kinematická vazba.



Obr. 9.125



Obr. 9.126

Tato vazba je tvořena drážkou ve smykadle, v níž běhá váleček spojený s nábojem pastorku. Vazba si vynucuje postupný pohyb hřídele s pastorkem. Tento pohyb v úvratích je kolmý na pohyb smykadla 2. Ozubení na členu 2 může být sestaveno z jednotlivých dílců, které usnadňují výrobu. Znázorněný mechanismus zaručuje rovnoměrný pohyb přímočarý v obou směrech s konstantní rychlostí na středním úseku.

Dobu pro oboustranný pohyb členu 2 získáme ze vztahu :

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} \cdot \left(\frac{z_2}{z_1} + 1 \right) \quad [s] \quad (9.37)$$

kde ω_1 je úhlová rychlost pastorku $[s^{-1}]$, z_1 počet zubů pastorku, z_2 celkový počet zubů na smykadle. Znaménko plus platí pro vnitřní, znaménko minus pro vnější ozubení.

Pro rovnoměrný pohyb platí tyto výrazy :

$$s_1 = \pi m z_2' \quad [mm]$$

doba pohybu

$$T' = \frac{2\pi}{\omega_1} \cdot \frac{z_2'}{z_1} \quad [s] \quad (9.38)$$

rychlost pohybu

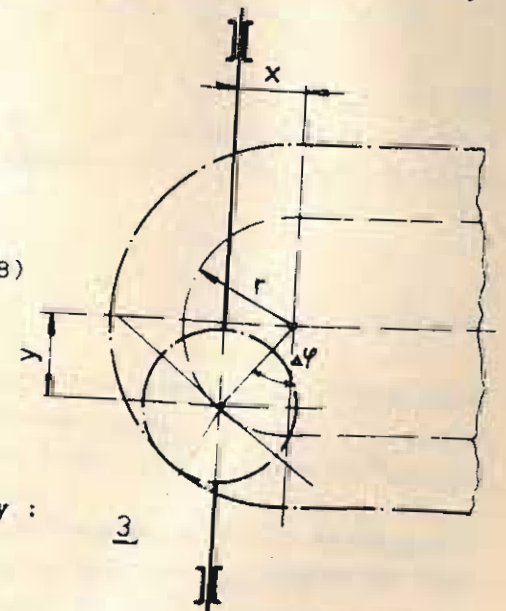
$$v = \frac{\omega_1 \cdot m \cdot z_1}{2} \quad ; \quad [mm \cdot s^{-1}]$$

kde m je modul ozubení.

Pro reverzační úsek (obr. 6.127) dostaneme vztahy :

$$s_2 = r \quad [mm]$$

$$s_3 = 2r \quad [mm]$$



Obr. 9.127

$$\begin{aligned}
\text{reverzační doba} \quad T_2 &= \frac{2\pi r}{\omega_1 r_1} \quad [s] \\
\text{rychlost členu 2} \quad v_2 &= k_1 \omega_1 r \cos \varphi = k_1 \omega_1 \sqrt{r^2 - x^2} \quad [\text{mms}^{-1}] \\
\text{zrychlení členu 2} \quad a_2 &= -k_1^2 \omega_1^2 r \sin \varphi = -k_1^2 \omega_1 y \quad [\text{mms}^{-2}] \\
\text{rychlost členu 3} \quad v_3 &= k_1 \omega_1 r_1 \sin \varphi = k_1 \omega_1 x \quad [\text{mms}^{-1}] \\
\text{zrychlení členu 3} \quad a_3 &= k_1^2 \omega_1^2 r \cos \varphi = k_1 \omega_1^2 \sqrt{r^2 - x^2} \quad [\text{mms}^{-2}] \\
r &= m \left(z_2'' \pm \frac{z_1}{2} \right); \quad \varphi = k_1 \omega_1 t; \quad k_1 = \frac{z_1}{z_1 \pm z_2}; \quad \begin{array}{l} + \text{ vnitřní ozubení} \\ - \text{ vnější ozubení} \end{array}
\end{aligned} \quad (9.39)$$

kde z_2' , z_2'' jsou počty zubů jednotlivých úseků smykadla.

Pomocí analogické konstrukce můžeme sestavit mechanismus pro reverzační kývavý pohyb (obr. 9.126). Hnací pohyb se přivádí na pastorek 1, který zabírá do ozubeného kruhového segmentu hnacího kola. Rotující pastorek je současně zvedán drážkou v hnacím kole. Znárodný mechanismus využívá vnitřního ozubení na kole. Lze však užít i vnějšího ozubení.

Na rozdíl od mechanismu s přímočarým vratným pohybem má uvedený mechanismus rozdílné převodové poměry při pohybu dopředném a vratném, vzhledem ke střední hodnotě poměru, t.j. pro úhel výchylky $\alpha = 0$.

Kinematické poměry mechanismu lze vyjádřit těmito rovnicemi. Pro rovnoměrný pohyb hnacího členu 2 bude platit:

$$\alpha^0 = 90^\circ \frac{z_2''' - z_2''}{z_2''}; \quad r_2' = -\frac{180^\circ}{\alpha^0} m z_2' \quad (9.40)$$

$$r_2'' = -\frac{1}{2} m z_2'' [\text{mm}] \quad r_2''' = -\frac{180^\circ}{\alpha^0} m z_2''' [\text{mm}]$$

kde z_2' , z_2'' , z_2''' a r_2' , r_2'' ; r_2''' jsou počty zubů a poloměry roztečných kružnic pro malý, reverzační a velký ozubený sektor (obr. 9.128). Doba dvojitého kyvu s rovnoměrným pohybem po menší kružnici (rychlejší pohyb)

$$T' = \frac{\alpha}{\omega_1} \cdot \frac{r_2'}{r_1} \quad [s]$$

$$\text{Úhlová rychlost pro tento úsek} \quad \omega_2 = \pm \omega_1 \frac{r_1}{r_2} \quad [s^{-1}] \quad (9.41)$$

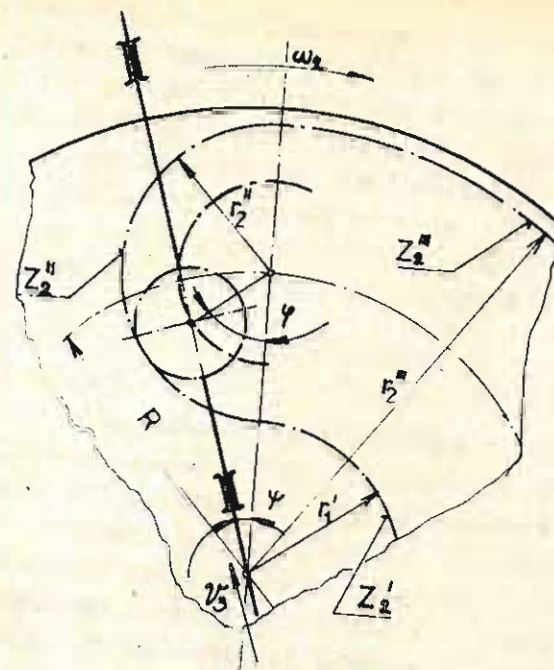
Doba dvojitého kyvu s rovnoměrným pohybem (po větší kružnici) a úhlová rychlost

$$T'' = \frac{\alpha}{\omega_1} \cdot \frac{r_2''}{r_1} \quad [s] \quad \omega_2 = \pm \omega_1 \frac{r_1}{r_2''} \quad [s^{-1}]$$

Kinematické poměry v reverzační oblasti:

$$\text{Úhel reverzace hnacího členu:} \quad \alpha' = \arcsin \frac{r}{R}$$

$$\text{zdvih pastorku} \quad S_1 = 2 r_1 \quad [\text{mm}]$$



Obr. 9.128

$$\text{doba reverzace} \quad T'' = \frac{2\pi r}{\omega_1 z_1} \quad [s]$$

Souřadnice polohy členu

$$y = \sqrt{R^2 + r^2 - 2 R r \cos \varphi} \quad [\text{mm}]$$

$$\psi = \arctg \frac{r \sin \varphi}{R - r \cos \varphi} = \arcsin \frac{r \sin \varphi}{y}$$

Rychlost členu

$$\omega_2 = k_1 \omega_1 r \frac{R \cos \varphi - r}{y^2} \quad [s^{-1}] \quad (9.42)$$

$$v_3 = k_1 \omega_1 \frac{R \cdot r \sin \varphi}{y} \quad [\text{mms}^{-1}]$$

$$\text{Zrychlení} \quad [s^{-2}]$$

$$a_2 = k_1^2 \omega_1^2 R \cdot r \sin \varphi \cdot \frac{R^2 - 2y^2}{y^4}$$

$$a = k_1^2 \omega_1^2 R \cdot r \left[\frac{-\cos \varphi}{y} - \frac{R \cdot r}{y^3} \sin^2 \varphi \right]$$

hodnoty r , φ a k jsou tytéž jako pro přímočarý mechanismus. Výrobu uvedeného mechanismu lze na úkor přesnosti usnadnit, použijeme-li čárové ozubení. Je-li žádoucí oboustranný rovnoměrný pohyb, pak uvedený mechanismus se dá vytvořit pomocí kuželových kol.

9.2.5. Stanovení převodového poměru u ladících mechanismů

Převodový poměr u ladících mechanismů je dán obecně vztahem

$$i = \frac{n_1}{n} = \frac{\varphi_1}{\varphi} = \frac{r_2 r_4 \dots r_{2n}}{r_1 r_3 \dots r_{2n-1}} = \frac{z_2 z_4 \dots z_{2n}}{z_1 z_3 \dots z_{2n-1}} \quad (9.43)$$

kde n_1 , n jsou vstupní a výstupní frekvence otáčení [ot s⁻¹]
 φ_1 , φ je úhel natočení vstupního a výstupního kola či otočného zařízení [rad, °]
 r_1 , r_2 , r_3 , ..., r_n a z_1 , z_2 , z_3 , ..., z_n jsou poloměry [mm] a počty zubů kol tvořících převod

Celkový převodový poměr se určí z požadované funkce ladícího zařízení, t.j. z daného vstupu a z požadovaného výstupu v otáčkách nebo úhlu natočení.

U ladících mechanismů ovládaných ručně je převodový poměr závislý na dovolené chybě nastavení ukazatele a na fyziologických schopnostech obsluhy. Dovolená chyba nastavení závisí na funkci přístroje, jeho vlastnostech, rozlišovací schopnosti a přesnosti. Fyziologické schopnosti dané lidským faktorem omezuje provádět malá natočení nebo malé postupné pohyby. Z uvedeného je patrné, že čím je větší rozsah stupnice, čím je menší přípustná chyba a čím menší jsou schopnosti obsluhy při natáčení ovládacích prvků, tím větší musí být převodový poměr mezi vstupem a výstupem.

Jaký je požadavek na úhel natočení ovládacího prvku (knoflíku) si objasníme u ladícího mechanismu rozhlasového přijímače. Nechť rozhlasový přijímač má ladící rozsah od 66 do 81 MHz. Dovolena chyba nastavení nemá být větší než 200 Hz, aby nebylo příliš velké zkreslení výstupního signálu. (Tato mezní chyba je současně i rozlišovací hodnotou mezi dvěma sousedními radiostanicemi, aby se navzájem nerušily). Těchto 200 Hz představuje pouze 1/75000 ladícího rozsahu 15 MHz. Kdybychom nyní zavedli přímé spojení ladícího knoflíku s kondenzátorem, který má pro daný rozsah úhel natočení 180° , pak jeho natočení při dané chybě v rozsahu úhlu 180° , by činilo

$$\frac{180^\circ}{75\,000} = 0,0024^\circ$$

Docílit ručně tohoto natočení při přímém spojení knoflíku s kondenzátorem je prakticky nemožné. Fyziologické schopnosti lidského činitele pro vyvození minimálního úhlu natočení knoflíku byly podrobeny výzkumu. Na základě zkušeností s různými obsluhami bylo zjištěno, že zkušená a vycvičená obsluha docílí minimálního úhlu natočení $0,25 + 0,35^\circ$; a to ještě za předpokladu, že odpor proti natáčení je konstantní a hnací moment nepřekročí hodnotu $50 + 200 \text{ Nmm}$. Výše uvedený rozsah vyžaduje vysokou pozornost obsluhy a mnoho času na správné doladění. Když nebudeme klást tyto požadavky, pak pro vycvičenou obsluhu se musíme spokojit s hodnotou úhlu natočení v rozmezí $1^\circ + 1,5^\circ$. U nevycvičené obsluhy se dá předpokládat, že minimální úhel natočení se bude pohybovat v rozmezí úhlu $3^\circ + 5^\circ$. Čím větší bude minimální úhel natočení, při dané chybě, tím musí být větší převod vložený mezi vstupem a požadovaným výstupem. Uvedený převod ulehčuje doladění, i když do jisté míry prodlužuje dobu ladění. Ukazuje se, že pro návrh ladícího mechanismu se optimální hodnota minimálního úhlu natočení má brát z rozmezí $\Delta\varphi = (1,5^\circ + 4^\circ)$. Tento rozsah vyhovuje jak hledisku rychlosti, tak i hledisku přesnosti. Porovnáme-li nyní vypočtený úhel natočení s hodnotou doporučenou, pak vidíme, že je nutno vložit mezi ladící knoflík a kondenzátor velký převod.

Výpočet příslušného převodu vychází obecně z doporučeného voleného úhlu natočení a z dovolené chyby frekvence Δf . Při lineární závislosti změny frekvence Δf na úhlu natočení kondenzátoru $\Delta\varphi$ o 360° , změni se frekvence o hodnotu

$$f_0 = \frac{360^\circ}{\Delta\varphi} \Delta f \quad [\text{Hz}] \quad (9.44)$$

Počet otáček ukazatele na pokrytí celého rozsahu frekvencí

$$n = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad [\text{ot}] \quad (9.45)$$

kde f_2, f_1 je konečná a počáteční hodnota frekvenčního rozsahu.

Hodnotu vloženého převodového poměru určíme pak z daného úhlu natočení θ nastavovacího prvku (u ladícího kondenzátoru $\theta = 180^\circ$) pomocí vztahu

$$i = n \cdot \frac{360^\circ}{\theta} \quad (9.46)$$

Dosazením za n z rov. (9.45) a za f_0 z rov. (9.44) bude potřebný převodový poměr

$$i = \frac{f_2 - f_1}{200} \cdot \frac{\Delta\varphi}{\theta} \quad (9.47)$$

V případě, že změna kmitočtu na úhlu natáčení není lineární, tak se převodový poměr pro dovolenou chybu ve zvoleném úseku rozsahu počítá podle vztahu

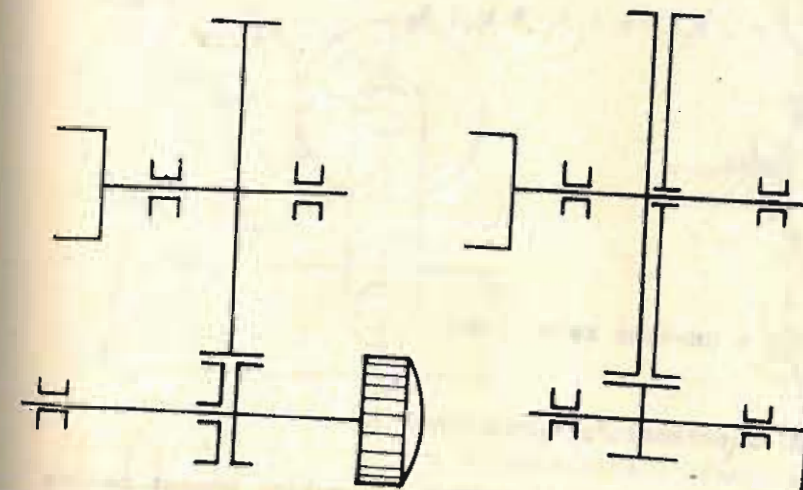
$$i = \frac{\Delta\varphi}{\Delta f} \cdot f'(\alpha)_{\max} \quad (9.48)$$

kde $f'(\alpha)_{\max}$ je maximální hodnota derivace závislosti změny kmitočtu na úhlu pootočení nastavovacího členu (knoflíku).

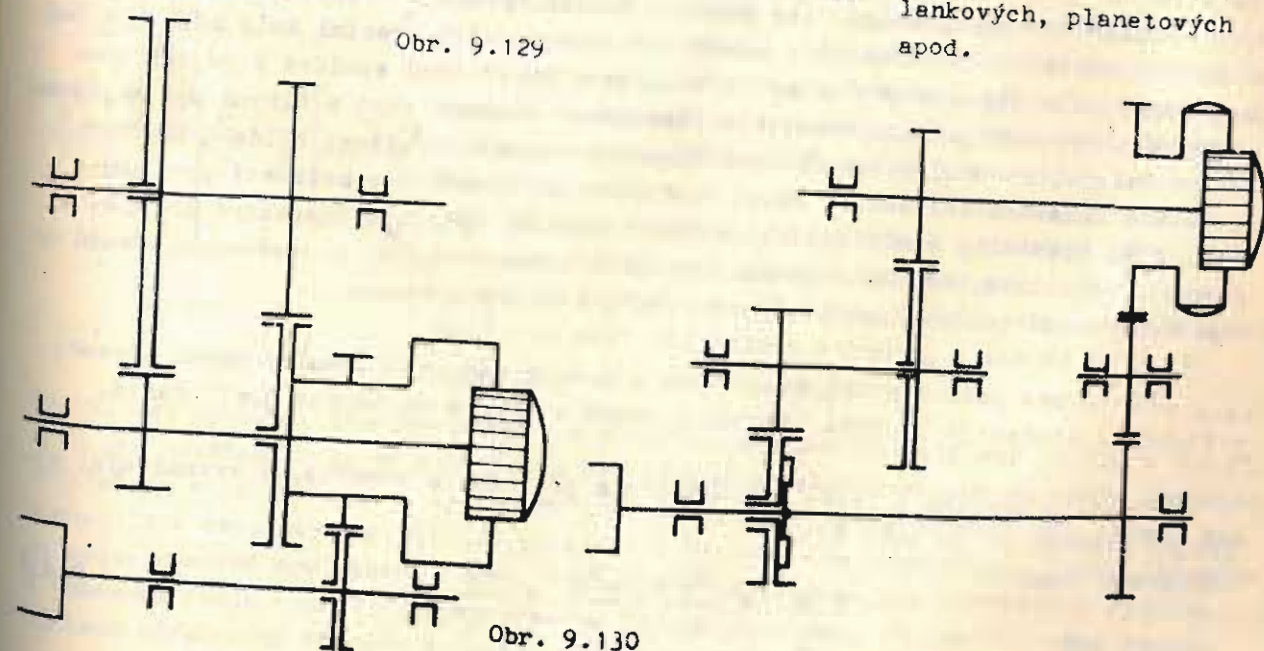
Uvedené vztahy ukazují, že hodnota převodového poměru může být značná (i několik set). V případech, že převodový poměr $i \leq 20$ je účelné zařazovat další převodové stupně, které nemají překračovat hodnotu $i = 5$. Aby se ulehčila a urychlila práce s vyladováním, je vhodné ladící mechanismus doplnit zařízením pro hrubé nastavení. Při kombinaci jemného a hrubého nastavení je nutné vzájemně sladit pohyby tak, aby měly stejný smysl otáčení a byly souhlasné se stupnicí. Konstrukční řešení ozubených mechanismů musí zajišťovat bezvúlový chod, neboť jinak by se vyladování ztížilo. Příklady schematického řešení ladících mechanismů ukazují níže uvedené obrázky, kde na obr. 9.129 jsou jednostupňové a na obr. 9.130 jsou vícestupňové převody s možností jemného a hrubého nastavení. Pro řešení je užito jak soukolí čelních, tak i soukolí kuželových a šnekových. Tyto mechanismy mohou být doplněny ochrannými třecími spojkami, které po dosažení krajní polohy zabrání poškození ozubení nebo celého zařízení. Uvedený způsob

výpočtu převodového poměru lze aplikovat pro všechny druhy přístrojů, s ručním popř. i automatickým doladováním hodnot na škálových stupnicích.

Mimo převodů s ozubenými koly je možné použít pro ladící mechanismy i jiných druhů převodů např. třecích, lankových, planetových apod.



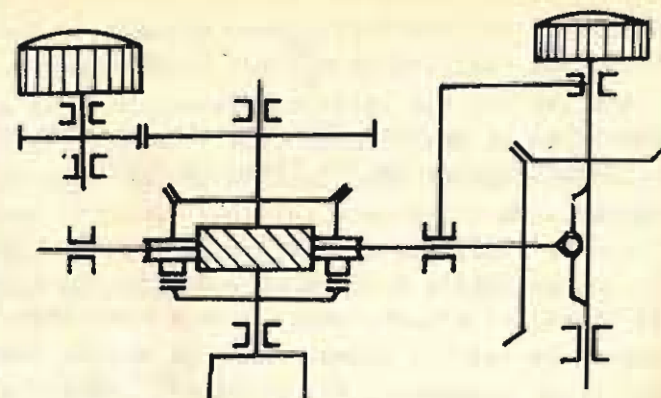
Obr. 9.129



Obr. 9.130

Související normy ČSN : 01 3215,
01 3216, 01 4602, 01 4603, 01 4607,
01 4608, 01 4609, 01 4610, 01 4622,
01 4656, 01 4675, 01 4676, 01 4678,
01 4679, 01 4682, 01 4684, 01 4685,
01 4686, 01 4707, 01 4755, 01 4756,
01 4771, 01 4780.

Obr. 9.130



9.3. TŘECÍ PŘEVODY

Třecí převody přenášejí rotační pohyb a krouticí moment účinkem tření mezi třecími koly, vyvozené přitlačnou silou.

Pro přenos rotačního pohybu a krouticích momentů platí

$$M_T \approx M_K \quad [N \cdot mm] \quad (9.49)$$

Třecí momenty

$$M_T = F_T R_1 = F_T R_2 = F_N \cdot f \cdot R_1 = k F R_1 \approx k F R_2 \quad (9.42)$$

kde M_T je třecí moment $[N \cdot mm]$

M_K je krouticí moment $[N \cdot mm]$

F je obvodová síla $[N]$

F_T je třecí síla $[N]$

F_N je přitlačná síla $[N]$

R_1, R_2 jsou poloměry hnacího a hnaného kola $[mm]$

f je součinitel tření

$k = 1,2 + 2$ je součinitel bezpečnosti přenosu momentu.

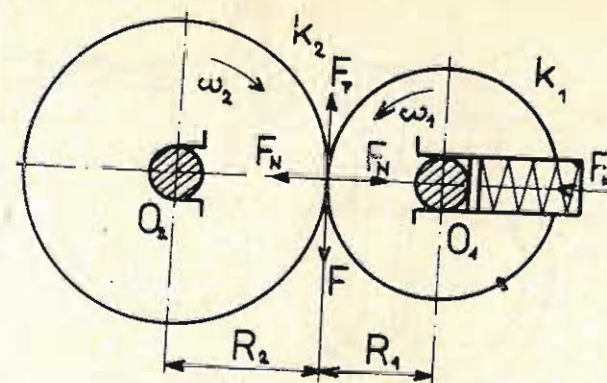
Pomocí třecích převodů lze přenést rotační pohyb a krouticí moment na dva hřídele rovnoběžné, různoběžné i mimoběžné. Převod mezi třecími koly může být buď konstantní nebo plynule měnitelný. Výhoda třecích převodů spočívá v jejich konstrukční a výrobní jednoduchosti, ve schopnosti tlumení rázů a hlavně pak v plynule měnitelném převodu. Nevýhody spočívají v přidavném zatížení hřídelů na ohyb, ve velkém namáhání ložisek, v relativně nízké účinnosti a v možnosti prokluzu. Tento činí převodový poměr nejistým. Třecí převody vyžadují kompaktní ložiska a uložení kol takové, aby bylo možno vyvodit přitlačnou sílu. Z uvedených důvodů se třecích převodů používá pro přenos malých a středních výkonů.

Právě pro jednoduchost konstrukce a hlavně pak pro plynulou změnu převodu a regulaci otáček je použití třecích převodů v přesné mechanice dosti časté.

Princip třecího převodu s konstantním převodovým poměrem, s vyznačenými silovými poměry, je na obr. 9.131.

Převodový poměr

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{D_2}{D_1} \quad (9.43)$$

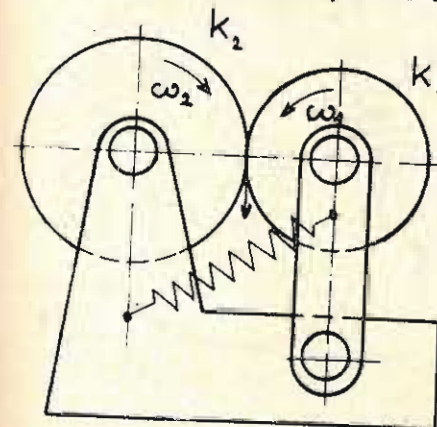


Obr. 9.131

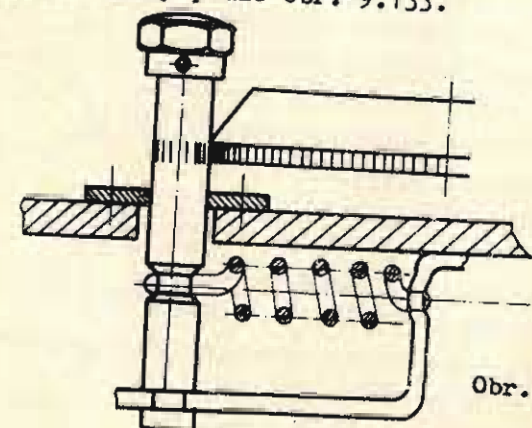
kde ω_1, ω_2 jsou vstupní a výstupní úhlové rychlosti $[s^{-1}]$
 n_1, n_2 jsou vstupní a výstupní otáčky $[ot \cdot s^{-1}]$

R_1, R_2, D_1, D_2 jsou poloměry a průměry hnacího a hnaného kola $[mm]$.

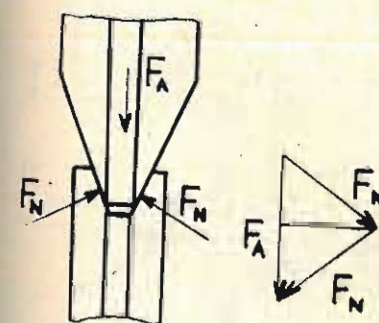
Přitlačnou sílu můžeme vyvodit buď přímo na posuvné (hnací) kolo, jak to znázorňuje obr. 9.132, nebo se provede pomocí páky podle obr. 9.133.



Obr. 9.133



Obr. 9.134



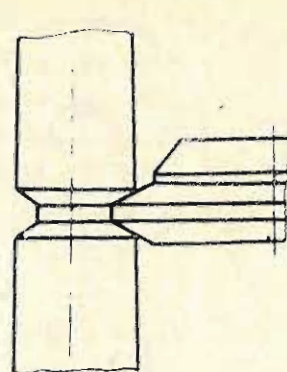
Obr. 9.135

Hodnota přitlačné síly je závislá na rozměrech soukolí a na součiniteli tření. Při daném krouticím momentu můžeme zmenšit přitlačnou sílu zvětšováním průměrů kol nebo volbou takových dvojic materiálů, které vykazují vzájemně velký součinitel tření. Zmenšení síly je možno také docílit tvarováním převodových kol. Pro přenos malých krouticích momentů postačí obvod převodových kol opatřit mělkým vroubkováním (obr. 9.134). Této konstrukce se používá např. pro natáčení stupnic přístrojů. Při větších momentech se užívá pro zmenšení přitlačných sil klínových drážek (obr. 9.135). Ze silového obrazce vyplývá, vztah mezi přitlačnou silou F_N a vnější silou F

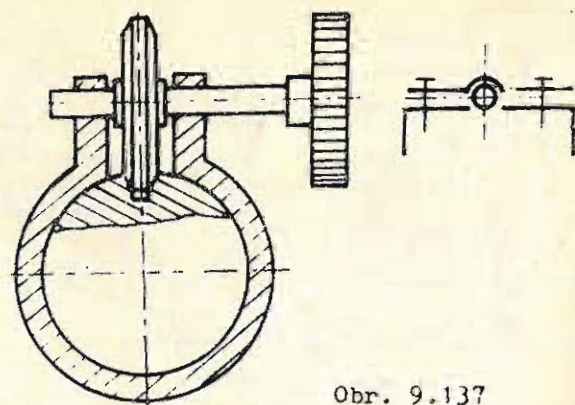
$$F = 2 F_N \sin \alpha \quad [N] \quad (9.44)$$

Praktickou aplikaci třecího převodu s klínovou drážkou ukazují obr. 9.136 a 9.137, a to pro natáčení kola se stupnicí a pro převod rotačního pohybu na pohyb postupný. Přitlačnou sílu vyvozuje obvykle pružina. V klínové drážce dochází při rotaci kol k rozdílným obvodovým rychlostem ve stykové ploše a tím k prokluzu, který způsobuje nesteromné opotřebení ploch. Při malých silách, malých obvodových rychlostech a občasném chodu není životnost převodu příliš ohrožena. Chceme-li však docílit čistého odvalování třecích kotoučů, se stejným silovým účinkem jako u klínových

drážek, použijeme přítlačných kladíček. Tyto jsou znázorněny na obr. 9.138. Jejich praktickou aplikaci u transportních válečků pro posuv papíru v zapisovacích přístrojích ukazuje obr. 9.139. Naháněn je váleček 1, přítlačné válečky 2, (přítlačný váleček může být i jeden) jsou umístěny na výkyvných pákách 3, dotahovaných k sobě pružinou 4.

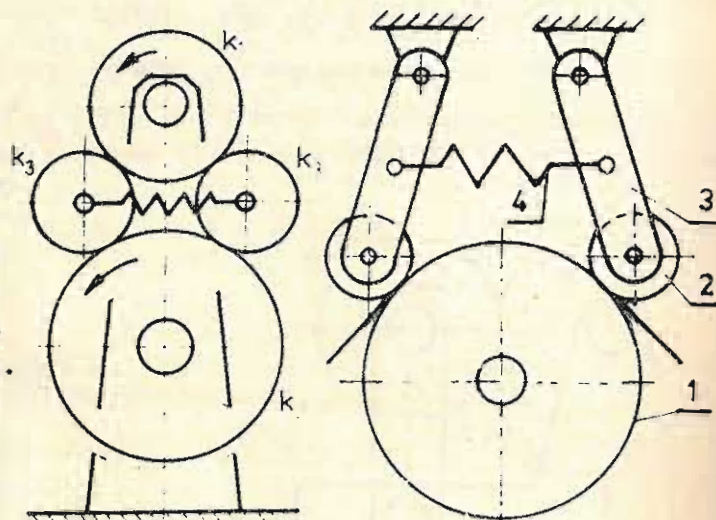


Obr. 9.136



Obr. 9.137

U měřicích přístrojů se setkáváme s třecím převodem, u nichž je radiální přítlačovací síla nahrazena axiálně působící silou na čelech třecích kotoučů buď šroubovou pružinou nebo napružením membránové pružiny, pevně uchycené na velkém kole (obr. 9.140a,b).



Obr. 9.138

Obr. 9.139

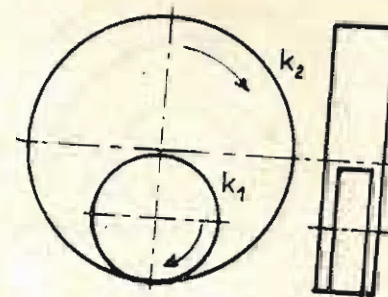
Pro docílení souhlasného smyslu otáčení kol můžeme mimo vloženého kola použít odvalování hnacího kola po vnitřním obvodu hnaného kola, jak je schematicky provedeno na obr. 9.141. Pomocí třecích kol můžeme vytvářet i vícestupňové převody. Dvou-
stupňový převod je na obr. 9.142, kde převodový poměr

$$i = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{n_2}{n_4} = \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{r_4}{r_3} = \frac{d_2 \cdot d_4}{d_1 \cdot d_3}$$

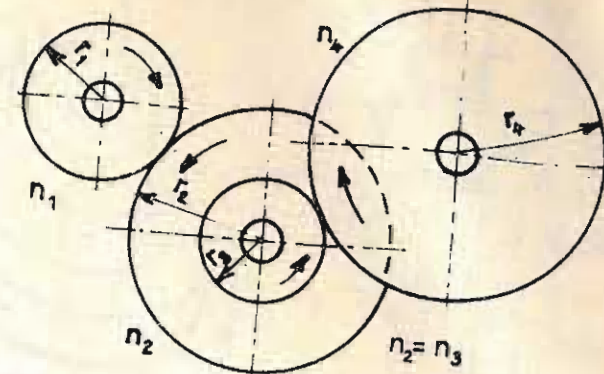
kde n_1, n_2, n_3, n_4 jsou frekvence otáčení [ot s⁻¹] na poloměrech či průměrech r_1, r_2, r_3, r_4 resp. d_1, d_2, d_3, d_4 [mm].

Třecí převody mohou být i planetové, schematicky znázorněné na obr. 9.143 a v praktické aplikaci u ladících mechanismů ve spojení s jemným a hrubým nastavením na obr. 9.144. Satelity jsou tvořeny kuličkami.

Přenos rotačního pohybu nebo krouticího momentu na dva hřídele různoběžné

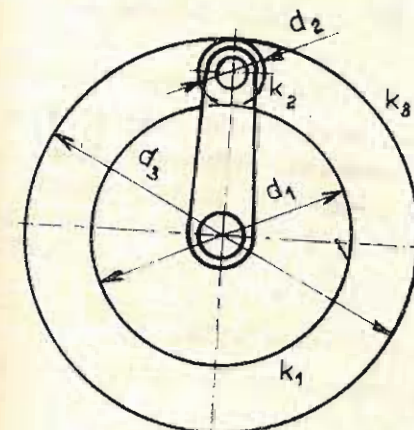


Obr. 9.141

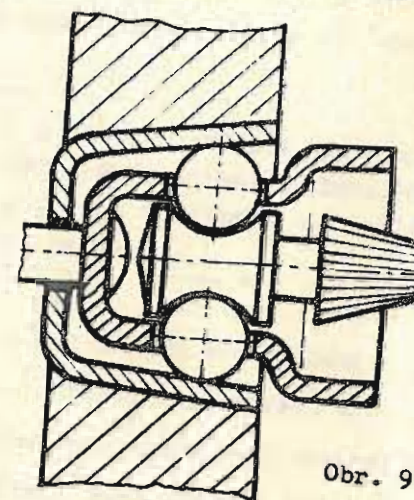


Obr. 9.142

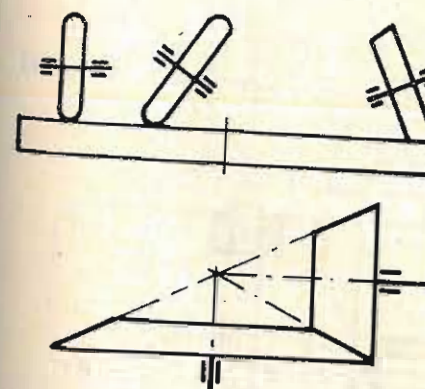
s konstantním převodovým poměrem můžeme provést buď pomocí bombírovaných hnacích kotoučů a lícního kola nebo přímo kuželovými třecími koly podle obr. 9.145.



Obr. 9.143



Obr. 9.144



Obr. 9.145

Přítlačná síla u kuželových třecích kol (obr. 9.146) se vyvozuje axiální silou F_A [N] u menšího kola a určí se ze vztahu

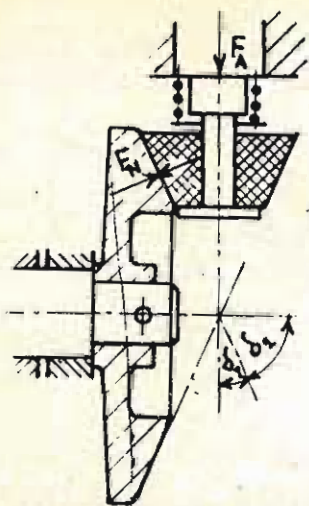
$$F_A \geq k \cdot F_N \sin \delta_1 = k \cdot \frac{F}{f} \sin \delta_1 \quad (9.45)$$

kde F_N je kolmý tlak na stykové plochy [N]
 F je obvodová síla [N]
 f je součinitel tření
 δ_1 je poloviční vrcholový úhel menšího kola
 k je součinitel bezpečnosti

V případě, že je nutno překonávat sílu při zasouvání kotoučů se axiální síla vy-
počítá ze vztahu

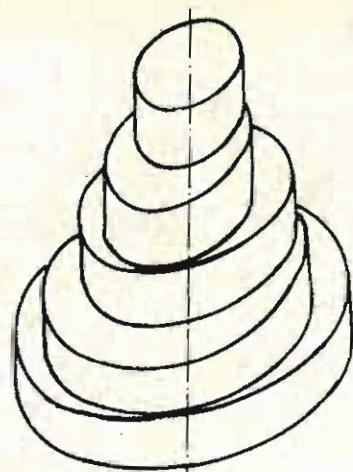
$$F_A = k F_N (\sin \delta_1 + f \cos \delta_1) \quad (9.46)$$

V přesné mechanice nacházejí větší uplatnění třecí převody s proměnlivým převodovým poměrem. Proměnlivého třecího převodu může být dosaženo buď stupňovitým nebo plynulým řazením. Stupňovitého řazení převodu je např. užito u gramofonu (obr. 9.147). Mezi odstupňované kotouče s průměry d_1, d_2, d_3 jsou vřazeny



Obr. 9.146

převodové kotouče, po nichž přechází sdružené třecí kolo z jednoho stupně na další.



Obr. 9.147

Základním typem třecího převodu s plynulou změnou převodového poměru je převod tvořený lícním kolem (diskem) a kladičkou s konstantním průměrem (obr. 9.148a). Je-li hnací kolem kolo lícní, pak převodový poměr

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_x}, \quad [s^{-1}] \quad (9.47)$$

kde, ω_1, ω_2 jsou úhlové rychlosti $[s^{-1}]$ hnacího a hnaného kola,

n_1, n_2 je frekvence otáčení hnacího a hnaného kola, $[ot\ s^{-1}]$

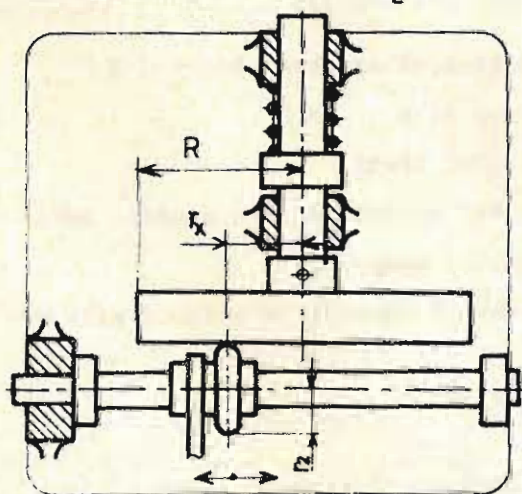
r_x je poloměr nastavení přesunutím hnaného kola $[mm]$

r_2 je poloměr hnaného kola $[mm]$

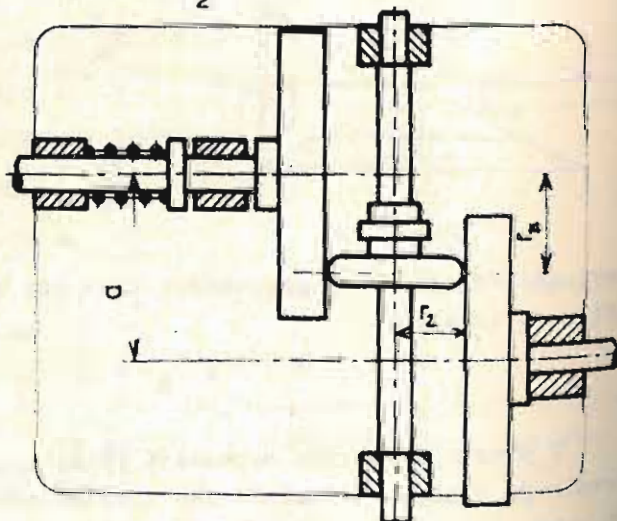
Otáčky hnaného kola

$$n_2 = \frac{r_x}{r_2} n_1 \quad (9.48)$$

se mění lineárně, a to od $n_2 = 0$ až po $n_2 = \pm \frac{R_1}{r_2} n_1$



Obr. 9.148



Přesunutím hnaného kola přes střed lícního kola se mění smysl otáčení. Po vyjádření poloměru r_x vztahem

$$r_x = \frac{r_2}{\omega_1} \cdot \omega_2 = k \omega_2, \quad \text{kde } k = \frac{r_2}{\omega_1}$$

vidíme, že při konstantní úhlové rychlosti ω_1 bude poloměr r_x mírou pro úhlovou rychlost ω_2 hnaného kola. Z toho vyplývá, že tento třecí převod může sloužit jako mechanická násobička, protože realizuje matematický vztah

$$Z = \frac{1}{r_2} x \cdot y \quad (9.49)$$

kde $x \hat{=} \omega_1$, $y \hat{=} r_x$, $Z \hat{=} \omega_2$

Nahradíme-li nyní úhlovou rychlost ω_2 vztahem $\frac{d\varphi_2}{dt}$, pak

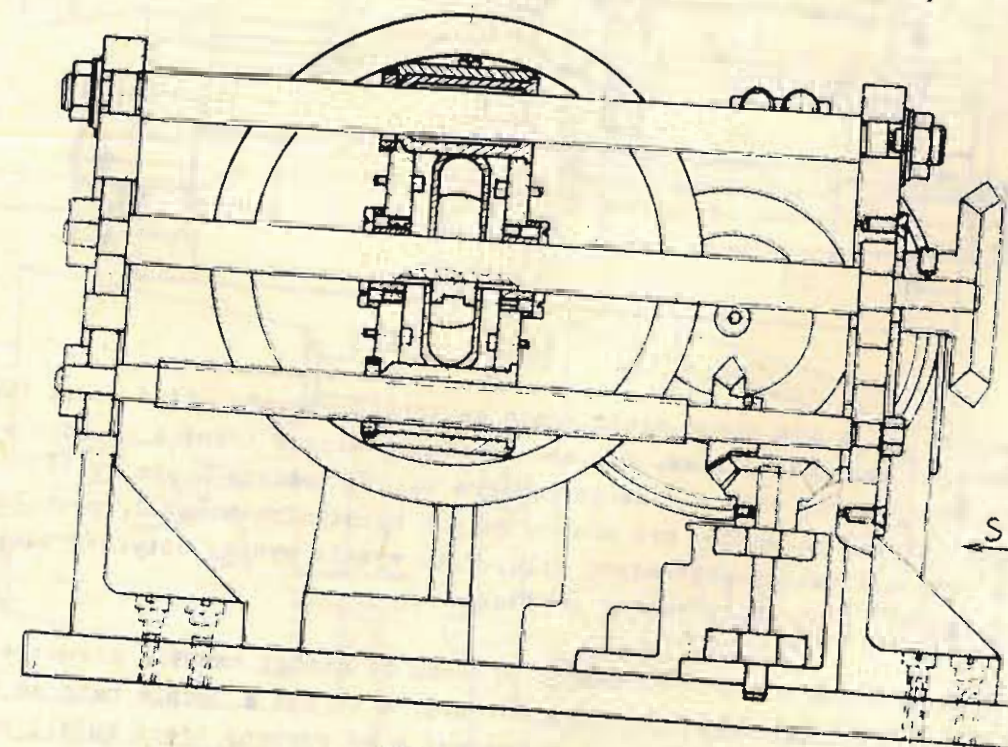
$$r_x \frac{r_2}{\omega_1} \cdot \frac{d\varphi_2}{dt} \quad \text{a úhel } \varphi_2 = \frac{\omega_1}{r_2} \int r_x dt \quad (9.50)$$

Tím dostáváme z třecího převodu integrátor.

Na obr. 9.148 b je znázorněn třecí převod se dvěma lícními koly mezi nimiž se přesouvá třecí kladička, která převádí pohyb z hnacího lícního kola na lícní kolo hnané. Převodový poměr při osové vzdálenosti a .

$$i = \frac{n_1}{n_3} = \frac{a - r_x}{r_x} = \frac{a}{r_x} - 1 \quad (9.51)$$

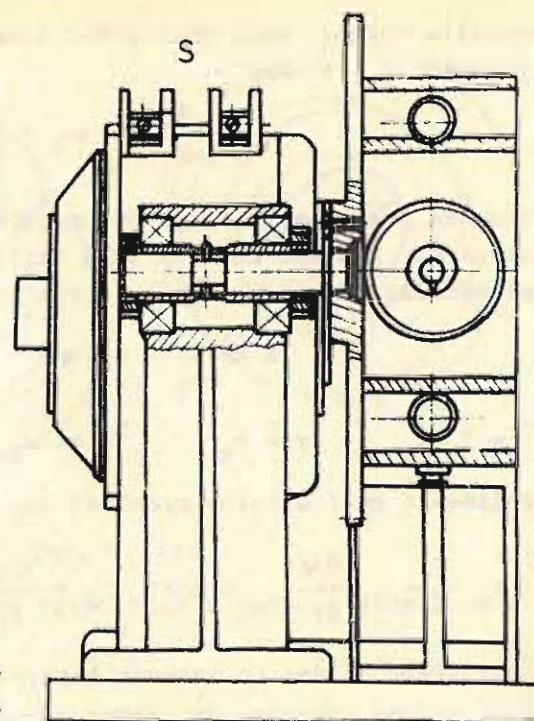
Konstrukční provedení třecího převodu ukazuje obr. 9.148c.



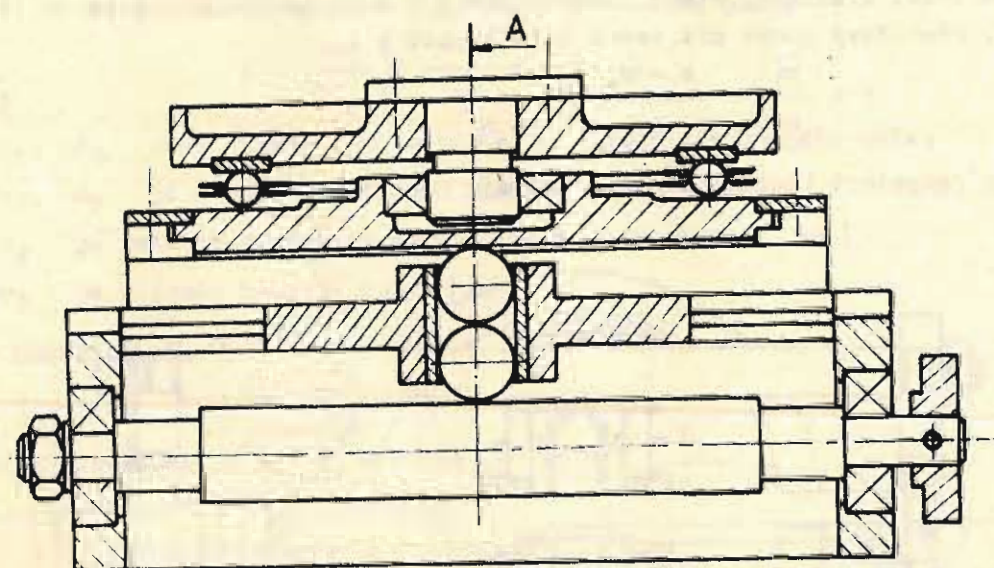
Obr. 9.148 c

Správná a spolehlivá funkce vyžaduje úzkou šířku přesuvného kola, neboť jinak dochází k velkému prokluzu, k zadírání a k zmenšení přesnosti nastavovaného převodového poměru. Vlivem prokluzu se stává mechanická účinnost nízká a v důsledku toho je nutné zvýšit příkon pro pohon soukolí.

Pro zmenšení uvedených nedostatků byl zkonstruován třecí u převod (obr. 9.149), kde přenos pohybu na disk se děje dvěma koulemi. Tyto přejímají pohyb od rotujícího válce a předávají jej na disk. U tohoto převodu dochází k bodovému styku třecích kol a tím i zvýšené přesnosti. Změna frekvence otáčení je provedena posuvem pouzdra v saních s kuličkovým vedením. Přítlačná síla je vyvozena pružinami, uchycenými v tělese převodu a na vedení rotujícího disku. Výhodou tohoto řešení je dále



Obr. 9.148 c

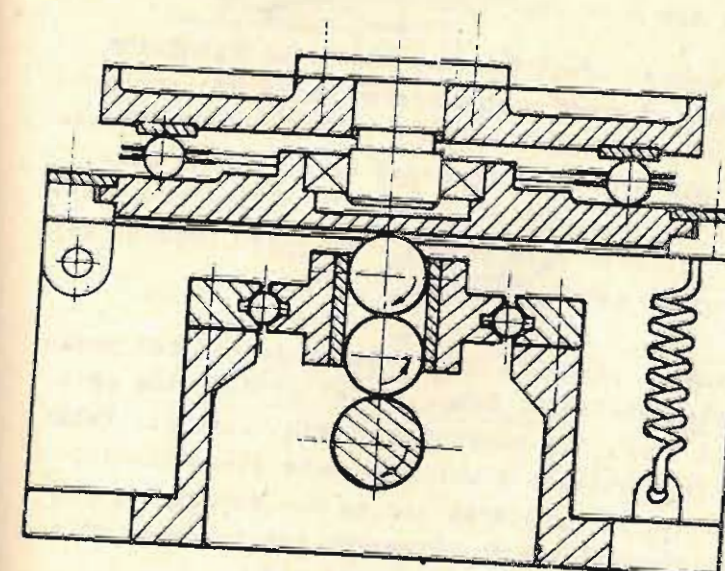


Obr. 9.149

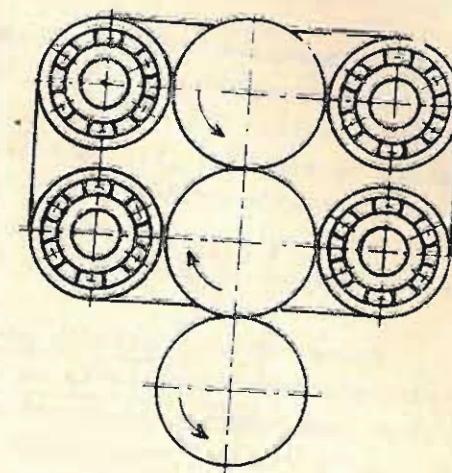
potřeba menší síly pro posuv saní. Pro to se tohoto převodu užívá dosti často v automatické regulaci otáček. Aby se odstranilo kluzné tření v pouzdru a nahradilo třením valivým, vkládají se do pouzdra valivá ložiska (obr. 9.150). Uvedený třecí převod je vhodný pro přenos malých krouticích momentů, protože velké momenty vyžadují velkou přítlačnou sílu. Tato vyvolá vysoký dotykový tlak a možnost vzniku trvalých deformací na disku.

Třecí převody s plynulou změnou převodu či otáček hnaného členu je možno realizovat pomocí kuželových třecích kotoučů, a to buď s jedním nebo se dvěma třecími kužely (obr. 9.151 a, b, c). Provedení a má posuvný třecí kužel, hnané kolo je uloženo na výkyvné páce, dotlačované do záběru pružinou. Provedení b

ŘEZ A-A

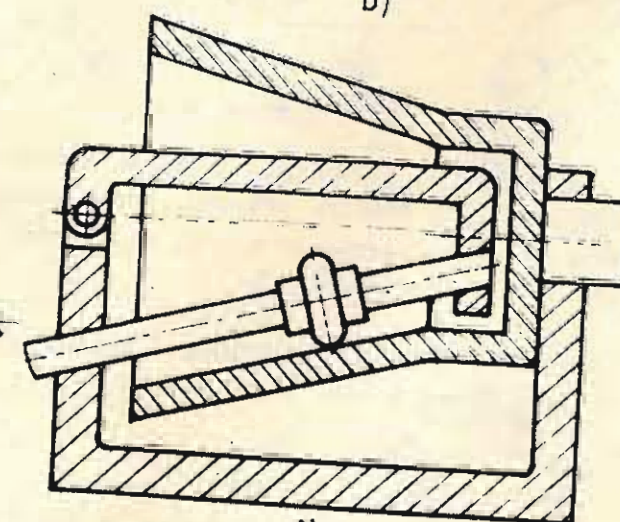
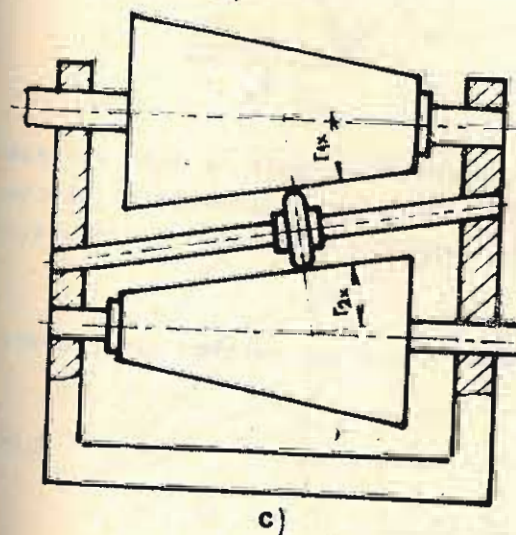
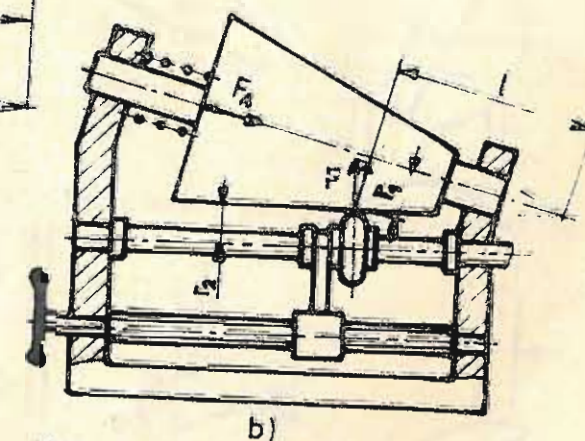
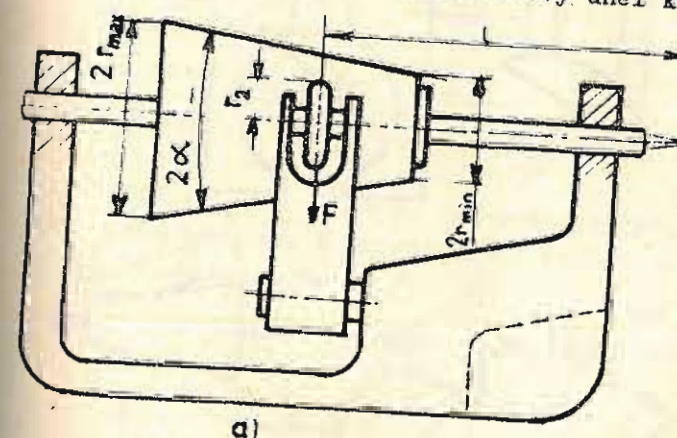


Obr. 9.149 b



Obr. 9.150

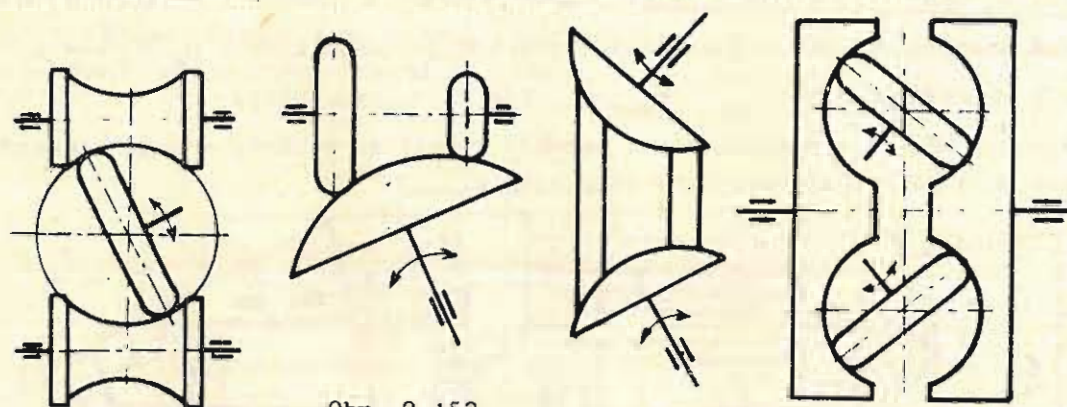
má posuvné hnané třecí kolo. U uvedených převodů je změna otáček $n_2 = \frac{r_x}{r_2} n_1$ lineární v rozmezí od $r_x \in \langle r_{\min}, r_{\max} \rangle$, kde $r_x = l \tan \alpha$ resp. $r_x = l \sin \alpha$, kde l je vzdálenost od vrcholů kuželů do stykového bodu s hnaným kotoučem a α je poloviční vrcholový úhel kužele.



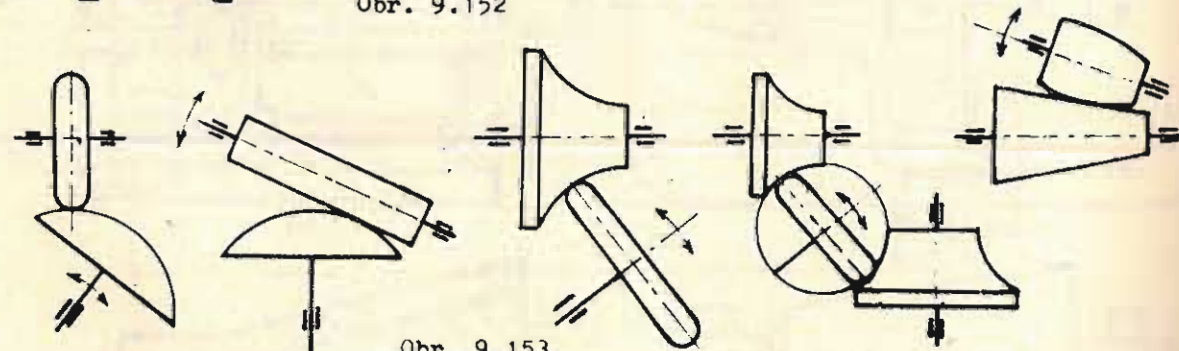
Obr. 9.151

Provedení c má výhodu v tom, že hnací a hnaný hřídel jsou paralelně uspořádány. Výstupní otáčky $n_2 = \left(-\frac{L}{1} - 1\right) n_1$, kde L je vzdálenost vrcholů obou kuželů ve směru povrchové přímky, a 1 je vzdálenost třecí posuvné kladky od vztažného bodu, mají hyperbolický průběh. Provedení d používá pro převod vnitřního povrchu třecího kužele. Jinak je analogické s uspořádáním a resp. b. Při daném krouticím momentu je obvodová síla na hnacím kuželi proměnlivá a proto se přitlačná síla, vyvozená obvykle pružinou, musí počítat z největší obvodové síly, t.j. z nejmenšího poloměru $r_{1 \min}$, s uvažováním směru působení síly (obvykle ve směru podélné osy hnacího kužele) a síly snažící se vysunout kolo ze záběru.

Pomocí třecích převodů můžeme získat plynulou změnu výstupních otáček podle předem stanovené závislosti na vstupních otáčkách. Danou závislost docílíme příslušným tvarováním převodových kotoučů popř. i s vloženými třecími kotouči. Velmi často se u těchto převodů používají třecí kotouče s kulovými nebo globoidními plochami. Přenos rotace i krouticích momentů lze provádět jak na osy paralelní, tak i na osy různoběžné. Schematický přehled nejčastěji užívaných třecích převodů s kulovými a globoidními třecími plochami jsou na obr. 9.152 a 9.153.



Obr. 9.152



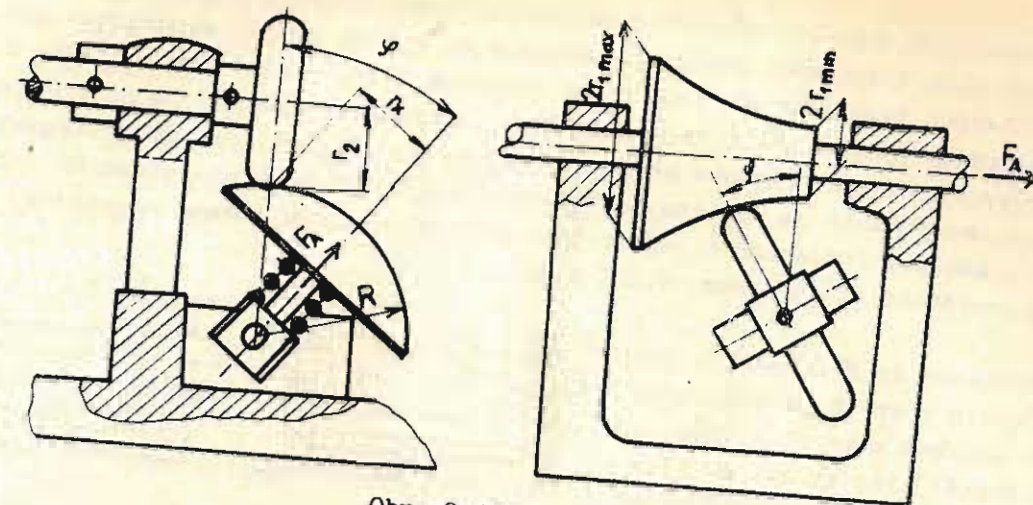
Obr. 9.153

Jak je patrné z obrázků, je změna výstupních otáček závislá na úhlu vychýlení jednoho z členů třecího převodu. Třecí převody s kulovými a globoidními plochami kotoučů vykazují menší prokluzu, mají vyšší mechanickou účinnost a dobře pracují i při změnách zatížení.

Převodový poměr resp. výstupní otáčky třecího převodu s kulovou plochou zv. také hříbový (obr. 9.154) stanovíme ze vztahu

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_x} = \frac{r_2}{R \sin \varphi} \Rightarrow n_2 = \frac{R}{r_2} \sin \varphi \cdot n_1 \quad (9.52)$$

U převodů s globoidním třecím kolem je převodový poměr



Obr. 9.154

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_x} = \frac{r_2}{a - r_2 \cos \varphi} \Rightarrow n_2 = \frac{a - r_2 \cos \varphi}{r_2} \cdot n_1 \quad (9.53)$$

$$\text{kde } r_x = r_{1 \min} + r_2 (1 - \cos \varphi) = r_{1 \min} + r_2 - r_2 \cos \varphi = a - r_2 \cos \varphi$$

V obou uvedených rovnicích znamenají:

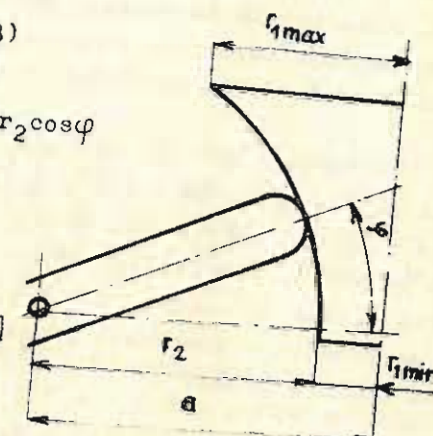
r_2 poloměr hnaného třecího kola [mm]

r_x měnitelný poloměr [mm]

φ je úhel natočení hříbu či hnaného kola [rad, °]

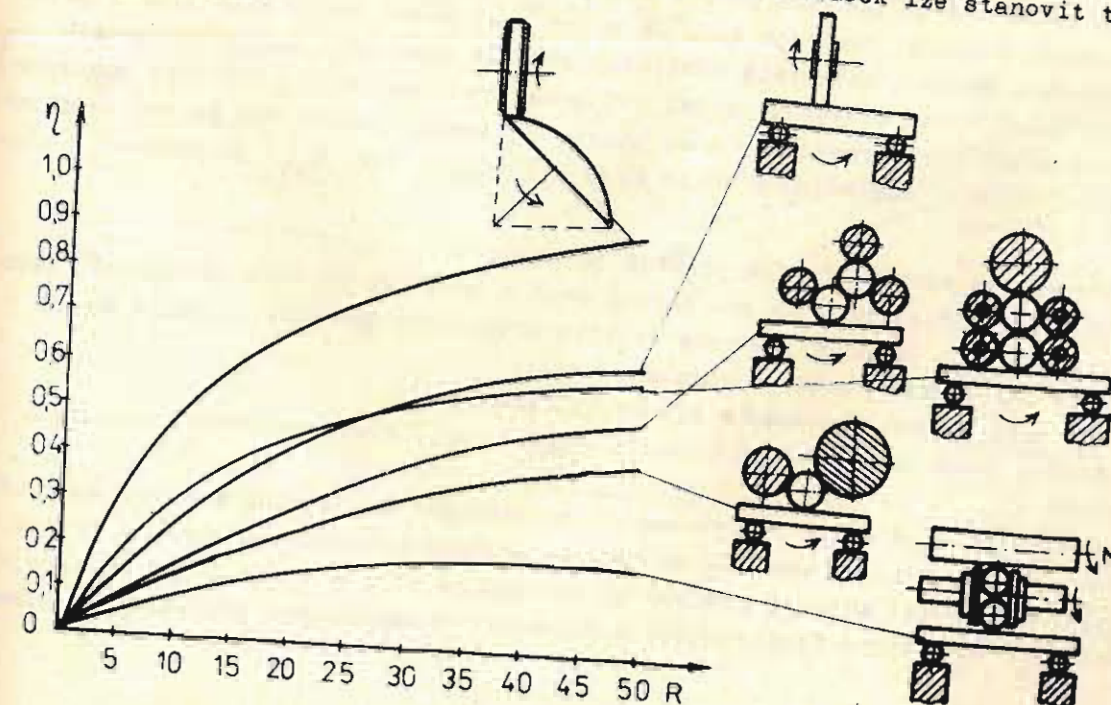
a je osová vzdálenost [mm]

n_1, n_2 jsou vstupní a výstupní otáčky [ot.s⁻¹]



Obr. 9.155

Analogickým způsobem lze stanovit převodový poměr i pro jiné tvary převodových kotoučů resp. z požadovaného zákona měnitelnosti otáček lze stanovit tvary převodových kotoučů.



Obr. 9.156

Mechanická účinnost převodů s měnitelným převodovým poměrem je závislá na konstrukci a na rozměrech. Podle provedených měření je průběh mechanické účinnosti některých typů převodů vyneseno na diagramu (obr. 9.156). Je-li žádoucí reverzace smyslu otáčení užívá se u převodů s konstantním převodovým poměrem kuželových třecích kol a u plynule měnitelného převodu lícních kol, uspořádaných ve dvojicích, mezi nimiž je uloženo hnané kolo. Dvojice kol na společném hřídeli je posuvně uložena v ložiscích a jejich přesouváním docílíme žádané reverzace. Schematické provedení ukazuje obr. 9.157 a, b.

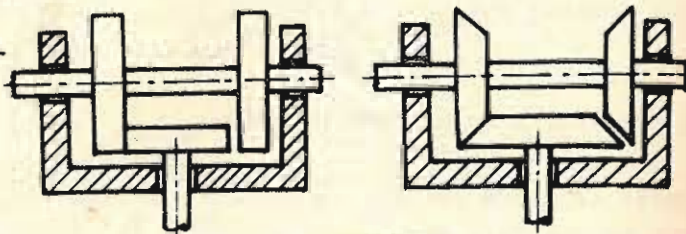
Provozní spolehlivost a životnost třecích převodů je ovlivněna správnou volbou materiálů třecích kol. Materiál třecích kol má mít tyto vlastnosti: velký součinitel tření, velká odolnost proti opotřebení, malé trvalé deformace. Protože neexistuje materiál, který by měl všechny uvedené vlastnosti, musí se pro každé zadání hledat optimální řešení.

Materiály třecích kol mohou být buď tvrdé nebo měkké. Tvrdé materiály vykazují malý součinitel tření a malé opotřebení. Malé pružné deformace vyvolávají malé oteplení za provozu. Z tvrdých materiálů se používá především ocel s leštěným povrchem. Obvykle takový převod běhá v olejové lázni, tím však součinitel tření klesne na hodnotu $f = 0,05 + 0,09$. Dalším tvrdým materiálem je litina, která se používá v kombinaci s ocelovým kolem. Z ostatních materiálů se používá hliník, mosaz a bronz.

Měkké materiály mají velký součinitel tření, mohou tlumit rázy a zaručovat bezhlučný provoz. Jejich nevýhoda spočívá ve velkém opotřebení, a ve velkých pružných deformacích, které vyvolávají velké oteplení a tím snížení účinnosti. Z měkkých materiálů se používá pryž, kůže, textolitu, azbestu, ferrod. Tyto materiály tvoří obložení kovových kol. Je možné kombinovat tvrdé materiály s materiály měkkými. Měkkých materiálů používáme obvykle jako obkladového materiálu pro hnací kola. Ve stykových plochách kol nesmí dotkový tlak překročit dovolenou hodnotu. Pro výpočet měrných tlaků se užívá Hertzových vztahů pro čárový nebo bodový dotyk. Hodnota maximálního tlaku bývá $0,95 \sigma_{pt}$ - kde σ_{pt} je pevnost v tlaku.

Algoritmus návrhu třecích převodů je tento:

- 1) volba typu třecího převodu pro zadaný úkol s uvážením dalších požadavků, jako je např. vysoká účinnost, přenos velkých krouticích momentů, plynulá změna převodového poměru, lehkost regulace ap.,
- 2) určení nebo zadání výstupního krouticího momentu,
- 3) předběžný návrh třecího převodu t.j. rozměrů kol, koulí, kulového vrchlíku, ložisek ap.,
- 4) výpočet přítláčné síly. Zde vycházíme ze zadaného krouticího a potřebného třecího momentu, třecích momentů ložisek, ze zvýšení přenášeného momentu vlivem oteplení. Součinitel zvýšení momentu na výstupu se volí $m = 1 + 2$ pro přístroje pracující ve stálých klimatických podmínkách (v uzavřených prostorech), jinak $m = 2 + 3$.



Obr. 9.157

- 5) určení hnacího momentu a příkonu,
- 6) určení síly pro posuv nebo náklonu třecích kotoučů u převodu s měnitelným převodovým poměrem,
- 7) určení maximální úhlové rychlosti disku nebo kulového vrchlíku. Obvodová rychlost nemá podle skutečnosti překročit hodnotu $5,5 + 6 \text{ ms}^{-1}$ u lícních kol a 3 ms^{-1} u kulových vrchlíků. Uvedeným hodnotám odpovídá úhlová rychlost: u lícních kol $\omega \leq \frac{6000}{R_d} [\text{rad.s}^{-1}]$

$$\text{u kulových vrchlíků } \omega \leq \frac{6000}{R_c \sin \varphi} [\text{rad.s}^{-1}]$$

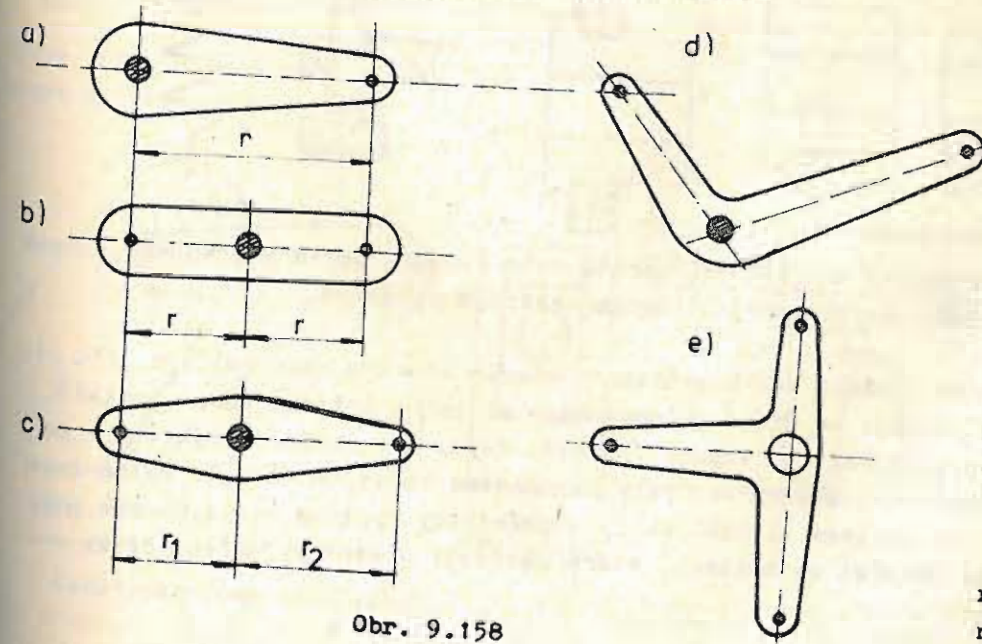
$$\text{u kulových převodů } \omega \leq \frac{3000}{R_d} [\text{rad.s}^{-1}]$$

- kde R_d a R_c jsou poloměry lícních kol, kulového vrchlíku, kouli,
- 8) po návrhu se provede kontrolní výpočet celého třecího převodu.

9.4. PŘEVODOVÉ PÁKY

Převodová páka je přístrojová součást, která se otáčí kolem čepu a na níž působí vnější síla, vyvolávající otáčivý moment $M = F \cdot r$ [N mm], kde F [N] je síla a r [mm] je rameno páky. Opsaná dráha ramene páky $s = r \varphi$ [mm], kde φ [arc] je úhel natočení páky v obloukové míře. Pokud páka vykonává velký úhlový pohyb, nazýváme ji analogicky, jako ve všeobecném strojnictví, **k l i k o u**.

Kinematické dvojice tvořené pákami, které slouží k přenosu pohybu z hnacího členu na člen hnaný, nazýváme **p á k o v ý m i p ř e v o d y**. Přenos pohybu a síl pomocí pákových převodů lze provádět nejen v rovině, ale i v prostoru. Hlavní užití pákových převodů v přesné mechanice je v přenosu pohybu sil a momentů na omezenou úhlovou dráhu, na vyvození kývavého pohybu a převodu pohybu rotačního na posuvný přímočarý resp. naopak. Dále jsou páky součástmi i jiných mechanismů, např. vačkových, podávacích ústrojí apod.

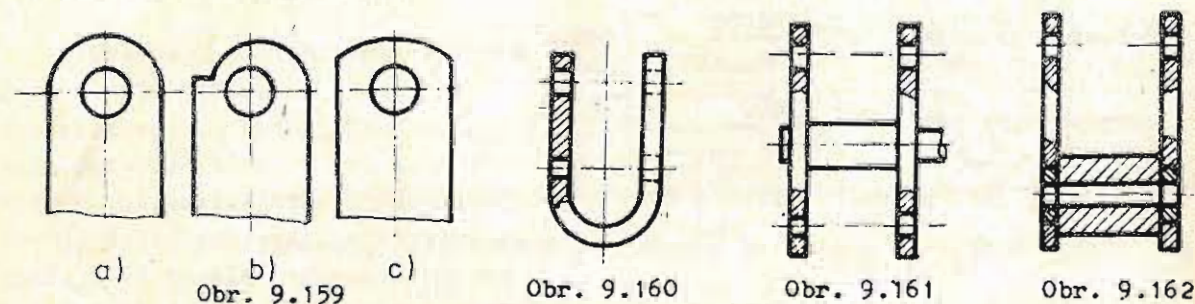


Obr. 9.158

Tvarování pák závisí na funkci páky v pákovém převodu - mechanismu a na silovém zatížení. Páky (obr. 9.158) mohou být jedno-ramenné (a), dvou-ramenné (b, c), lomené (d), víc-eramenné.

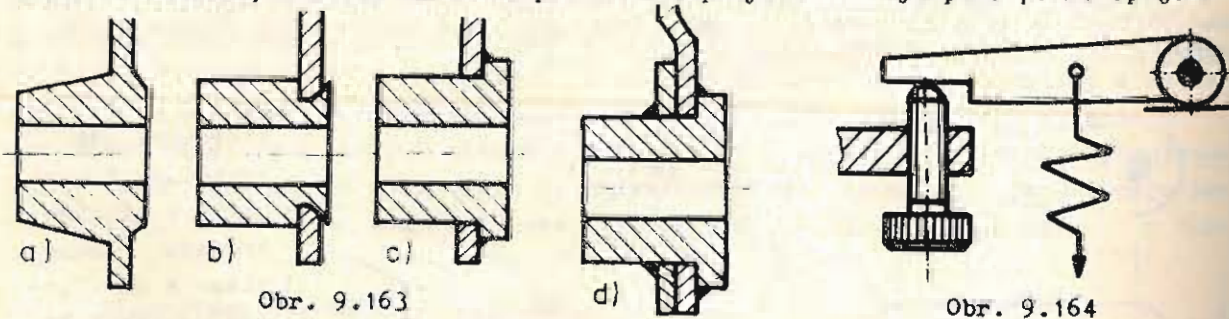
Páky se vyrábějí vystřížením z plechu, kování, litím do

písku či vatřikovým, práškovou metalurgií. Volba technologie závisí na zátěžných silách, účelu a druhu výroby - kusová, seriová, hromadná. Volba materiálů pák se řídí funkcí, provozními a zátěžnými podmínkami. Z konstrukčního a ekonomického hlediska dáváme pákám pokud možno jednoduchý tvar. U vystřihovací technologie se řídíme požadavkem na snadnou výrobu nástroje, při obrábění na snadnou obrobitelnost. Tak např. nesprávné tvarování je zakončení páky kružnicí soustřednou s dírou pro uložení čepu (obr. 9.159a), protože nesprávným nasazením nástroje vznikne ozub (b). Správné je tvarování kruhovým obloukem o větším poloměru, než je



šířka páky. Zdvojené páky lze vyrobit ohnutím z plechu (obr. 9.160), spojením dvou pák rozpěrným válečkem (obr. 9.161), přímým snýtováním, svařováním, pájením, závitovým spojením ap. Rozpěrné válečky s vývrtem (obr. 9.162) mohou současně sloužit pro otočné uložení.

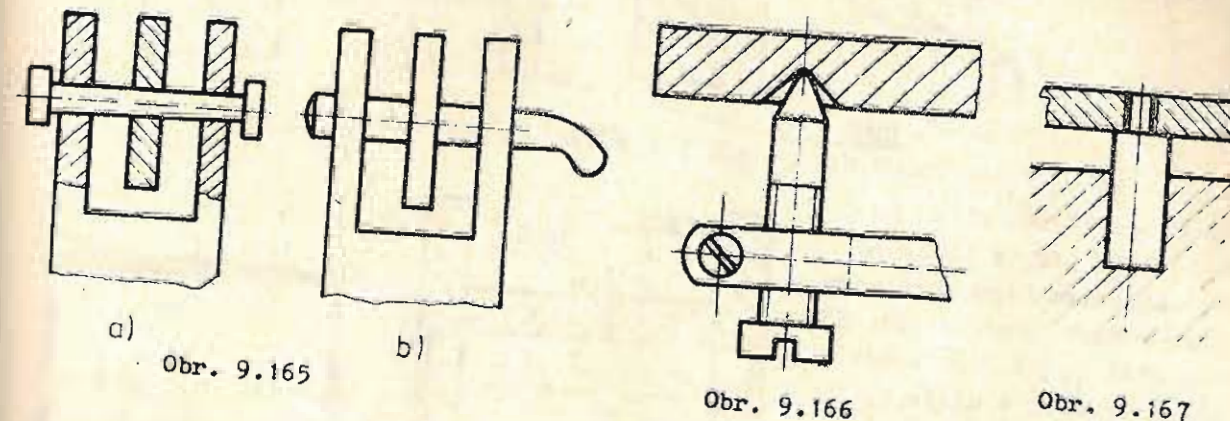
Pro otočné uložení pák, pokud je jejich tloušťka dostatečná, může sloužit přímo válcový vývrt. Není-li však tomu tak, pak pro požadované uložení se páka opatřuje nábojem. Náboj (obr. 9.163) může být s pákou buď přímo odlit, vykován, nebo vyroben práškovou metalurgií (a), nebo se náboj vyrobí zvlášť a spojí se s pákou nanýtováním (b), pájením či svařením (c). Poslední dva způsoby jsou zvlášť vhodné pro vytváření úhlových pák ze dvou dílů (d). Další možné spojení náboje s pákou spočívá v užití přímého nebo nepřímého šroubového spojení a Hirtova ozubení, zvláště vhodného pro úhlové páky. Má-li být páka pevně spojena



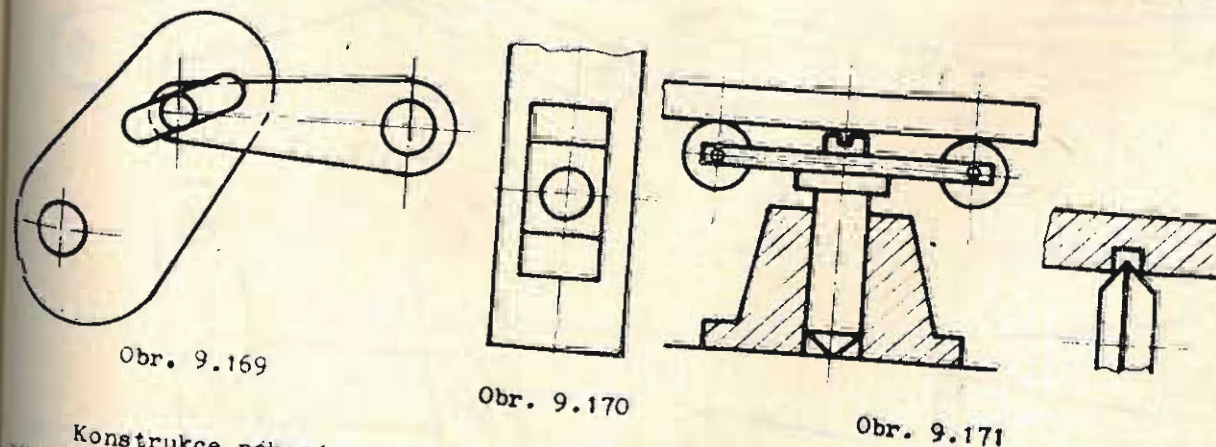
s hřídelem, pak se na něj nalisovává, naráží nebo spojuje perem a šroubem, klínem (výjimečně), vroubkováním, Hirtovým ozubením, svěrným spojením.

Vlastní otočné uložení pák provádíme s třením kluzným nebo valivým. Při normálním kluzném uložení se užívá jednoduchého kluzného ložiska resp. postačí přímo vývrt v náboji otočně uložený na válcovém čepu. Pro umožnění výkyvného pohybu, v rovině kolmé na podélnou osu páky, používáme kulových kloubů. Volba typu valivého ložiska při valivém uložení se řídí požadavky vyplývající z funkce páky. Dále je možno páky ukládat na břitech, které umožňují přesné vyjádření délky ramen a vykazují malé tření.

Při spojení páky s táhlem (obvykle tyč s kruhovým nebo pravouhlým profilem, trubka s příslušně tvarovanými hlavami) musíme zajistit táhlu volně otočné uložení. Volba druhu uložení závisí opět na funkci pákového mechanismu. Tam, kde se nekladou žádné zvláštní požadavky, bývá kloub táhla uložen na čepch zalisovaných nebo zašroubovaných buď do táhla nebo do tělesa (viz kluzná uložení). Případná radiální vůle se vyloučí pružinovou vazbou (obr. 9.164). Jinak je možno použít u přesných uložení valivých ložisek, úzkých nebo širokých kloubových uložení a pružinových kloubů. U táhel a pák s rozvidlenými konci se jednoduchého uložení docílí na čepch tvořených drátkem nebo kolíkem, provléknutým příslušnými děrami a zajištěných proti vypadnutí buď rozpěčováním (obr. 9.165a) nebo ohnutím konců (jak je znázorněno na obr. 9.165b).

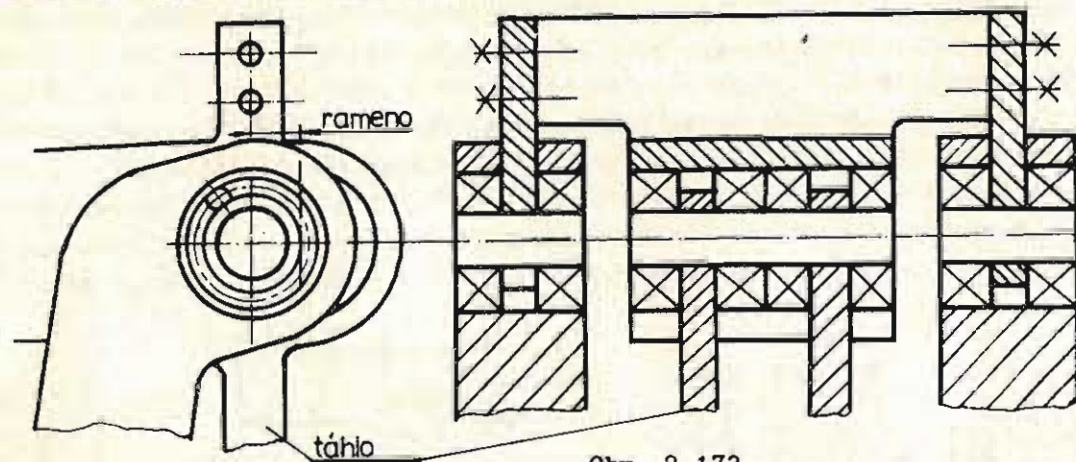


Válcový kolík může být zalisován do táhla a volně otočný v čepových otvorech páky. Pro menší výkyvy a stálém tlaku je možno použít i zahroceného stavěcího šroubku (obr. 9.166). Přesná uložení vyžadují valivá ložiska nebo kulové klouby. Když má páka konat současně pohyb rotační a posuvný, můžeme konec páky umístit na saně nebo na vozík, který je veden v přímém vedení. Někdy postačí vedení válcového čepu páky v pravouhlé drážce (obr. 9.167). Kulový čep se dá vést v prizmatické drážce (obr. 9.168). Pokud má páka procházet stálou osou, pak se užije jednoduché tvarové vazby (obr. 9.169) nebo kulisy (obr. 9.170) popř. se spojí s vozíkem otočně uloženým ve stojanu (obr. 9.171).



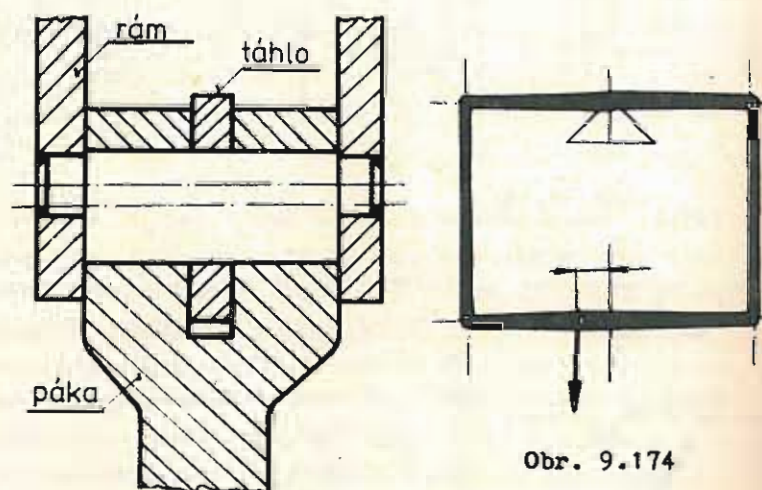
Konstrukce pákových převodů s malým ramenem je možno provést pomocí břito-
vého uložení, jakého je užito např. u Hirtova minimetru. Dalším konstrukčním

řešením je uložení pák a táhel do kuličkových ložisek, uložených v rámu stroje (obr. 9.172). Rameno páky zde může být libovolně malé.



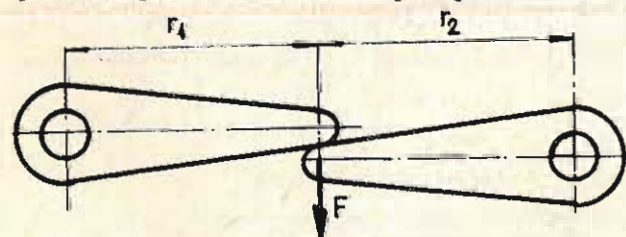
Obr. 9.172

Dále možno získat malé rameno uložení páky a táhla na výstředníkovém čepu uchyceném v rámu stroje (obr. 9.173). Zde nutno dbát na to, aby nedošlo k samosvornosti v uložení. Někdy je nutno užít i složitějšího řešení vícekloubového mechanismu, znázorněným na obr. 9.174.

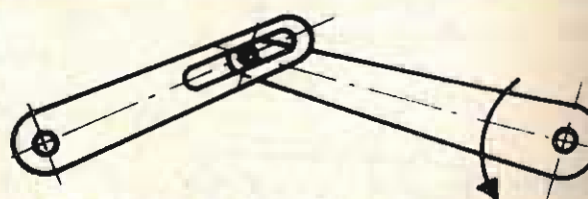


Obr. 9.173

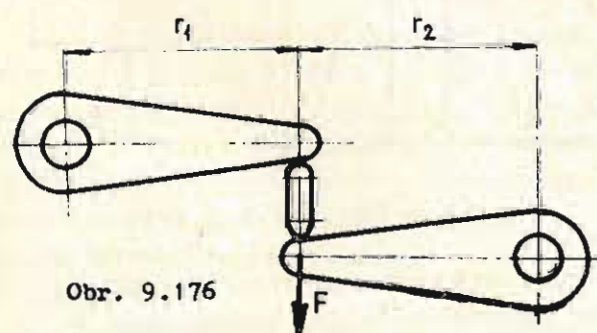
Přenos a převod sil, otáčivých momentů a pohybů u pákových převodů se děje buď přímým dotykem pák (obr. 9.175) nebo nepřímo pomocí mezičlánku t.j. táhla, lanka, řetězu a pod. (obr. 9.176). Nepřímého převodu se užívá při přenosu na větší vzdálenosti, kde přímý styk není



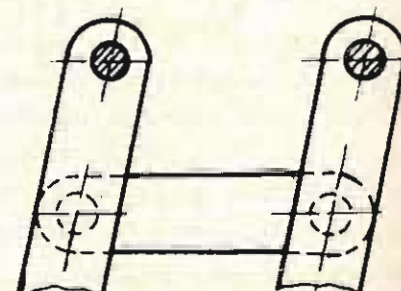
Obr. 9.175



Obr. 9.177



Obr. 9.176



Obr. 9.178

možný, nebo kde by to vyžadovalo zvláštního tvarování pák. Styk mezi pákami může být volný (obr. 9.175, 9.176) nebo vázaný. U přímých vázaných převodů je čep jedné páky veden v drážce druhé páky (obr. 9.177). U nepřímých převodů je vázaný převod proveden příčným táhlem (obr. 9.178).

Stanovení převodového poměru pákového převodu pro otáčivé momenty vychází ze společné síly F , [N] působící ve stykovém bodě. Příslušné otáčivé momenty, při délkách ramen r_1 , r_2 [mm], budou

$$M_1 = F \cdot r_1 \quad a \quad M_2 = F \cdot r_2 \quad [N \cdot mm]. \quad (9.54)$$

Odtud převodový poměr momentů

$$i_M = \frac{M_1}{M_2} = \frac{r_1}{r_2} \quad (9.55)$$

Převodový poměr pro otáčivý pohyb vychází z dráh konců pák ve stykovém bodě

$$s_1 = r_1 \cdot \varphi_1 = r_2 \cdot \varphi_2 \quad [mm] \quad (9.56)$$

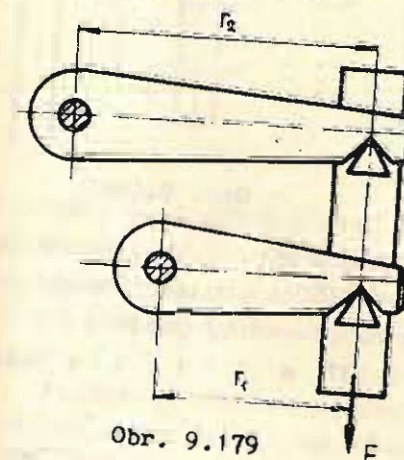
a odtud

$$i_\varphi = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (9.57)$$

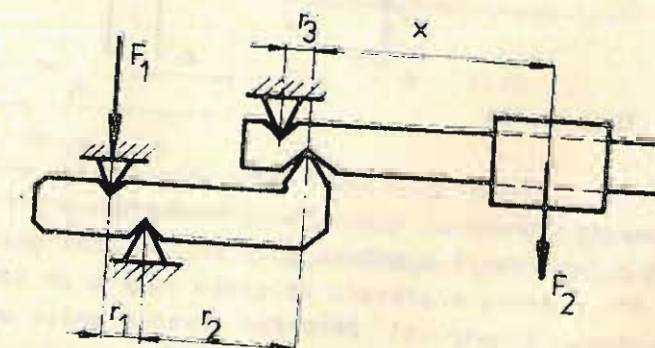
kde φ je úhel natočení pák.

[rad]

Správný přenos sil, momentů a otáčivého pohybu vyžaduje odstranění mrtvého chodu v uložení a stálý dotyk pák. Toho se obvykle docílí buď pružinami nebo se užije vázaného převodu. U vázaného převodu se musí hnací moment přivádět na páku s čepem, který se pohybuje v drážce páky hnané. Jinak by totiž mohlo dojít ke vzpříčení. Uvedené pákové mechanismy mají protichůdný smysl pohybu. Pro souhlasný smysl pohybu pák je nutno umístit otočné body na jednu stranu. Zde je však nutno použít nepřímého převodu. (obr. 9.179).



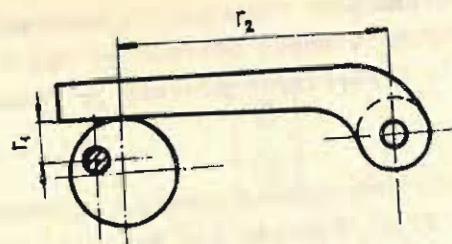
Obr. 9.179



Obr. 9.180

Pro získání větších převodových poměrů můžeme pákové převody kombinovat. Takový vícenásobný převod ukazuje obr. 9.180.

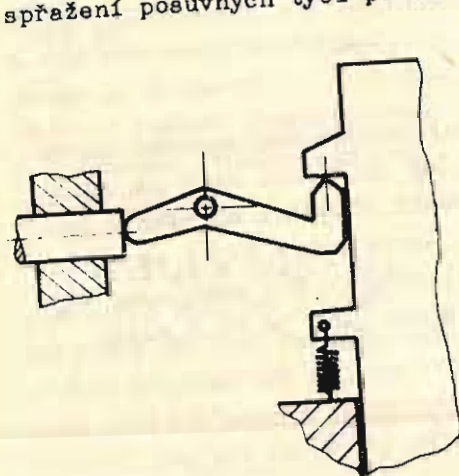
Při natáčení pák dochází ke změně převodového poměru, protože se délka ramen může měnit. Nápadně to ukazuje pákový převod, tvořený jednoduchou otočnou pákou a výstředníkem, tvořícím druhou páku (obr. 9.181) nebo dvouramenná páka



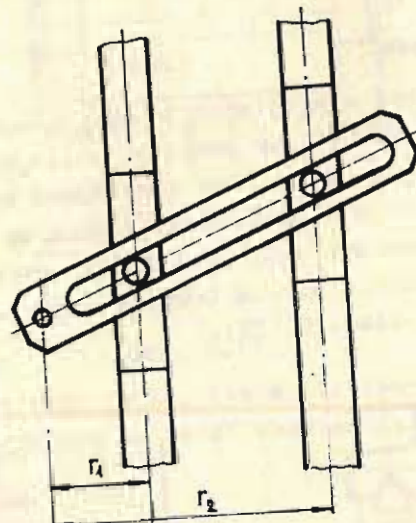
Obr. 9.181

zakončená břity, určená pro vyvození posuvného pohybu zdvihátek v daném převodovém poměru (obr. 9.182). Aby byl převodový poměr konstantní je nutno dodržet matematické a geometrické poměry t.j. podobnosti trojúhelníku na jedné i druhé straně páky. Geometrická podobnost vyžaduje, aby konce pák byly zaobleny. Toto je znázorněno na obr. 9.183 nebo na obr. 9.184 kde se převádí svislý pohyb na vodorovný.

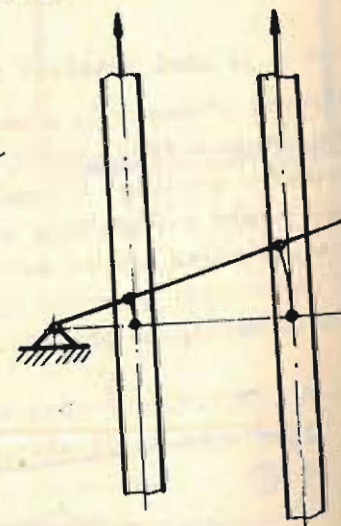
Pokud se jedná o zvětšování nebo zmenšování posuvných pohybů, používáme spřažení posuvných tyčí pákou s tvarovým vedením např. drážkou podle obr. 9.185.



Obr. 9.184



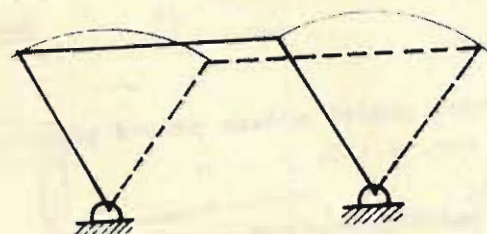
Obr. 9.185



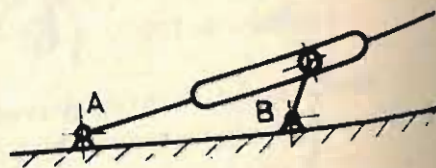
Obr. 9.186

Při menší přesnosti vystačíme jednoduchým provedením podle obr. 9.186, které je vhodné pro úhlové natočení páky do 10° . Při natočení do 1° je přesnost vyhovující. Při přenosu a převodu úhlového pohybu je konstantní převodový poměr $i = 1$ zachován v konstrukci pákového převodu podle obr. 9.187 a $i = 1 : 2$ v řešení na obr. 9.188.

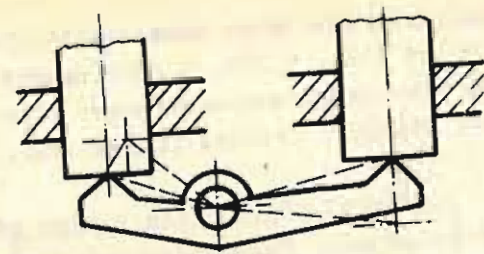
Tento převod je užít u Ottova integrátoru pro vyhodnocování statického momentu nebo $\int y^{1/2} dx$, a to podle toho, zda je integrační kolečko umístěno na páce BC, nebo AC. Konstrukčním uspořádáním pák lze docílit i jiných převodových poměrů např. $1 : 3$, $3 : 1$ ap. Přesnost



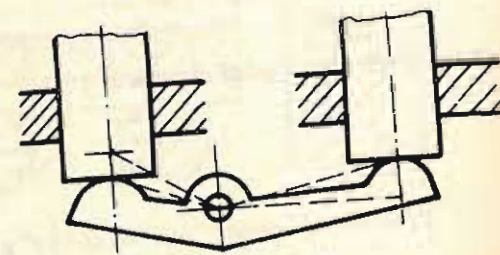
Obr. 9.187



Obr. 9.188



Obr. 9.182

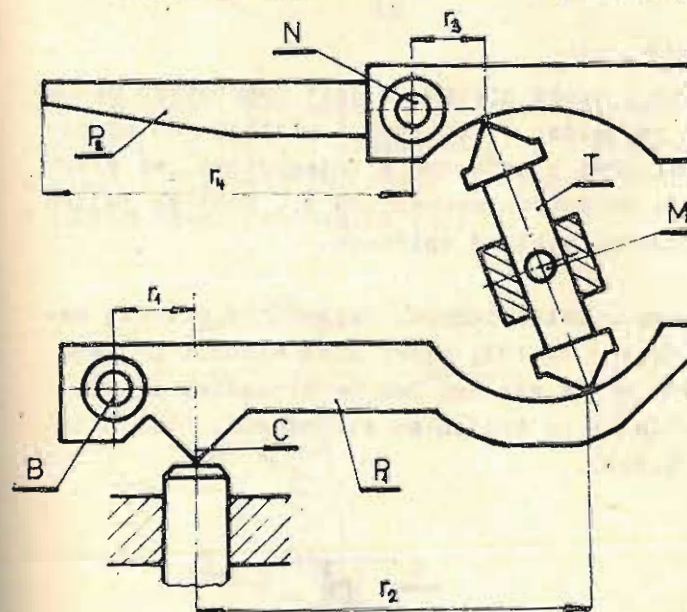


Obr. 9.183

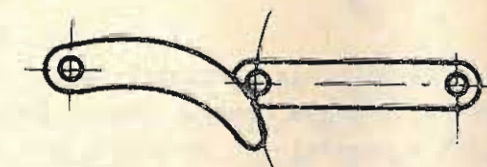
uvedených mechanismů závisí na dodržení rozměrů, délek ramen a na bezvúlovém chodu. Přesnost se dá vypočítat pomocí trigonometrických vztahů. V případě, že bezvúlový chod nelze zajistit, musíme použít jiných druhů převodů např. ozubených soukolí.

Pákové převody mohou mít i plynule měnitelný převodový poměr, mohou řešit linearizaci nelineárního průběhu hnacího pohybu nebo naopak. Konstrukční řešení plynule měnitelného převodového poměru pro zvětšení výchylky ukazovacího přístroje je na obr. 9.189. Posuvný pohyb zdvihátka je převeden na břit C páky P_1 . Páka P_1 je otočně uložena v bodě B a druhý konec páky je zakončen kruhovou válcovou plochou. Pohyb konce páky P_1 je převeden nepřímo pomocí táhelka T, otočně uloženého v bodě M, na páku P_2 . Tato se otáčí okolo osy N. Páka P_2 je zakončena ukazatelem. Z obrázku jsou patrné délky ramen a převodový poměr se určí ze vztahu

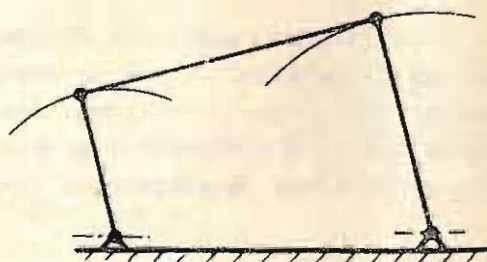
$i = \frac{r_1 \cdot r_3}{(r_1 + r_2) \cdot r_4}$. Výchylka ukazatele bude tím větší, čím větší budou ramena r_2 a r_4 a čím menší jsou ramena r_1 , r_3 . Otočně uloženým dvoustranným břitem T můžeme si nastavovat potřebný převodový poměr.



Obr. 9.189



Obr. 9.190

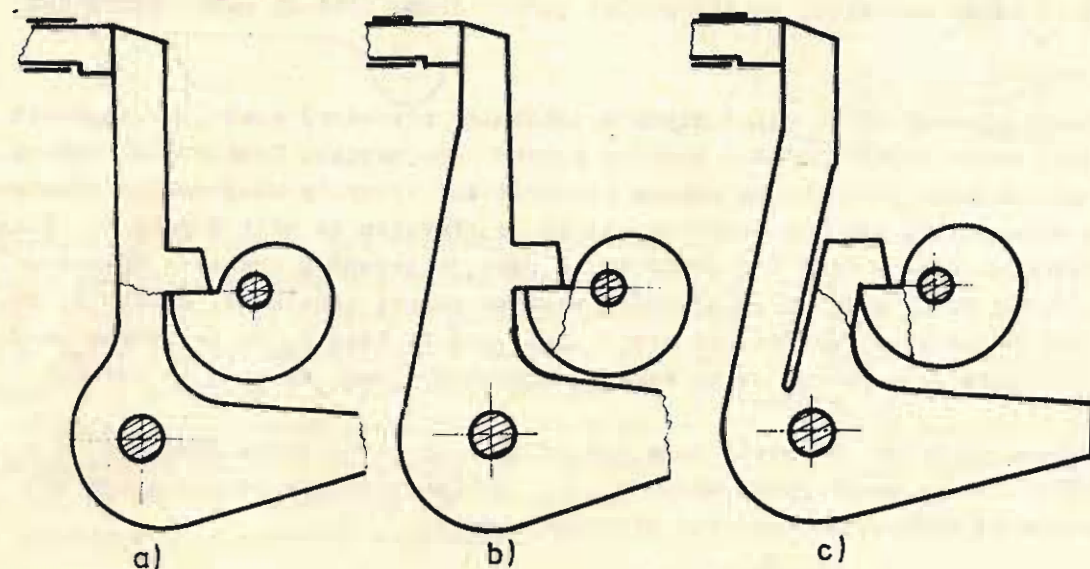


Obr. 9.191

Jednoduchý nelineární převod vyřešíme tvarováním jedné páky vůči druhé, jak to ukazuje obr. 9.190. Úhlově nelineárního převodu můžeme docílit různou délkou otočných ramen spojených táhlem (obr. 9.191). Analogicky uspořádaných převodů můžeme použít i pro přenos momentů.

Pevnostní výpočet pákových převodů provádíme vždy, pokud jsou páky vystaveny větším silám a momentům. Páky jsou hlavně namáhány ohybovým momentem. Otočné uložení je nutno řešit s ohledem na měrný tlak ve stykových plochách nebo na dynamickou únosnost. Čepy jsou namáhány buď ohybovým momentem nebo krouticím momentem popř. kombinovaným namáháním. Zvláštní pozornost je nutno věnovat pákám, které jsou namáhány rázy, protože u nich může snadno dojít k lomu v kritickém místě. Příklad špatného a správného tvarování pák je na obr. 9.192 a, b, c. Jedná se o páku opatřenou ozubem, na který naráží ozub vačky. U provedení a hrozí ulomení ozubu. Zesílení páky v tomto místě (b) může vést naopak k ulomení ozubu

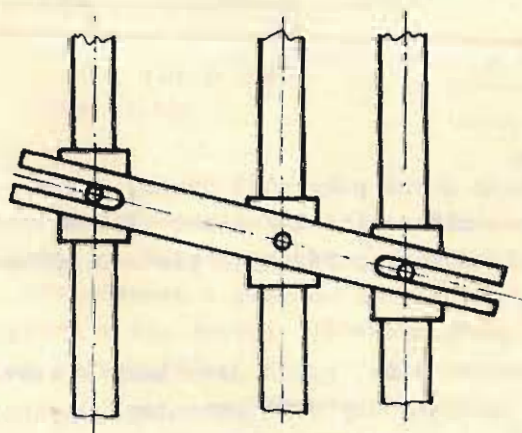
vačky. Nejlepší je konstrukce \underline{c} , kde proti lomu se chráníme jak zesílením kritického průřezu, tak i odpružením.



Obr. 9.192

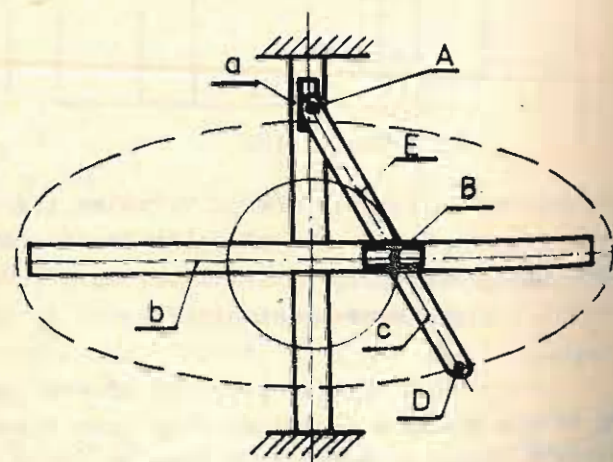
Páky, táhla i vlastní pákové převody tvoří převážnou část pohybových mechanismů s omezenou dráhou pohybu. Můžeme je nalézt v konstrukci přibližných přímočarých a paralelních vedeních, při konstrukci planimetrů a integrátorů, ve všech rovinných i prostorových mechanismech, u vačkových mechanismů ap. Protože jejich užití je velmi rozsáhlé, omezíme se pouze na některé aplikace.

Páky můžeme použít pro sčítání nebo rozklad pohybů. Jednoduchý princip mechanismu pro sčítání pohybů je uveden na obr. 9.193, který může sloužit i jako mechanický spojnicový nomogram. Zde páka sčítá všechny pohyby klouzátek opatřených indexovacím zařízením a pohybujících se po tyčích se stupnicemi. Dalším takovým mechanismem je elipsograf (obr. 9.194).



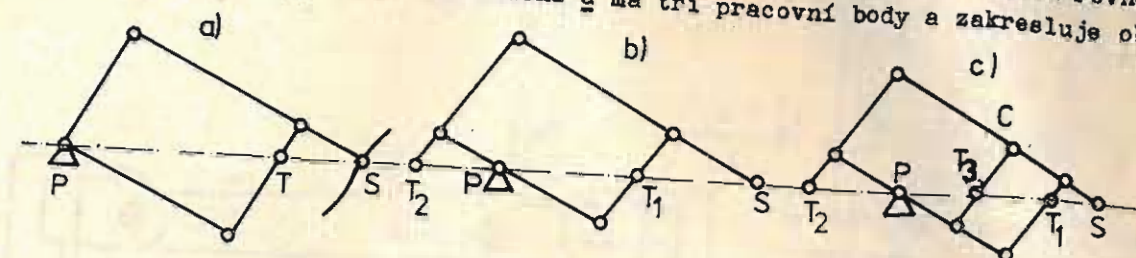
Obr. 9.193

Elipsograf sestává ze dvou pevných navzájem k sobě kolmých vedení. Klouzátko \underline{a} , \underline{b} jsou kloubově spojena s tyčí \underline{c} . Všechny body páky (např. bod D) s výjimkou bodů A, B opisují elipsu. Půlící bod E páky \underline{c} opisuje kružnici.



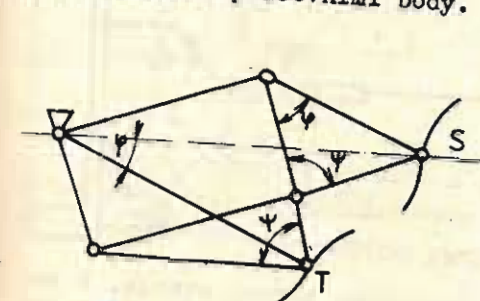
Obr. 9.194

Z přesných pákových mechanismů zasluhuje pozornost pantograf, který bývá hlavní součástí kopírovacích zařízení. Pantografy lze zakreslit nebo vyvodit jednu nebo současně více křivek či pohybů podobných dané křivce nebo základnímu pohybu. Výsledný pohyb může být v měřítku 1 : 1, zmenšen, zvětšen nebo i pootočen. Podstatu pantografu tvoří páková soustava, která má alespoň tři pracovní body. Počet pracovních bodů může být i větší. Pracovní body zachovávají mezi sebou stále stejné vzdálenosti a leží na společné přímce nebo ve vrcholcích podobně se měnících trojúhelníků. Jeden z pracovních bodů musí zachovávat stálou, neměnnou polohu. Schémata základních typů pantografů jsou na obr. 9.195 a, b, c, kde P je pól, S snímací hrot, T písátka. Pantograf je v podstatě tvořen rovnoběžníkem ze skloubených pák. Provedení \underline{a} má tři pracovní body a zakresluje obraz

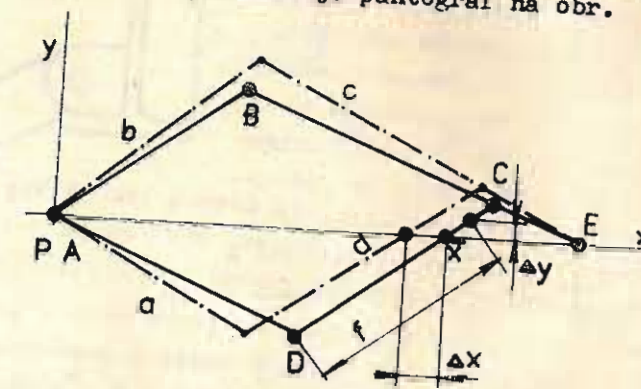


Obr. 9.195

bez pootočení. Provedení \underline{b} má čtyři pracovní body, písátka T_2 kreslí křivku pootočenou o 180° . U provedení \underline{c} je 5 pracovních bodů s pootočením křivky o 180° u písátka T_2 . Pootočení obrazu o libovolný úhel φ umožňuje pantograf na obr. 9.196 se třemi pracovními body.



Obr. 9.196



Obr. 9.197

Počet pracovních bodů je dán počtem členů mechanismu. Každý pracovní bod spadající do pólu zmenšuje počet pracovních bodů o 1. Čím větší je počet kloubů, tím menší bývá přesnost kopírovacího zařízení a současně klesá jeho tuhost.

Od kopírovacích zařízení žádáme vysokou přesnost zobrazení kopírovaných obrazů. Protože nelze absolutně dodržet teoreticky navržené rozměry a bezvládný chod, vznikají odchylky zobrazení. Výpočet přesnosti zobrazení pantografu se třemi pracovními body provádíme v pravouhlém souřadném systému se středem v pólu (obr. 9.197). Teoretická poloha bodů je znázorněna silnými čarami a skutečná poloha pak čarami čerchovanými. Odchylky zakreslené křivky od skutečné určíme z těchto vztahů :

$$\Delta x = x_e \frac{c_1}{e_1} - x_c \frac{f}{d} - x_d \frac{d-f}{d} \quad [\text{mm}]$$

$$\Delta y = y_c \frac{f}{d} + y_d \frac{d-f}{d} \quad [\text{mm}] \quad (9.58)$$

x₈ je souřadnice bodu E.

$$x_d = \frac{x_c}{2} \left(1 + \frac{a^2 - d^2}{x_c^2 + y_c^2} \right) + \frac{y_c}{2} \cdot \left[\frac{4a^2}{x_c^2 + y_c^2} - \left(1 + \frac{a^2 - d^2}{x_c^2 + y_c^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$y_c = \left[b^2 - \left(\frac{x_e^2 - e^2 + b^2}{2x_e} \right)^2 \right]^{1/2} \cdot \frac{e - c}{e} \quad (9.58a).$$

$$y_c = \left[b^2 - \left(\frac{x_e^2 - e^2 + b^2}{2 x_e} \right)^2 \right]^{1/2} \cdot \frac{e - c}{e} \quad (9.58a).$$

$$y_d = \frac{1}{y_c} \left[\frac{a^2 - d^2}{2} + \frac{x_c^2 + y_c^2}{2} - x_c x_d \right]$$

Technical drawing of a mechanical assembly, likely a part of a machine tool. The drawing shows a frame with two horizontal beams. The top beam has a circular feature labeled "PÓL" (Pole) and a small circular feature labeled "FRÉZA" (Milling). The bottom beam has a circular feature labeled "HROT" (Turn). A dashed line indicates a diagonal cut or a specific view.

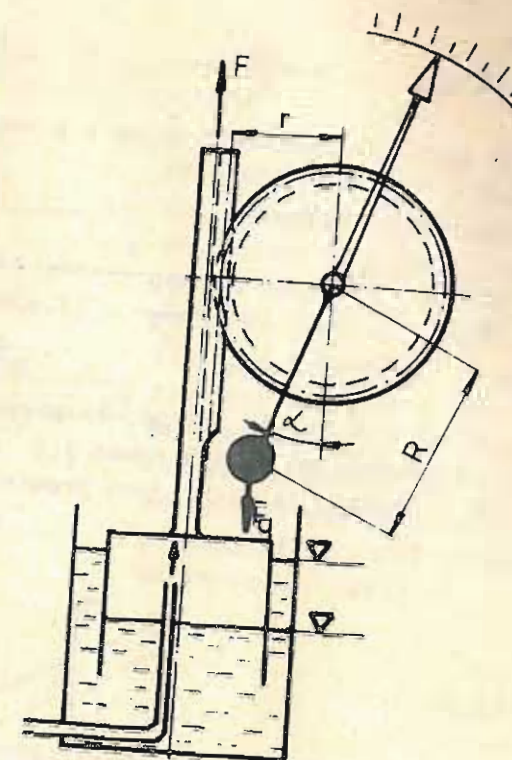
Obr. 9.198

Pákami bývají vybaveny přístroje, a to jednak pro kompenzaci sil a momentů, jednak pro převod malých posuvných pohybů citlivých elementů na rotační pohyby ukazatele.

$$F_r = F_G \cdot R \sin \alpha \Rightarrow \sin \alpha = \frac{F_G \cdot r}{F_G \cdot R} \quad (9.59)$$

- 380 -

Obr. 9.199



Obr. 9.200

$$i = \frac{v_{hn}}{v_{hc}}$$

(9.60)

K nejpoužívanějším mechanismům uvedeného typu počítáme mechanismy unášivé, sinusové a tangenciální. Tyto mechanismy mohou být kombinovány s ozubeným převodem.

$$a \operatorname{tg} \alpha = b' \operatorname{tg} \beta$$

(9.61)

$$\alpha = \arctan \left(-\frac{b}{a} \cdot \tan \beta \right)$$

(9.62)

Derivací (9.61) obdržíme

$$a \frac{d\alpha}{dt} \frac{1}{\cos^2 \alpha} = b \frac{d\beta}{dt} \frac{1}{\cos^2 \beta} \quad (9.63)$$

Výrazy

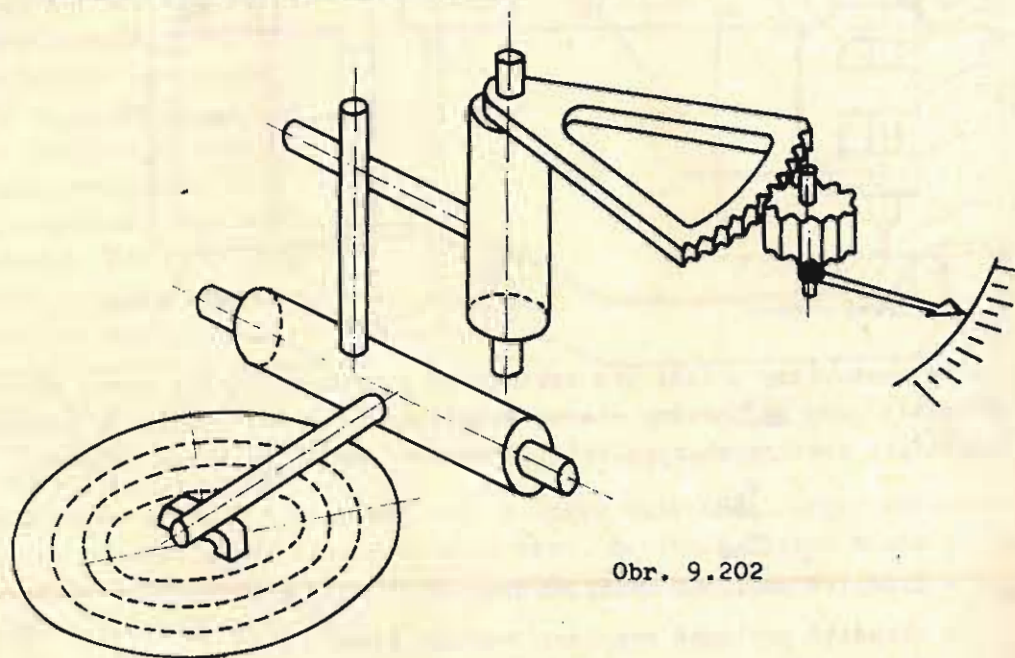
$$a \frac{d\alpha}{dt} = v_{hn} \quad a b \frac{d\beta}{dt} = v_{hc} \quad (9.63a)$$

udávají obvodové rychlosti hnaného a hnacího členu.

Charakteristický převod

$$i = \frac{v_{hn}}{v_{hc}} = \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} = \frac{1}{1 + \left(\frac{b^2}{a^2} - 1\right) \sin^2 \beta} \quad (9.64)$$

Z rov. (9.64) je patrné, že převodový poměr je závislý na poměru ramen a, b a na úhlu β . Uvedené veličiny jsou proměnlivé.



Obr. 9.202

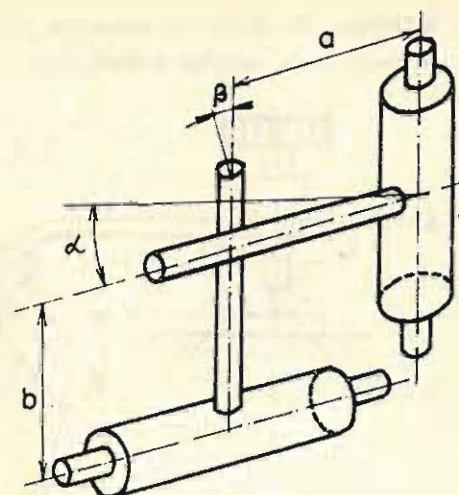
Maximální hodnotu nabývá převod při úhlu $\beta = 0$ ($i = 1$), minimální hodnota i bude pro $\beta = 90^\circ$. Jedině když $a = b$ je převod neměnný a je roven $i = 1$. Tohoto pákového převodu můžeme použít pro linearizaci stupnice např. při měření průtoku kapalin. Poloha pák v rovině dotyku nemusí být kolmá na osy, ale může být i skloněná. Aplikace je u diferenčního manometru na obr. 9.202.

Sinusový pákový mechanismus zobrazuje schéma na obr. 9.203. Páka otočná okolo osy O se dotýká horní plochy zdvihátka či objímky. Posune-li se zdvihátko o dráhu h [mm], pak při délce ramene a [mm] bude platit

$$h = a \sin \alpha \quad (9.65)$$

Derivací podle času dostaneme

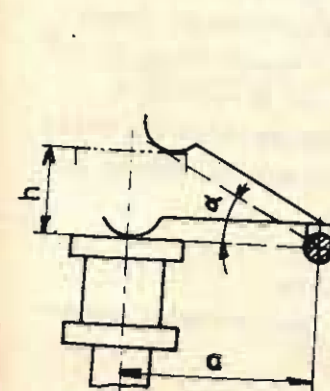
$$\frac{dh}{dt} = a \frac{d\alpha}{dt} \cos \alpha \quad (9.65a)$$



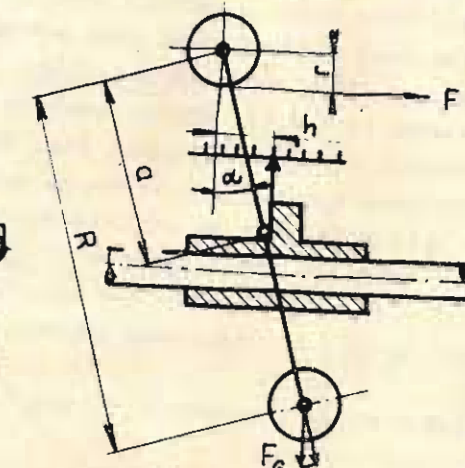
Obr. 9.201

Je-li rychlost hnacího členu $\frac{dh}{dt} = v_{hc}$ a rychlost hnaného členu $a \frac{d\alpha}{dt} = v_{hn}$, bude charakteristický převodový poměr

$$i = \frac{v_{hn}}{v_{hc}} = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{a}\right)^2}} \quad (9.66)$$



Obr. 9.203

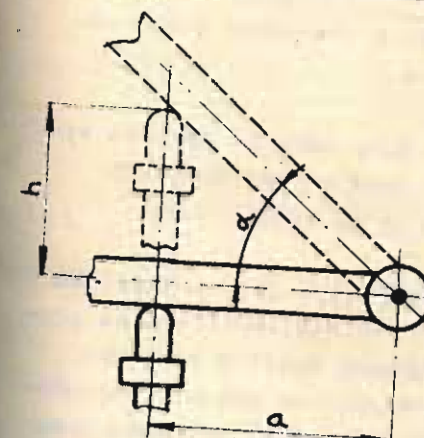


Obr. 9.204

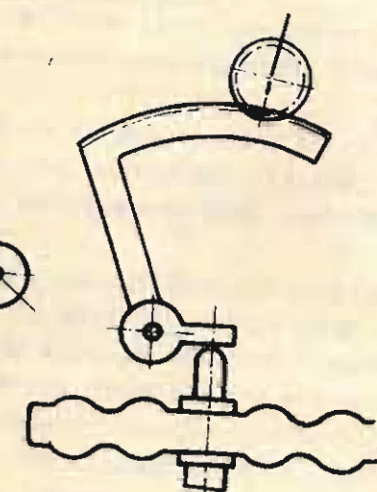
$$h = a \sin \alpha = \frac{a \cdot F}{F_G \cdot R} \cdot F \text{ [mm]} \quad (9.67)$$

Z uvedené rovnice je patrné, že dráha h je funkcí pouze zatěžující síly F , neboť délky ramen a, R, r , a síla F_G [N] jsou konstantní. Tímto mechanismem může být vybaven i odstředivý regulátor.

Tangenciální mechanismus (obr. 9.205) dostaneme ze sinusového mechanismu tak, že posuvný člen zaoblíme.



Obr. 9.205



Obr. 9.206

Popsanou úpravou se při pohybu posuvného členu mění vzdálenost a dotykového bodu páky od její osy rotace. Je-li α úhel natočení, h zdvih, pak

$$h = a \tan \alpha \quad (9.68)$$

odtud

$$\frac{dh}{dt} = \frac{a}{\cos^2 \alpha} \frac{d\alpha}{dt} \quad (9.68a)$$

Protože $\frac{dh}{dt} = v_{hc}$ a

$a \frac{d\alpha}{dt} = v_{hn}$ je převodový poměr

$$i = \frac{v_{hn}}{v_{hc}} = \cos^2 \alpha = \frac{1}{1 + \tan^2 \alpha} = \frac{1}{1 + \frac{h^2}{a^2}} \quad (9.69)$$

Se zvětšováním zdvihu se převodový poměr mění podle hyperboly. Jen když $h \ll a$,

pak bude se i blížit jedné. Tangenciálních mechanismů používáme u krabicových manometrů a aneroidů (obr. 9.206).

Páky mohou tvořit pohonový mechanismus různých přístrojů jako jsou např. mechanické počítací stroje, psací stroje, dálnopisy ap. Pákové převody těchto zařízení pracuje s velkými rychlostmi a zrychleními. Soustavy pák těchto přístrojů mají splňovat předem stanovené kinematické závislosti pro jednotlivé polohy. Nesplnění těchto zákonitostí mají vliv např. u psacích strojů na rychlost psaní, na průběh síly $F = f(s)$ při stisknutí klávesnicové páky a tím ovlivňují únavu písáře. Podle provedených pokusů, je účinnost mezi užitečnou a vynaloženou prací pro vlastní psaní normální rychlostí $\eta = 0,45$. Zbytek energie se vynaloží na zdvihání páky, posuv válce, pohlcení energie nárazníky atd. Aby se dosáhla velká rychlost psaní při minimální spotřebě energie, je třeba, na základě vyšetření pomocí modelových zkoušek, splnit tyto požadavky na mechanismus:

- převod na počátku psaní má mít nulovou hodnotu
- průběh síly po dráze ($F = f(s)$) v čase má být eliptický
- konečná hodnota převodu má mít dvojnásobnou hodnotu jeho střední hodnoty.

Při tom se předpokládá, že klávesa klesá rovnoměrně v čase.

Kinematické závislosti různých pákových systémů jsou znázorněny na obr. 9.207:

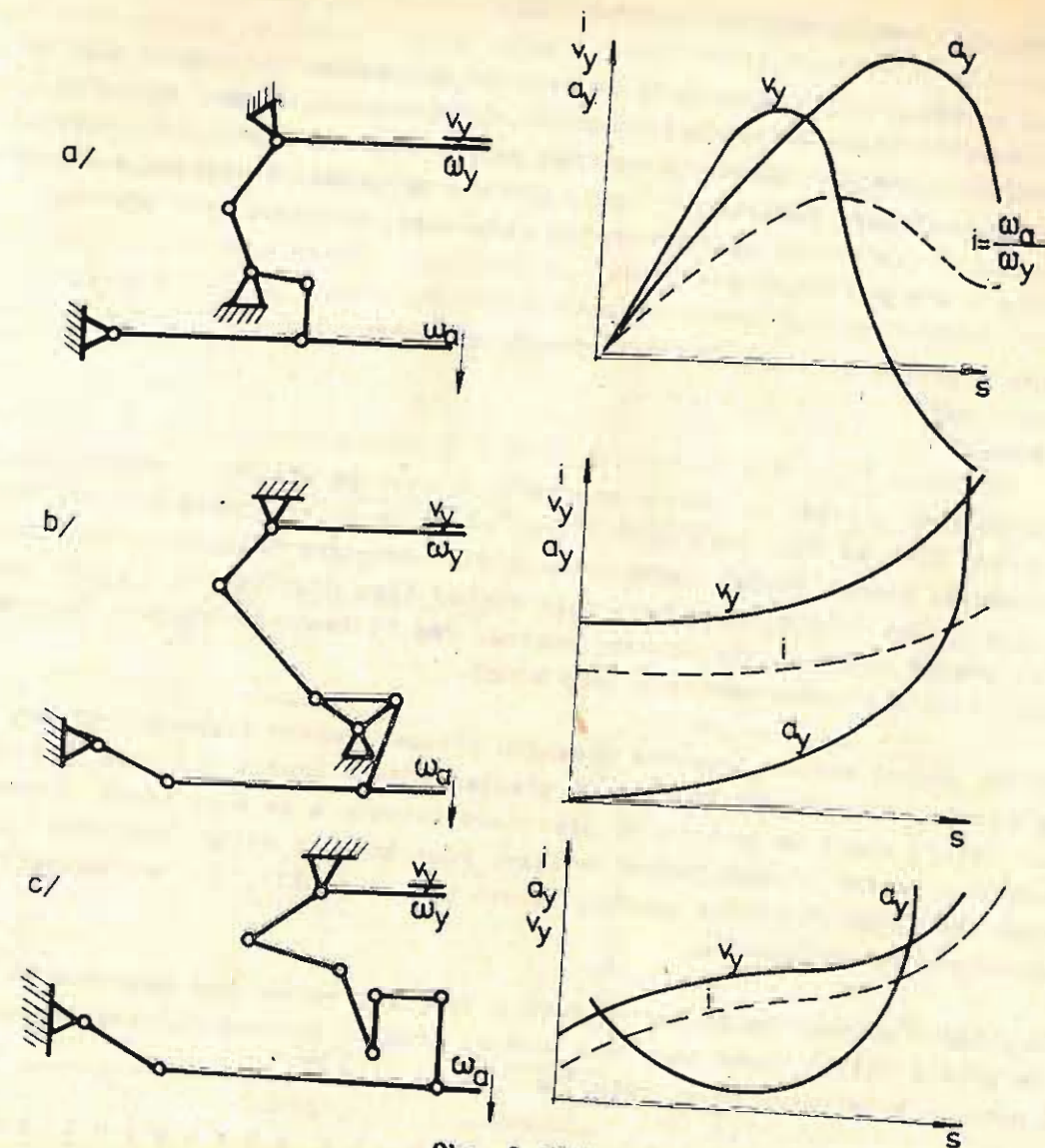
Systém a má stoupající rychlost až do poloviny zdvihu, zrychlení a převodový poměr od poloviny zdvihu klesá. Psaní vyžaduje silný úder a pružení má zpoždění. (Tohoto systému se používá u přenosných psacích strojů).

Systém b (Royal) vykazuje narůstání všech hodnot. Úder je nerovnoměrný, počátek úderu nežadá velkou energii.

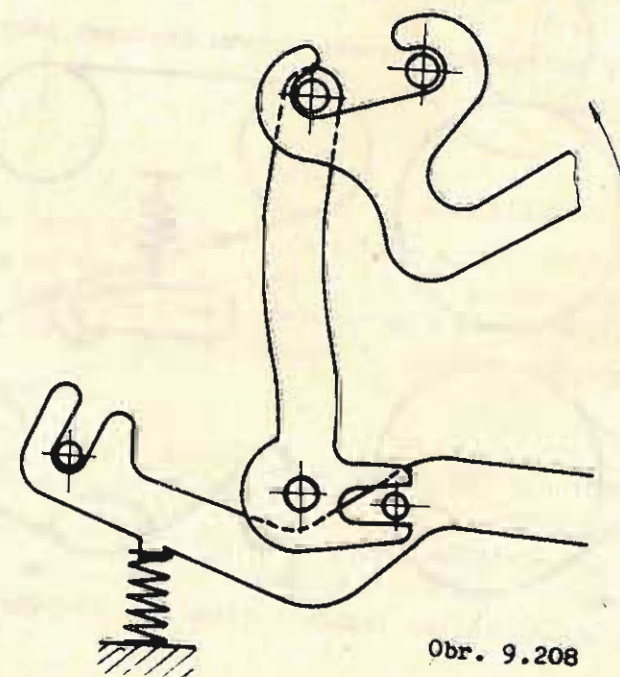
Systém c (Rheinmetall) má rovnoměrný úder, rychlost a převodový poměr narůstá od počátku, zrychlení po počátečním poklesu narůstá.

Rychlostí psaní rozumíme čas od doby nárazu až do doby návratu páky do výchozí polohy. Rychlost se pohybuje v milisekundách, při čemž návrat musí být rychlejší než dopředný chod. Provedení pákového systému je na obr. 9.208.

Na pohonové pákové převody jsou kladeny vysoké požadavky, jak z hlediska kinematického, tak i z hlediska dynamického, protože při velkém zrychlení se projevují velké setrvačné síly. Uvedené problémy se mají přesně řešit u přesných přístrojů a zařízení např. u robotů a manipulátorů založených na pákových kloubových systémech. Mají-li se rychle pracující systémy uvést ihned do rychlého pohybu a okamžitě se zastavit, vznikají velké dynamické síly. Tyto vyvolávají zvýšené namáhání, kladou velké požadavky na tuhost mechanismu, na uložení a i na brzdňý systém. Dynamické síly mají vliv na přesnost celého mechanismu. I při zaváděném rovnoměrném pohonu pákovými mechanismy mohou vznikat vlivem nevyváženosti celého systému dynamické síly a tím i nerovnoměrné pohyby. Proto se pro zmírnění nerovnoměrnosti chodu musí do systému zavádět přídatný setrvačník.



Obr. 9.207



Obr. 9.208

9.5. PŘENOS A PŘEVOD POHYBU OHEBNÝMI ČLENY

Přenos a převod pohybu a krouticího momentu lze uskutečnit pomocí třetího elementu - ohebného členu - obepínajícího převodové kotouče. Pomocí ohebných členů lze převádět a přenášet buď čistě rotační pohyby nebo lze jimi měnit rotační pohyb na pohyb postupný. Protože při tomto převodu nedochází k přímému styku převodových kotoučů, ale převod se děje třetím elementem, nazýváme tyto převody **převody nepřímými**.

Přenos a převod pohybu nepřímými převody může být:

- a) nevázaný
- b) vázaný

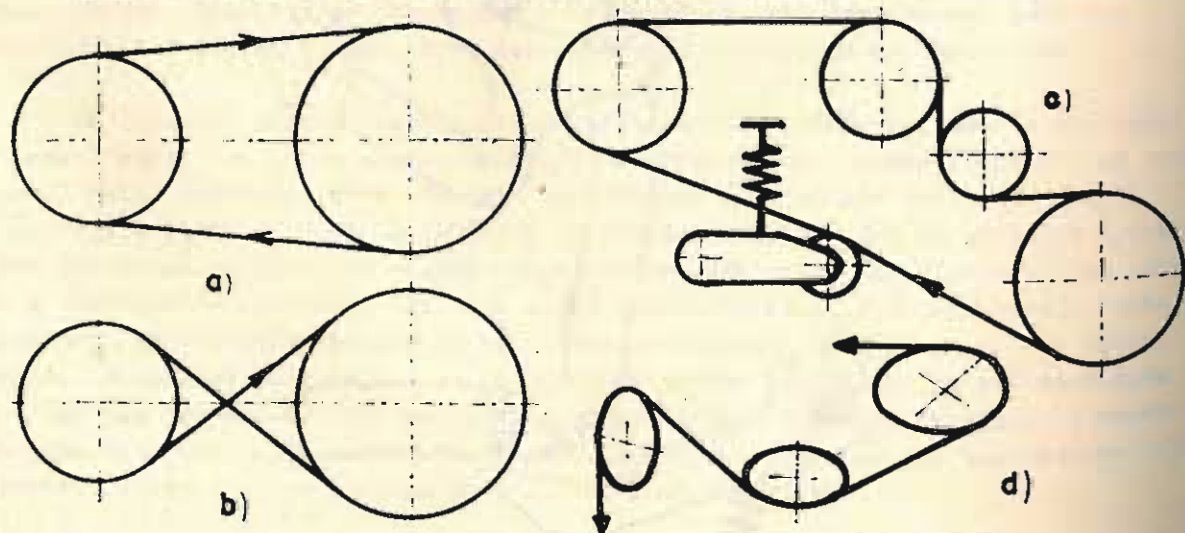
U nevázaného převodu se přenos uskutečňuje silovým účinkem - nejčastěji třením. Ohebný člen má tvar pásu nebo lanka, který je na převodové kotouče nasunut s předpětím. Předpětí mezi ohebným pásem a převodovými kotouči vyvolá tření, potřebné pro přenos pohybu. Za pohybu může ohebný člen prokluzovat a proto nemůže zaručit přesné dodržení převodového poměru. Pás či lanko má obvykle "nekonečnou" délku, kterou získáme spojením jeho konců.

Vázaný převod zaručí dodržení přesného přenosu pohybu tvarovými účinky ohebného členu a převodových kotoučů. K přenosu můžeme použít buď pásu či lanka "konečné" délky, který je navinut na převodové kotouče a na nich pevně uchycen nebo použijeme řetězů obepínajících řetězky. Pásů konečné délky používáme hlavně pro přenos omezeného rotačního pohybu, řetězů můžeme použít, jak pro omezený, tak i pro neomezený rotační pohyb.

Nepřímých převodů používáme především tam, kde vzdálenost převodových kotoučů je příliš velká, nebo tam, kde použití přímých převodů buď komplikuje zařízení nebo je konstrukce přímo vylučuje.

9.5.1. Přenos a převod pohybu ohebnými pásy

Základní principy nevázaného přenosu pohybu ohebnými pásy ukazuje obr. 9.209.



Obr. 9.209

Schéma a je určeno pro souhlasný smysl otáčení převodových kotoučů. Schéma b, tzv. zkřížený převod, umožňuje opačný smysl otáčení hnaného převodového kotouče. Schéma c ukazuje použití vodících a napínacích kladek pro přenos pohybu na žádané místo. Schéma d znázorňuje prostorové uspořádání nepřímého převodu. Zde je vždy nutno použít vodících kladek. Přenos pohybu lze uskutečnit na paralelní, různoběžné i mimoběžné uspořádání hřídelů.

Při ideálním přenosu pohybu nabývá ohebný pás rychlost rovnou obvodové rychlosti hnacího kotouče a tuto předává hnaným kotoučům. Rovnost obvodových rychlostí slouží k výpočtu převodového poměru, protože platí:

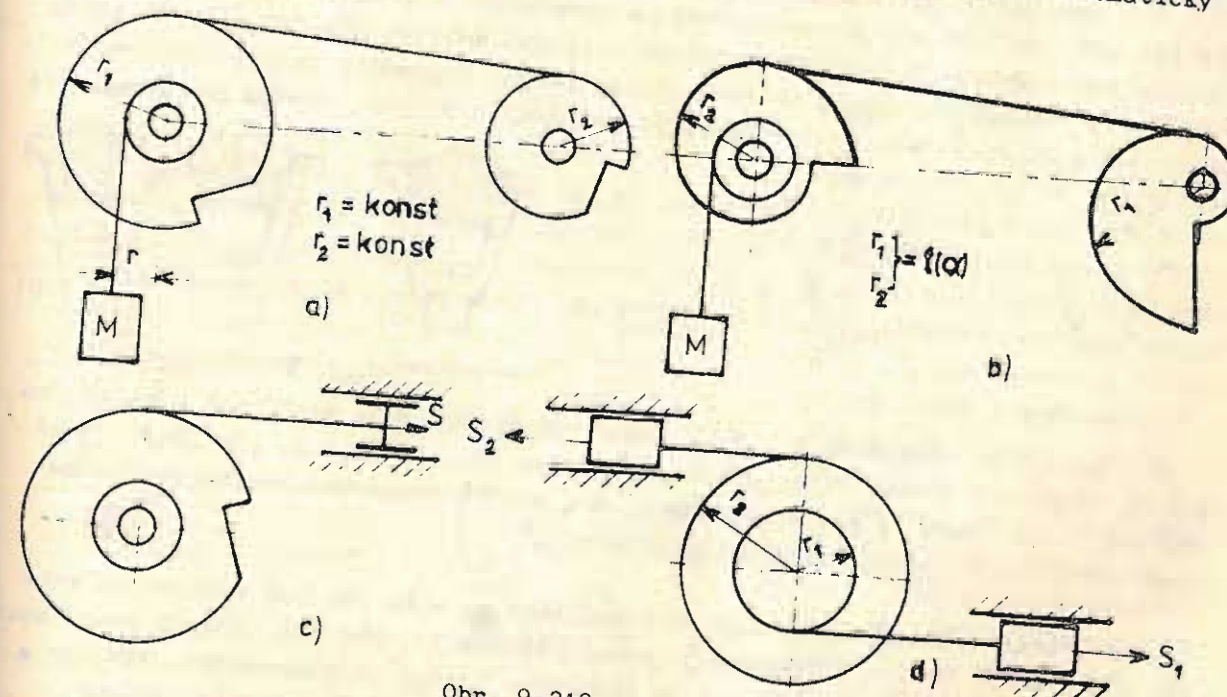
$$v = r_1 \omega_1 = \pi D_1 n_1 = r_2 \omega_2 = \pi D_2 n_2 \quad [\text{m s}^{-1}] \quad (9.70)$$

kde r_1, r_2, D_1, D_2 jsou poloměry a průměry hnacích a hnaných kotoučů.

ω_1, ω_2 jsou úhlové rychlosti hnacího a hnaných kotoučů $[\text{s}^{-1}]$

n_1, n_2 jsou frekvence otáčení hnacího a hnaných kotoučů $[\text{ot.s}^{-1}]$

Převody ohebnými pásy "konečné délky", resp. otevřenými pásy, jsou schematicky znázorněny na obr. 9.210.



Obr. 9.210

Schéma a představuje přenos omezeného rotačního pohybu na kotouče s konstantními průměry. Schéma b je určeno pro nelineární přenos pohybu. Schémata c, d znázorňují převod rotačního pohybu na pohyb postupný přímočarý. Uvedená schémata umožňují vázaný přenos pohybu. Pás u těchto převodů je napínán vnějším zatížením nebo je brzděn.

Ohebné pásy mohou být provedeny jako šňůry, struny, lanka a pásy různého profilu. Materiál pásu má být takový, aby se dobře přizpůsobil zakřivení převodových kotoučů. Pro střední tažné síly se v přesné mechanice používá bavlněných vinutých šňůr ($\phi 1 + 3 \text{ mm}$), lněných šňůr ($\phi 3 + 4 \text{ mm}$), střežních strun ($\phi 0,7 + 2 \text{ mm}$), pryže, šňůr vinutých z umělých vláken (silon, dederon, nylon ap.) Pro

relativně větší síly jsou užívány kožené lanka ($\phi 4 + 8 \text{ mm}$), lanek vinutých z drátů ; tyto jsou pružnější než předcházející. U velmi malých sil postačíme s vlákny z přirozeného nebo z umělého hedvábí.

Je-li ohebný element pro větší a velké síly tvořený pásem, vyrábíme jej z tkaných textilií (bavlna, přírodní či umělé hedvábí, len), z pryže event. kůže z umělých hmot. Při požadavku na malá prodloužení používáme pásek ocelových nebo z fosforového bronzu. Profil pásků a pásů má tvar pravouhelníku, klínu. V poslední době zavedený pás je opatřen na vnitřní straně výstupky (obr. 9.211). Volba

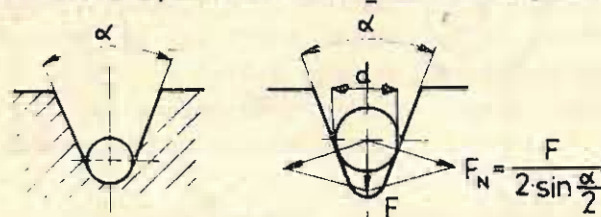


Obr. 9.211

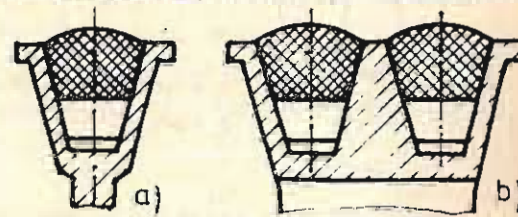
materiálu pro ohebné pásy závisí na funkci, provozních podmínkách a na konstrukci přístroje. Únosnost ohebných členů je dána druhem materiálu a jeho pevnostními charakteristikami. Únosnosti pásů se najdou ve firemních

prospektech popř. se provede výpočet podle vztahů uvedených v přednáškových částech strojů, resp. se provede kontrolní výpočet podle příslušných norem.

Při návrhu převodu ohebnými pásy musíme dbát na správné tvarování převodových kotoučů, protože při přenosu pohybu a krouticích momentů nemá docházet k prokluzu pásu. Zamezení prokluzu vyžaduje docílení velkých třecích sil při malém předpětí. U řemínek kruhového průřezu volíme profil řemeničky nebo kladky podle obr. 9.212 a, b. Provedení a se hodí spíše pro vodící kladky, kdežto pro přenosové



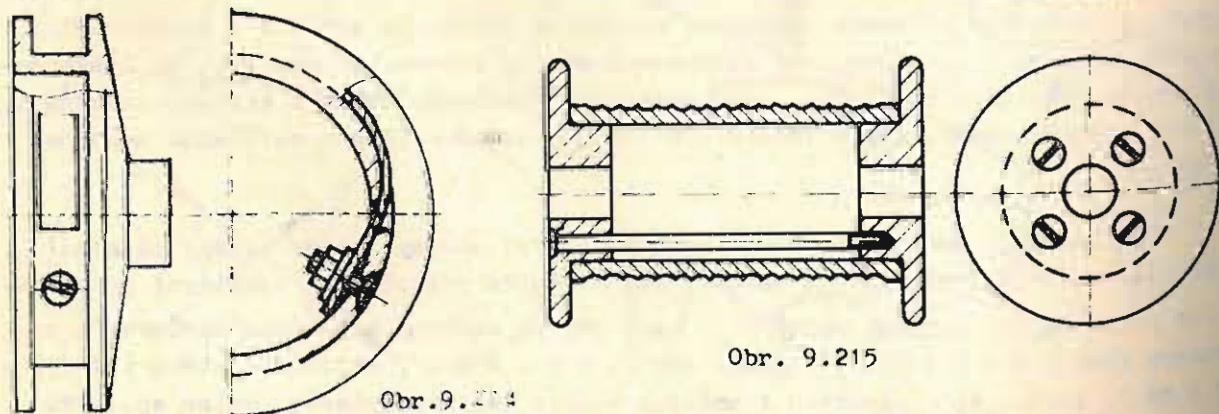
Obr. 9.212



Obr. 9.213

kotouče používáme provedení b). Úhel rozvření drážky α je menší než u klínových řemenic. Tvarování drážek klínových řemenic je na obr. 9.213 a, b, kde profil a se užívá pro jeden řemen, b pro více řemenů. Při návrhu klínových řemenic se řídíme rozměrovými údaji danými výrobcem nebo normou.

U převodů s konečnou délkou ohebného pásu se může pás buď navíjet na sebe nebo vedle sebe. V obou případech je nutno dbát na to, aby pás, šňůra, lanko ap. z řemeniček nesklouzl. Za tím účelem se řemeničky opatří oboustrannými nákrážky a při navíjení vedle sebe se bubínek opatří oblými závit. Konstrukční řešení

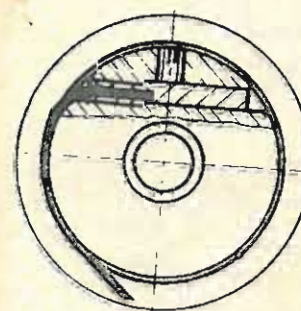


Obr. 9.214

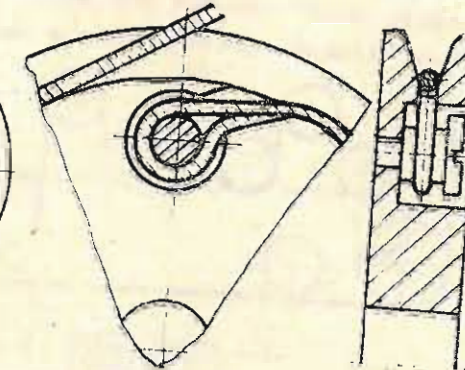
Obr. 9.215

řemeničky a navíjecího bubínku ukazují obr. 9.214 a 9.215.

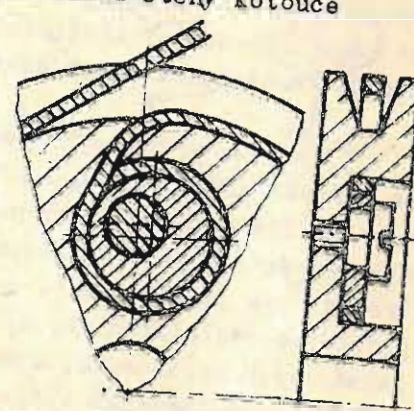
U pásů konečné délky je nutno věnovat zvláštní pozornost jejich uchycení na řemeničku, aby náběh či výběh byl plynulý a nerušil tak přenos pohybu. Způsob uchycení závisí na profilu pásu. Pás procházející zaobleným výřezem je možno zachytit šroubkem (obr. 9.214). Na obr. 9.216 je uchycení pásu provedeno zasunutím pásu 1 do naříznuté vložky 2, vložené do příčného otvoru řemeničky a pojištěné šroubkem 3. Ocelová nebo bronzová lanka se opatří na koncích okem, který se nasune na příslušně tvarovaný šroub nebo kolík zapuštěný do boční stěny kotouče



Obr. 9.216

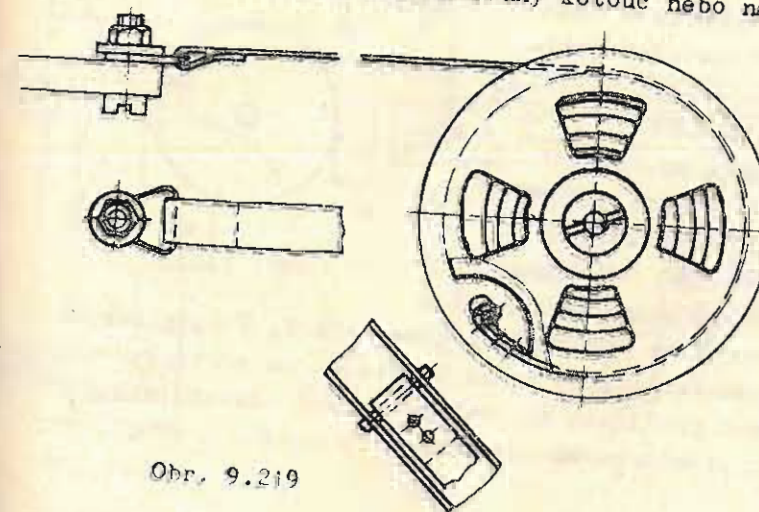


Obr. 9.217



Obr. 9.218

(obr. 9.217). Použití excentru pro zajištění lanka ukazuje obr. 9.218. Textilní pásy či pásy z umělých hmot uchycujeme na převodové kotouče tak, že jejich konec přehneme, pak sešijeme, slepíme, svaříme či spojíme dutými nýtky, a takto vytvořené očko navlékneme na kolík či třmínek. Kolíky tvoří součást převodového kotouče. Třmínkem zachytíme pás na druhý kotouč nebo na kolík či šroub tvořící součást



Obr. 9.219

rámu. Tímto způsobem je např. uchycen pás pro posuvný vozík válce psacího stroje (obr. 9.219). Jak je patrné z obrázku, jeden konec pásu je přichycen třmínkem na vozík, druhý konec se připevňuje na párovník pomocí kolíku. Tento konec pásu je po přehnutí spojen dutými nýtky.

Jak již bylo řečeno, je nutno u přenosů a převodů ohebnými pásy vyvodit jisté předpětí, aby ohebné pásy sledovaly zakřivení kotoučů a přenášely obvodové síly. Pouze pryžové řemínky nebo i řemínky vinuté z ocelových drátů či pásků do kruhového profilu mají při správně volené délce dostatečné pružné vlastnosti pro vyvinutí předpětí. Toto předpětí působí obvykle samočinně, jen v ojedinělých případech se nastavuje. Při dané osové vzdálenosti se u uzavřených pásů nastavuje předpětí zkrácením délky na potřebnou hodnotu. U otevřených pásů se předpětí vyvolá brzdíčkami s protimomentem nebo pružinou. Během provozu dochází k vytažování ohebných pásů a tím i ke zvýšenému prokluzu. Odstanění prokluzu se provádí

buď dostatečným zkrácením délky nebo napínacím zařízením popř. pružinkami připevněnými na koncích pásů (toto obvykle u otevřených pásů).

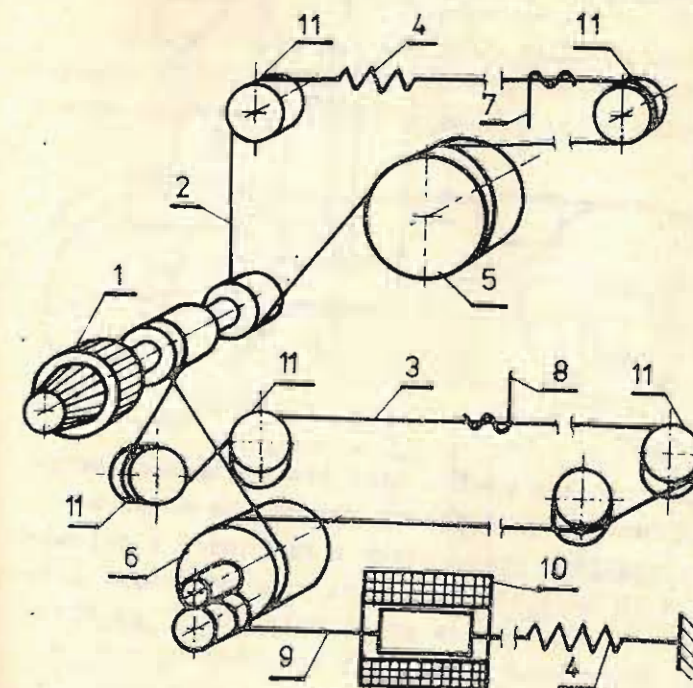
Mimo přenosu plynulého pohybu na větší a velké vzdálenosti, používáme přenosu rotace a otáčivého momentu i na kratší vzdálenosti, kde by byl možný i přímý převod. Je to hlavně v těch případech, kdy chceme zabránit poškození přístroje prokluzem nebo, kdy je i malý prokluz žádoucí. Malá proměnlivost převodového poměru způsobená prokluzem je žádoucí např. u brousících a leštících strojů optických skel. Prokluz totiž zde zajistí, že na totéž místo se dostane vždy jiná část brusného či leštícího kotouče. Další výhodou převodů s ohybnými pásy je možnost nahánění více hřídelů jedním článkem, jak to ukazuje obr. 9.220.

Uzavřených ohebných pásů se v širší míře používá u přístrojích, kde se má rotační pohyb převést na pohyb postupný vratný, jak je tomu např. u přístrojů registračních, u souřadnicových zapisovačů, u magnetofonů, u ladících zařízení

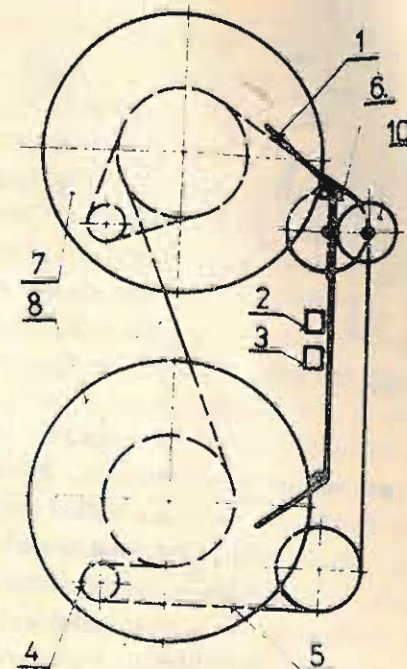
radiopřijímačů ap. Na obr. 9.221 je znázorněn princip zapisovacího ústrojí automatického potenciometru. Přenos rotačního pohybu z kotouče 1 kruhového potenciometru se převádí na lanko 2, které je vedeno vodícími kladkami 3. Ve vodorovném úseku je na lanko připevněno písmenko 4, které koná zápis úměrný pootočení potenciometru. Vodící kladky jsou uchyceny na plochých pružinách 5, z nichž jedna se dá předepínat stavěcím šroubkem 6. Řešení lankového převodu u ladících zařízení radiopřijímačů je uvedeno na obr. 9.222. Zdvojeným ladícím nebo jednoduchým knoflíkem spojeným s axiálně posuvnou spojkou se rotační pohyb knoflíku 1 převádí lankem 2 a 3 na příslušné ladící okruhy. Předpětí lanek provádějí pružinky 4 uchycené na jejich koncích. Úměrně natáčivému pohybu knoflíku se otáčí příslušné ladící kondenzátory 5, 6 a současně se posouvají i ukazatelé 7, 8 podél svých stupnic. Ladící okruh je dále pomocí dalšího lanka 9 napojen na variometr 10. Předpětí tohoto lanka je vyvozeno pružinkou 4. Uvedené řešení převodu ukazuje aplikaci současného rovinného i prostorového uspořádání lankového převodu, při použití vodících kladek 11.

Pohon magnetofonů je řešen použitím buď čistě řemínekového převodu nebo kombinací řemínekového a třecího převodu. Přímého třecího převodu se užívá zásadně vždy jen pro rychlé přetáčení pásky. Požadavky na pohyb magnetofonového pásky jsou dosti náročné. Pohyb musí mít zajištěnou stálou rychlost posuvu bez kolísání a musí umožnit rychlé přetáčení. Proto vlastní převod je dosti složitý. Princip tohoto převodu je na obr. 9.223. Magnetofonový pásek 1 je veden pomocí kolíků od odvíjecího bubnu 8 podél přehrávací, nahrávací hlavy 2 a mazací hlavy 3 na navíjecí buben 7. Náhon všech rotujících částí je odvozen od motorového hřídele 4

pomocí tří paralelně uspořádaných pryžových řemínek 5. Tyto postupně předávají pohyb na hřídelík pohonu pásky 6 se setrvačником a na bubny 7, 8. Napínací a vodící kladka 9 vyvozuje příslušné předpětí řemíneků. Protože rychlost pásky je

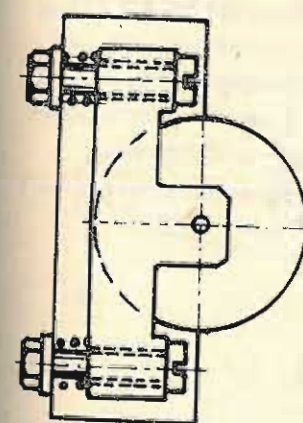


Obr. 9.222

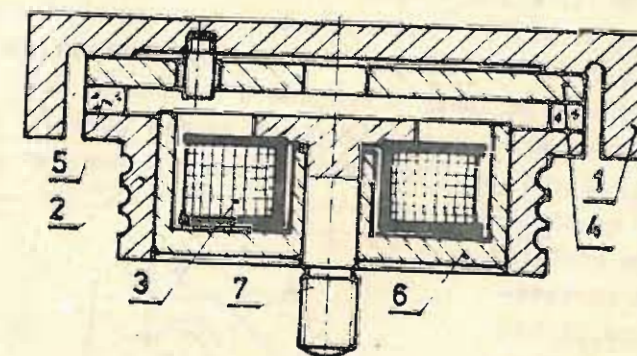


Obr. 9.223

dána hřídelíkem 6, je navíjení na buben 7 řízeno elektromagnetickou prokluzovací spojkou, umístěnou mezi talíř a řemenicí. Odvíjení z bubnu 8 je řízeno třecí brzdou pevně uchycenou na chassi magnetofonu. Rychlé převíjení a navíjení se provádí



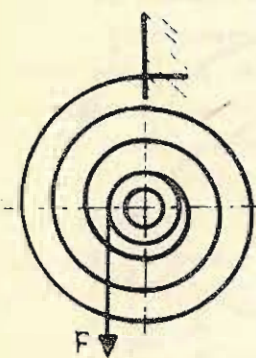
Obr. 9.224



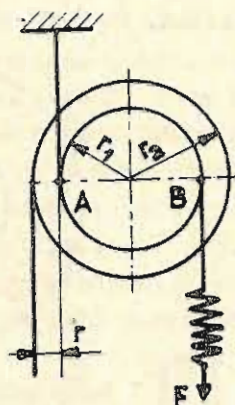
Obr. 9.225

přímým náhonem kotoučů 7, 8, který je zapínán opět elektromagnetickou spojkou. Konstrukci dotlačovací a vodící kladky 9 ukazuje obr. 9.224, kde 1 je otočná páka uchycená na chassi, 2 je odpružený nosník s ložisky, 3 jsou přitlačovací pružiny. Elektromagnetická spojka je na obr. 9.225. Nosný talíř je označen 1, řemenička 2, kovový válec pevně spojený s řemeničkou 6, třecí kotouč spojený s talířem 4, třecí disk 5, elektromagnetická cívka 6, vodící čep 7. Zapnutím elektrického obvodu se řemenička posune, přitlačí disk 5 na třecí kotouč 4 a tím uvede do chodu talíř 1.

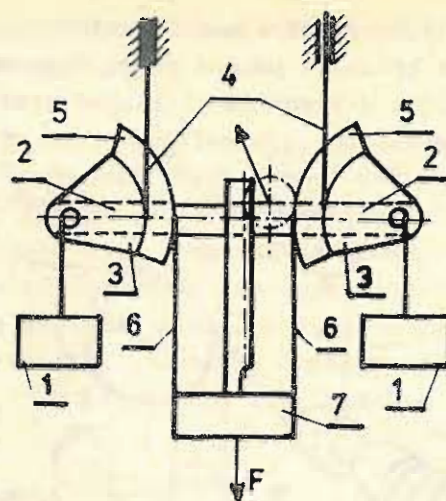
Aplikaci otevřených pásů t.j. pásů konečné délky uvedeme na těchto příkladech. Na obr. 9.226 je princip zařízení pro vyvození malých úhlových pohybů hřídelíku táhlem pásky navinutého a pevně uchyceného na kotouč. Vratnou sílu tvoří



Obr. 9.226



Obr. 9.227



Obr. 9.228

spirálová plochá pružina. Páskových převodů lze použít také pro zvětšování pohybů. Zařízení na obr. 9.227 má stejnou funkci, jako pákový převod. Na soustředěných kladkách je kladka o poloměru r_2 opatřena dvěma pásky a na kladce o poloměru r_1 je navinuta jenom jedna páska, a to tak, aby byla mezi výše uvedenými dvěma páskami. Posunutím pásku na kladce o r_1 , natočí se protilehlý bod B na kladce r_2 tak, jako páka, která má otočný bod v bodě A. Rozdíl poloměru $r_2 - r_1 = \Delta r$ tvoří jedno rameno páky. $2 r_1$ pak druhé rameno. Převodový poměr této "páky" $i = \frac{2 r_1}{\Delta r} = \frac{S_1}{S_2}$, kde S_1, S_2 jsou vyvozené pohyby pásků. Tímto převodem lze docílit převodu až $i = 350$. Pro pásky se používá ocele. Tohoto principu se užívá u sklonných vah "Toledo" obr. 9.228. Sklonné vahy mají dvě kyvadla 1, pro zajištění souměrnosti a tím i necitlivosti k malému nepřesnému vyvážení vah. Kyvadla jsou uchycena na příčce 2 a opatřena jednak kruhovými segmenty 3, na něž se navíje páska 4 uchycená do tělesa vah a jednak nekruhovými segmenty 5, z nichž se odvíjí resp. navíjí páska 6 spojená s táhlem 7. Táhl 7 nese vážnou plochu. Nekruhové segmenty zaručují svislý pohyb úměrný síle F . Tvar nekruhových segmentů je tvořen prodlouženou cykloidou, protože konce pák neopisují kružnici. Svislý pohyb příčky se přenáší na pastorek ozubeným hřebenem. Pastorek je opatřen ukazatelem. Silové poměry na těchto vahách jsou znázorněny na obr. 9.230. Podmínka rovnováhy platí, když

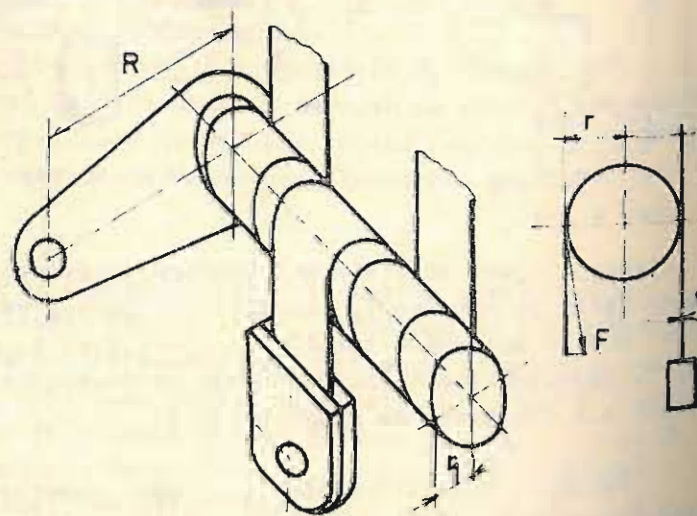
$$F_1 \cdot 2a = F_2(R+a) \quad [N \cdot mm] \quad (9.71)$$

kde F_1 je tíhová hmotnost kyvadla [N]

F_2 je tíhová hmotnost váženého předmětu [N]

$a = r + t/2$ je rameno síly F_2 [mm]

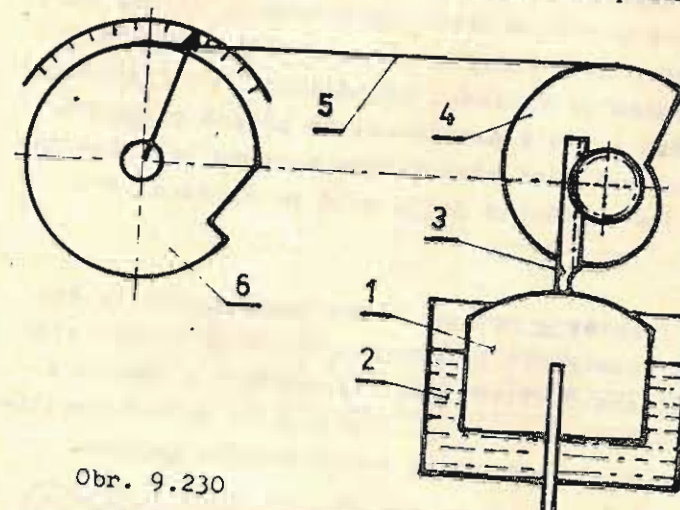
r je poloměr otočného čepu [mm]



Obr. 9.229

t je tloušťka ocelového pásu [mm]
Osa hřídele není pevně vedena, ale hřídel je veden rovinnou plochou, k níž je přitlačován malou složkou síly F_2 .

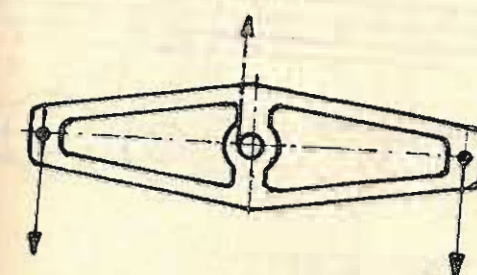
Neokrouhlých kotoučů s proměnlivým poloměrem se dá užít i pro vyvození plynulé změny převodového poměru. Neokrouhlý kotouč může být propojen buď s kotoučem konstantního nebo i proměnlivého poloměru pomocí ohebných pásů. Tímto převodem je vybaven např. rychlostní plynoměr obr. 9.230. Zvon 1 ponořený do nádoby 2 s uzavěrnou kapalinou je nazvedáván silou úměrnou rychlosti proudícího plynu. Svislý pohyb zvonu je převáděn ozubenou tyčí 3 na rotační pohyb neokrouhlého kotouče 4. Natočení kotouče 4 je páskem 5 převedeno na úhlové natočení kotouče 6. Protože rychlost plynu je dána vztahem $v = \beta \sqrt{p}$, kde p je tlak pod zvonek, pak úhel natočení kotouče je úměrný rychlosti



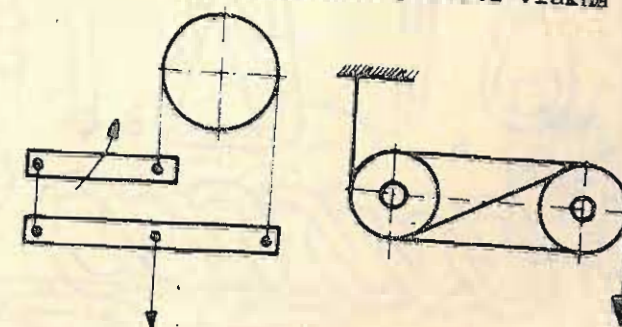
Obr. 9.230

$v \approx \alpha = \beta \sqrt{p}$. Abychom dostali lineární dělení stupnice, musíme tvar neokrouhlého kotouče podříditi danému vztahu. Naháněný kotouč má konstantní poloměr.

Ohebnými členy t.j. vlákny či pásky můžeme u přístrojů nahradit i břitové uložení pro uchycení vahadel (obr. 9.231), kde u mikrovah jsou použita vlákna hedvábná či křemenná.



Obr. 9.231



Obr. 9.232

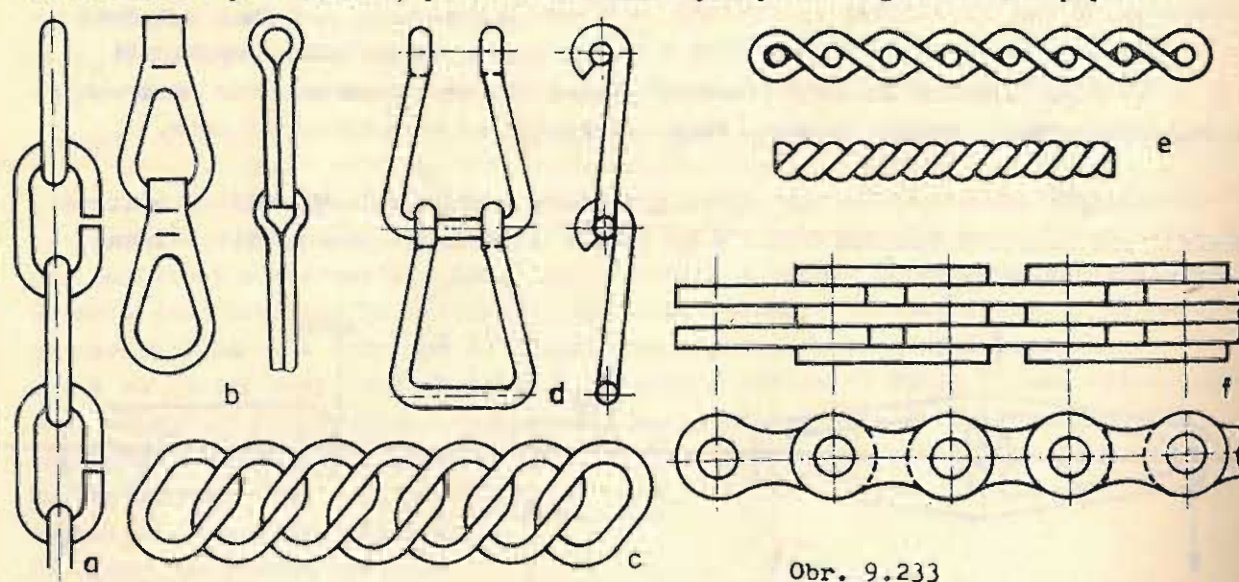
Ohebných vláken se dá využít i pro realizaci čistého krouticího momentu způsobem znázorněným na obr. 9.232 a tím možnost vyšetřovat modely konstrukcí zatížených čistým krutem.

Související normy ČSN :

02 3109 + 02 3114 ; 02 3177 ; 02 3180.

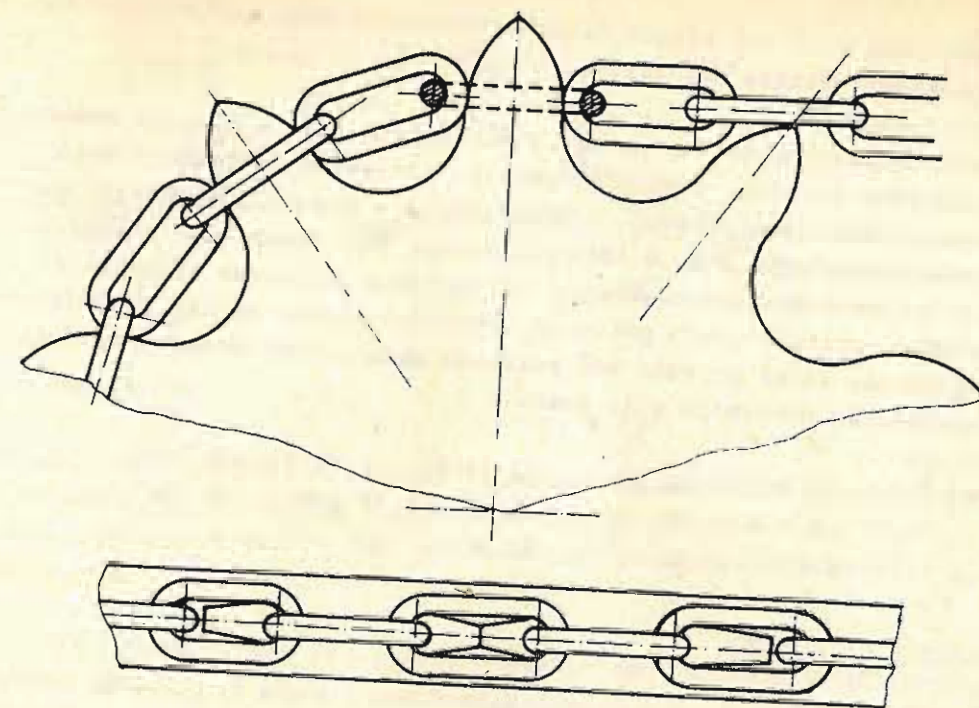
Přenos a převod pohybu řetězů se děje tvarovým účinkem. Oproti přenosu ohebnými pásy mají tyto řetězové převody výhodu v tom, že ke své činnosti nemusí mít předpětí a proto je zatížení hřídelů a ložisek zmenšeno. Podstatná výhoda přenosu pohybu řetězem spočívá v jeho vázanosti t.j. činnosti bez prokluzu, vyvolanou účinkem tvarového styku na převodových kotoučích. Řetězový převod je vhodný všude tam, kde se jedná o přenos pohybu na větší vzdálenosti, kde se žádá přesné dodržení převodového poměru resp. jeho změny a kde je nutný přenos bez prokluzu. Jistou nevýhodou tohoto přenosu je kolísání přenášeného krouticího momentu, vyvolaného tuhostí článku řetězu a tím v nemožnosti se přesně přizpůsobit zaoblení řetězového kola. Zmírnění kolísání přenášeného momentu je možné docílit zmenšením rozteče článků řetězu a zvětšením počtu zubů na řetězce. Při rychlém pohybu řetězový převod hlučí.

Základ řetězových převodů tvoří řetěz a řetězka. Druh používaných řetězů v přesné mechanice je omezen povahou konstrukce přístrojů. Základní druhy řetězů jsou uvedeny na obr. 9.233. Článek řetězky (a,d) vyrobeného z mosazi a nesvařené používáme pro podřadné úkoly a malé síly. Přesnější vedení docílíme řetězem v provedení b, používaného často pro posuv registračního papíru.

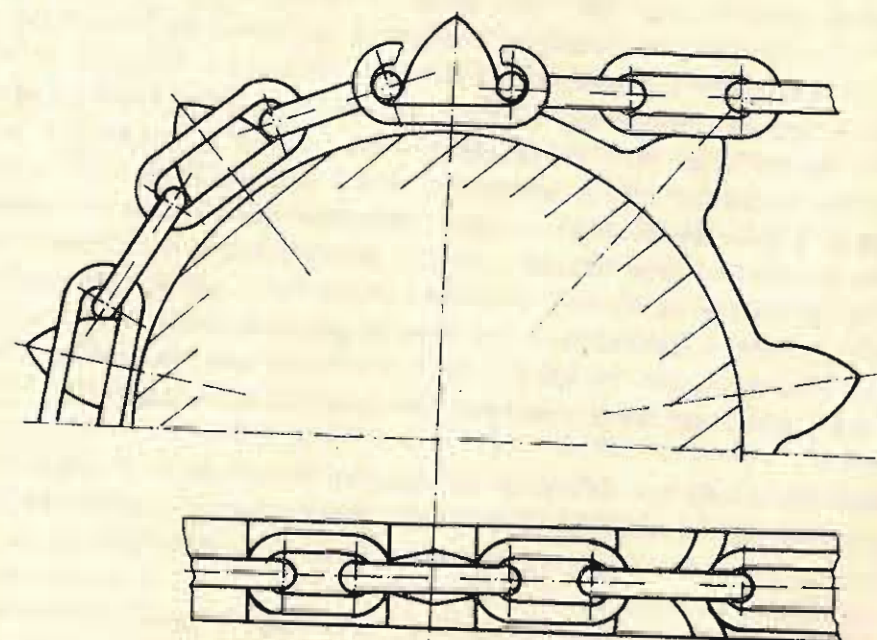


Pro větší i velké síly používáme Gallovy řetězy jednoduché, dvojité či trojitě (f). Při větších obvodových rychlostech i řetězů válečkových. Použití dalších typů řetězů jako např. zubových, Ewartových a jiných se v přesné mechanice nevyplácí. Počet článků řetězu má být pokud možno vždy sudý.

Řetězky mají být přizpůsobeny tvaru použitých řetězů. Pro článkové řetězy je možno řetězku konstruovat dvojím způsobem, a to tak, že články řetězu zapadají do zubových mezer buď v rovině kola (obr. 9.239) nebo kolmo k ní (obr. 9.235). U prvního provedení jsou řetězky tvořeny jednoduchým věncem, druhé provedení má věnec dvojitý. Konstrukce řetězek pro Gallovy řetězy, zubové řetězy byly popsány v předmětu části strojů a ve strojnickém kreslení resp. v příslušné normě. Tvar řetězek lze odvodit na základě kinematických zákonů pro odvalování. Na



Obr. 9.234



Obr. 9.235

rozdílu od řetězů má být počet zubů na řetězkách lichý, aby se zuby a články při provozu střídaly a tím se zajistilo jejich rovnoměrné opotřebení.

Silový výpočet při přenosu malých sil obvykle neprovádíme, protože konstrukční důvody vždy řetězy předimenzovávají. Při větších a velkých přenášených krouticích momentech výpočet provést musíme a pak se opíráme o vztahy uvedené v přednáškových částech strojů, o příslušnou normu resp. o údaje dané výrobcem.

Silově namáhané řetězy se za provozu opotřebovávají, jejich délka se zvětšuje a tím se prověšují. Při konstrukci řetězových převodů je nutno pamatovat na

možnost napínání řetězů, a to buď změnou osové vzdálenosti nebo napínací řetězkou. Při velkém protažení řetězu vypouštíme článek.

Přenos a převod pohybu řetězy se užívá analogicky jako u převodů ohebnými pásy. Dáváme jim však přednost v těch případech, kdy se mají přenášet větší síly a chceme zaručit konstantní převod. Přenos pohybu a krouticího momentu se může dít buď řetězem uzavřeným, a to v těch případech, kdy chceme mít přenášet plynulý rotační pohyb nebo řetězem otevřeným pro vyvození úhlového natočení či pro přeměnu rotačního pohybu v pohyb postupný. Otevřené řetězy musíme na příslušných řetězkách zajistit. To se provádí buď kolíčkem nebo u hodinářských řetězků stačí zaháknutí háčkem do pérovníku a do šneku.

Související normy ČSN : 02 3301; 02 3311; 02 3312; 02 3315; 02 3316;
02 3321; 02 3329; 02 3330; 02 3382; 01 4805;
01 4809; 01 4811; 01 3218.

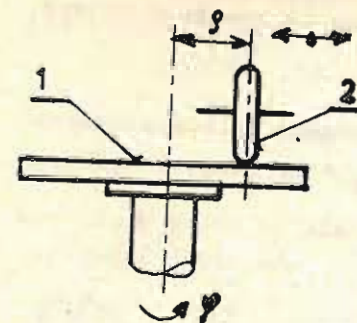
9.6. INTEGRAČNÍ MECHANIZMY

V měřicí a regulační technice se velmi často setkáváme s požadavkem získat integrovanou hodnotu měřené veličiny. Tuto hodnotu měřené veličiny lze obdržet přímo t.zv. integračním přístrojem, jako jsou např. počítadla otáček či kyvů, rychlostní vodoměry či anemometry, plynoměry, časoměrná zařízení ap. Existuje však celá řada měřících problémů, kdy potřebujeme nejen znát okamžitou hodnotu měřené veličiny, ale je třeba zjistit průměrnou hodnotu za určité časové období, nebo nárůst hodnoty buď v časové nebo jiné závislosti. Jsou to např. okamžitá a celková spotřeba, okamžitý a průměrný výkon, stanovení dráhy z rychlostí nebo zrychlení, matematická naděje a pravděpodobnost výskytu nějakého jevu. Na druhé straně harmonickou analýzou kmitavého děje můžeme zjistit jeho spektrum ap. Podstata řešení těchto problémů spočívá v integraci průběhu měřené veličiny a v dalším zpracování získaného údaje, t.j. zjištění hodnoty plochy pod záznamem. Tímto způsobem můžeme obdržet nejen plochu daného obrazce, ale i statický nebo setrvačností moment. K tomu musí být měřicí zařízení opatřeno integračním systémem.

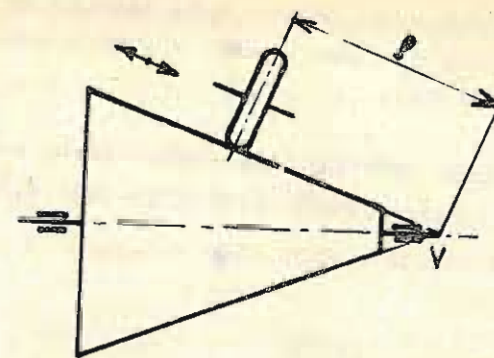
Integrační systémy mohou být založeny na různých principech. V současné době, kdy stále více používáme převodníků mechanických veličin na elektrické veličiny - proud či napětí, nabývá převahy elektrická integrace. Tyto metody jsou zvláště vhodné pro rychle probíhající veličiny. My se však v této kapitole zaměříme na mechanické integrační mechanismy, protože i tyto mají v nynější době své opodstatnění a ne vždy se všechny veličiny dají převést na elektrické, nebo elektrickou integraci použít např. při zpracování grafických záznamů.

Již v kapitole o třecích převodech jsme poukázali na možnost jejich využití k provádění matematických úkonů. Právě třecí mechanismus tvoří základ konstrukce mechanických integrátorů. Základní princip integračního mechanismu je znázorněn na obr. 9.236. Otáčí-li se lící kolo 1, přenáší se rotační pohyb třením na integrační kolečko 2, které se může posouvat v radiálním směru. Hodnota odvalení integračního kolečka (v délkových jednotkách obvodu) při natočení lícího kola o úhel φ bude dána výrazem

$$O = \int \varphi d\varphi \quad (9.72)$$



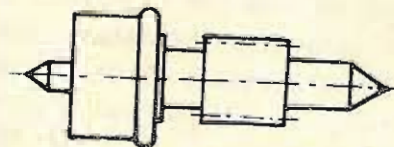
Obr. 9.236



Obr. 9.237

kde q udává vzdálenost integračního kolečka od osy rotace lícího kola. Když poloměr q bude úměrný změně rychlosti a rotace kola bude konstantní, pak odvalení kolečka bude úměrné uběhnuté dráze. Má-li se integrovat dvakrát (např. pro určení dráhy ze zrychlení), pak se otáčení integračního kolečka musí analogickým systémem převést na druhé integrační kolečko. Místo lícího kola můžeme použít i kužele (obr. 9.237), při čemž i zde bude platit vztah (9.72). Tyto uvedené principy jsou použity u integračních mechanismů.

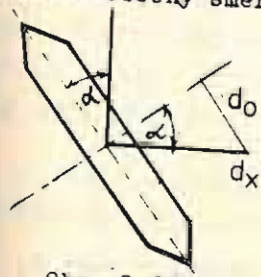
Základním prvkem integračního mechanismu je integrační (rejdrovací) kolečko (obr. 9.238). Je to přesně obrobáný kotouč z kvalitního materiálu (nerezová ocel), kalený, nalisovaný na ocelový hřídelík zakončený hroty. Integrační kolečko je zabroušené zabroušenou fazetkou. Zabroušení musí být provedeno přesně ve směru podélné osy hřídelíku. Jinak by mohlo při smýkání kolečka ve směru podélné osy dojít k přidávajícímu odvalování, které by mělo vliv na přesnost mechanismu. Na rejdrovací kolečko je připevněn bubínek s bílým (např. celuloidovým) noniusem s vyrytou stupnicí. Stupnice má obvykle 100 dílků a tak při desetinném kolečku, které je poháněno šnekem vyrobeným přímo na hřídelíku. Pro méně přesné integrační mechanismy se používá dvouchodého šneku a počítací kolečko má 20 zubů. Přesné mechanismy mají jednoduchý šnek a počítací kolečko 50 zubů.



Obr. 9.238

V těchto případech je dělení kolečka provedeno na 50 dílků. Abychom tření v mechanismu zmenšili na minimum, ukládáme hřídelík do hrotového uložení, neboť jiný druh uložení by mohl vyvolat částečné blokování a tím klouzání kolečka po podložce. Tak by mohlo dojít k nepřesnému odečtu hodnot. Hroty mohou být vyrobeny zvláště a do hřídelíku zalisovány.

U integračních mechanismů se může integrační kolečko pohybovat v libovolném směru (rejdrovat). Při obecném směru se integruje pohyb pouze ve směru kolmém na podélnou osu hřídelíku, ve směru rovnoběžném dochází ke smyku. Za tím účelem rozkládáme obecný směr pohybu (obr. 9.239) na složku rovnoběžnou s osou hřídelíku $dx \cdot \cos \alpha$, na kterou integrační kolečko nereaguje a na složku kolmou na osu hřídelíku $dx \cdot \sin \alpha$.



Obr. 9.239

Tato složka vyvolává odvalení kolečka, jehož celková hodnota bude dána výrazem

$$O = \int dx \cdot \sin \alpha \quad (9.74)$$

Tento rozklad pohybů integračního kolečka se stává teoretickým i realizačním základem planimetrů a jiných integračních přístrojů.

Teorie planimetru spočívá na pohybu tyče dané délky L , která se jedním koncem pohybuje po známé křivce C_1 (obr. 9.240) a druhým koncem po uzavřené křivce C_2 , jejíž plochu chceme určit.

Nechť počáteční poloha tyče zaujímá v pravouhlém souřadném systému body $A_1(x_1, y_1)$ a $A_2(x_2, y_2)$, a nechť úhel tyče, tj. $\overline{A_1A_2} = L$, zaujímá s osou x úhel φ . Pak platí:

$$\begin{aligned} x_2 - x_1 &= L \cos \varphi \\ y_2 - y_1 &= L \sin \varphi \end{aligned} \quad (9.75)$$

Přemístěním tyče, po daných křivkách v drahové závislosti, do soumězné polohy opíší průvodiče

$\varrho_1 = \overline{OA_1}$ a $\varrho_2 = \overline{OA_2}$ kruhové výseče. Jejich plochu můžeme určit z Leibnitzova vztahu:

$$S_1 = -\frac{1}{2} \int (x_1 dy_1 - y_1 dx_1) \quad (9.76)$$

$$S_2 = -\frac{1}{2} \int (x_2 dy_2 - y_2 dx_2)$$

Rozdíl ploch

$$2(S_2 - S_1) = \int [(x_2 dy_2 - y_2 dx_2) - (x_1 dy_1 - y_1 dx_1)] \quad (9.77)$$

udává základní vztah pro vyšetřování ploch pomocí planimetru. Výraz za integračním znaménkem můžeme upravit pomocí vztahu (9.75).

$$\begin{aligned} (x_2 dy_2 - y_2 dx_2) - (x_1 dy_1 - y_1 dx_1) &= L^2 \cdot d\varphi + L \cdot (x_1 \cos \varphi + y_1 \sin \varphi) d\varphi + \\ &+ L \cdot (\cos \varphi dy_1 - \sin \varphi dx_1) = L^2 \cdot d\varphi + L \cdot d(x_1 \sin \varphi_1 - y_1 \cos \varphi_1) + \\ &+ 2L \cdot (\cos \varphi dy_1 - \sin \varphi dx_1) \end{aligned} \quad (9.78)$$

Provedeme-li integraci podle s v mezích s_1 a s_2 dostaneme pro první výraz (9.78).

$$L^2 \varphi(s_2) - L^2 \varphi(s_1) = L^2 \alpha$$

kde α značí úhel natočení tyče v odpovídajícím smyslu. Druhý výraz pravé strany (9.78)

$$L \cdot (x_1 \sin \varphi - y_1 \cos \varphi)$$

lze vyjádřit pomocí trojúhelníků $\triangle OPM_1$ a $M_1 A_1 M$

$$\overline{OP} = \overline{O_1 M_1} \sin \varphi = x_1 \sin \varphi \quad \overline{NP} = \overline{A_1 M_1} \cos \varphi = y_1 \cos \varphi$$

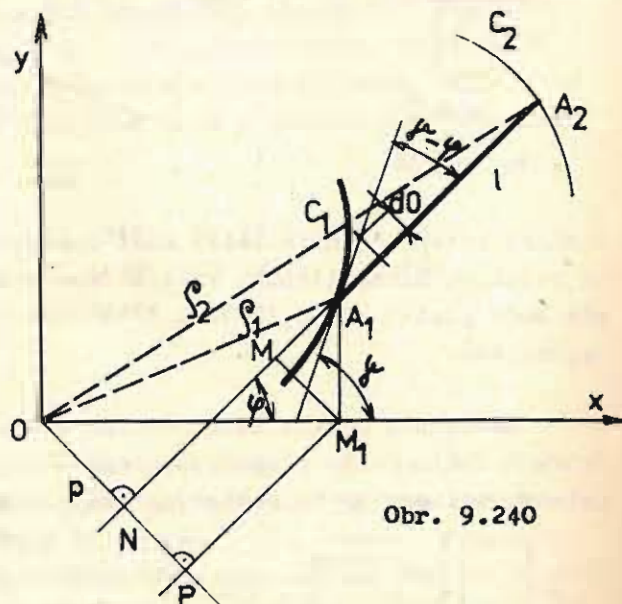
Délka úsečky $\overline{ON} = p = p(s)$ odpovídá výše uvedenému vztahu

$$p = x_1 \sin \varphi - y_1 \cos \varphi \quad (9.79)$$

Jeho integrací podle s obdržíme

$$L p(s_2) - L p(s_1) = L(p_2 - p_1) \quad (9.80)$$

Pro určení posledního výrazu pravé strany rov. (9.78) se sestrojíme v bodě A_1 tečnu ke křivce C_1 . Tato tečna svírá s osou x úhel γ_1 , a se směrem tyče úhel



Obr. 9.240

$(\gamma_1 - \varphi)$. Provedeme-li nyní linearizaci elementárního oblouku ds_1 na tečnu, pak platí

$$dx_1 = ds_1 \cos \gamma_1 \quad a \quad dy_1 = ds_1 \sin \gamma_1 \quad (9.81)$$

Dosazením tohoto vztahu a třetího výrazu dostaneme

$$\cos \varphi dy_1 - \sin \varphi dx_1 = ds_1 (\cos \varphi \sin \gamma_1 - \sin \varphi \cos \gamma_1) = ds_1 \sin(\gamma_1 - \varphi) = d\theta \quad (9.82)$$

kde $d\theta$ je kolmá vzdálenost konečného bodu elementárního oblouku od tyče. Její integrací dostaneme

$$0 = \int_{s_1}^{s_2} d\theta = \int \sin(\gamma_1 - \varphi) ds \quad (9.83)$$

Tento výraz odpovídá odvalení kolečka ve směru kolmém na osu hřídelíku integračního kolečka.

Z uvedených postupných integrací obdržíme konečný výraz pro rozdíl ploch

$$S_2 - S_1 = -\frac{1}{2} L^2 \alpha + \frac{1}{2} L(p_2 - p_1) + L \int_{s_1}^{s_2} d\theta \quad (9.84)$$

Aby integrační kolečko udalo přesně hodnotu $\int d\theta$, musí být jeho čelní rovina přesně kolmá na směr tyče a podélná osa přesně rovnoběžná se směrem tyče. Umístění integračního kolečka na tyči se může z konstrukčních důvodů měnit. Pokud by bylo kolečko umístěno přesně v bodě A_1 , pak jeho pootočení bude udávat přímo hodnotu uvedeného integrálu. Je-li však kolečko vzdáleno od bodu A_1 o hodnotu m , pak $\int d\theta$ se zvětšuje o oblouk kružnice o poloměru m a centrální úhel α pootočení tyče. Tedy

$$\int_{s_1}^{s_2} d\theta = \hat{\theta} - m\alpha$$

kde $\hat{\theta}$ je oblouk odečtený na integračním kolečku. Po dosazení do rov. (9.84) bude konečný výraz pro rozdíl ploch

$$S_2 - S_1 = -\frac{1}{2} L^2 \alpha + \frac{1}{2} L(p_2 - p_1) + L \hat{\theta} - L \cdot m \cdot \alpha \quad (9.85)$$

Tato rovnice je základní rovnicí planimetru, spočívající na pohybu pevné tyče konstantní délky, podél dané křivky C_1 a vyšetřované křivky C_2 . Z ní vycházejí všechny konstrukce planimetrů.

Opisují-li nyní body A_1 a A_2 uzavřené křivky, tak s ohledem na smysl pohybu tyče udávají S_1 a S_2 plošné obsahy křivek. Protože se však tyč vrací do původní polohy je $\alpha = 2\pi n$, kde n je celý počet oběhů tyče okolo křivek a $p_1 = p_2$. Po dosazení těchto závislostí do rov. (9.85) bude

$$S_2 - S_1 = n \cdot \pi \cdot L^2 + L \hat{\theta} - 2\pi n \cdot L \cdot m \quad (9.86)$$

Vlastní konstrukce planimetru závisí nyní na tom, jakou základní čáru C_1 si zvolíme. V praxi se užívá buď kružnice nebo přímky. Zvolíme-li si kružnici, dostaneme polární planimetr, je-li křivka C_1 přímkou, obdržíme lineární planimetr.

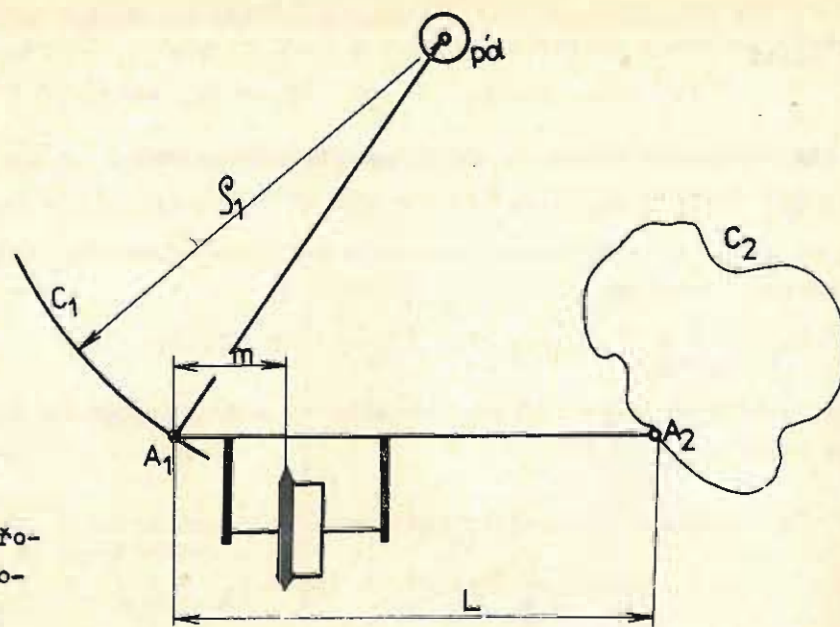
U polárního planimetru opisuje bod A_1 (obr. 9.241) kružnici o poloměru ϱ_1 , který může být libovolný, okolo pevného bodu - pólu P .

Leží-li pól P vně křivky C_2 , tyč vykoná při celém oběhu podél křivky C_2 vý-

kyvný pohyb a vrací se do původní polohy. Plocha S_1 kruhové výseče s ohledem na smysl pohybu tyče je nulová, počet celých oběhů tyče $n = 0$ a proto plocha uzavřené křivky C_2 bude

$$S_2 = L \cdot \hat{O} \quad (9.87)$$

Z uvedeného vztahu je patrné, že při umístění pólu vně vyšetřovaného obrazce nemá poloha integračního kolečka vliv na údaj plochy S_2 .



Obr. 9.241

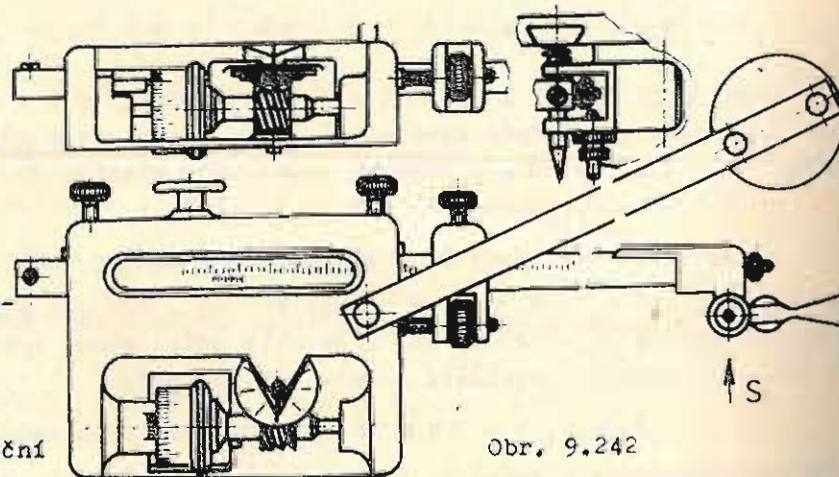
Je-li pól P_1 uvnitř vyšetřované křivky, tyč opíše celý obvod kružnice. Pak $S_1 = \pi r^2$, $n = 1$ a změřená plocha

$$S_2 = L \hat{O} + \pi(r^2 + L^2 - 2Lm) = L \hat{O} + k_1 \quad (9.88)$$

kde k_1 bude konstantou planimetru.

U obyčejného planimetru, jehož konstrukce je na obr. 9.242, pohybuje se integrační kolečko přímo po výkrese. Nerovnosti různých druhů materiálů výkresu ovlivňují přesnost měření. Přesnost tohoto planimetru pohybuje se v rozmezí 0,5 + 1 %.

Aby se omezil vliv nerovnosti a zvýšila se přesnost měření, snažíme se zajistit odvalování integračního kolečka po materiálu stále stejných vlastností a zvětšit odvalovací dráhu. Konstrukčních úprav pro zvýšení přesnosti planimetru existuje několik. Integrační kolečko můžeme odvalovat po



Obr. 9.242

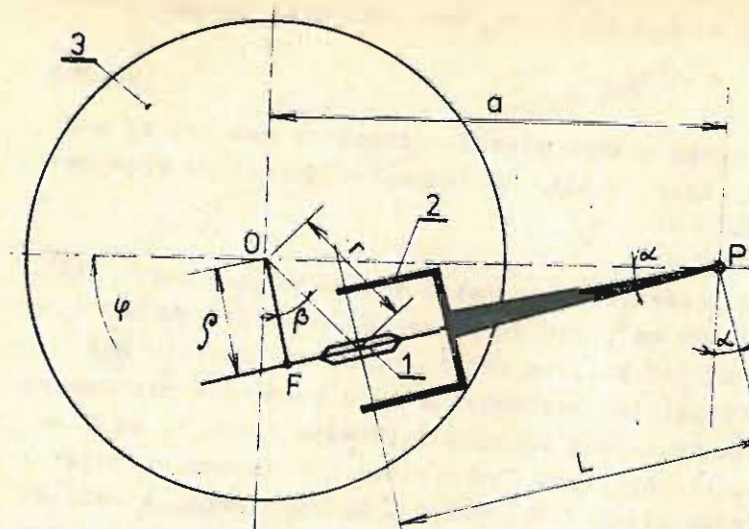
plochem kotouči, poháněném konstantní úhlovou rychlostí. Konstrukční řešení ukazuje obr. 9.243. Integrační kolečko 1 je uloženo v rámečku 2, který kývá okolo osy P. Při natočení kotouče o úhel $d\varphi$, odvalí se integrační kolečko o hodnotu

$$r \sin \beta \cdot d\varphi$$

t.j. o míru přesunutí ve směru roviny kolečka do bodu F. Celkové odvalení bude

$$O = \int r \sin \beta \, d\varphi = \int \rho \, d\varphi = \int a \sin \alpha \, d\varphi \quad (9.99)$$

kde a je vzdálenost osy P od středu kotouče O, α je úhel vychýlení tyče t.

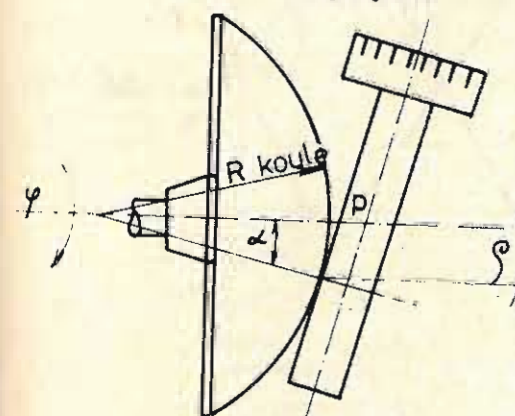


Obr. 9.243

Natočení integračního kolečka se zvyšuje o rotaci kotouče, který je poháněn do rychla ozubeným převodem. Kotouč se obvykle uchycuje do dvou ložisek. Tento mechanismus byl navržen Ponceltem.

Další konstrukční varianta spočívá v použití kulového vrchlíku nebo koule. U kulového vrchlíku (obr. 9.244) se odvaluje po jeho povrchu váleček opatřený bubínkem s dělením. Celkové

odvalení válečku při natočení vrchlíku o úhel $d\varphi$ bude $O = \int \rho \, d\varphi = \int R \sin \alpha \, d\varphi$. Toto je opět sinusová závislost. Kulový vrchlík je kovový s danou jakostí povrchu. Váleček sám je uchycen do rámečku, otočně uloženého kolem svislé osy P, čímž se zabrání smýkanému pohybu.

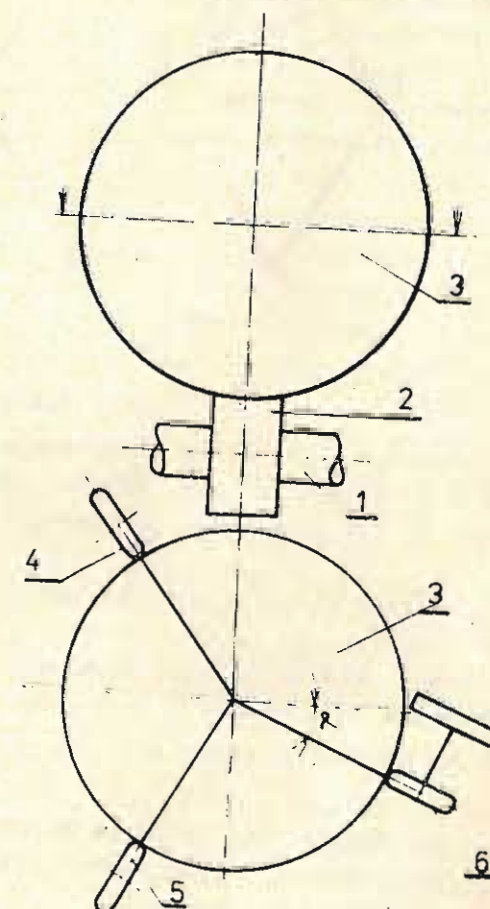


Obr. 9.244

Princip řešení zvýšení přesnosti s použitím koule je na obr. 9.245. Používá se skleněné vybroušené, ale neleštěné koule 3, která se dotýká válečku 2, spojeného s hřídelíkem 1. Hřídelík je vlastně nápravou vodícího dvoukolí. Skleněná koule je vedena třemi kladičkami 4, 5, 6, z nichž jedno (6) tvoří integrační kolečko a proto je opatřeno bubínkem s dělením. Všechna kolečka jsou uchycena v rámečku, který se může otáčet kolem svislé osy. Natočí-li se rámeček o úhel α , kolečka unášejí kouli. Pro odvalení integračního kolečka bude platit rovnice:

$$O_1 = \int r \sin \alpha \, d\varphi.$$

kde φ je úhel natočení kolečka, odvozený od válečku 2. Doplňme-li uvedený mecha-



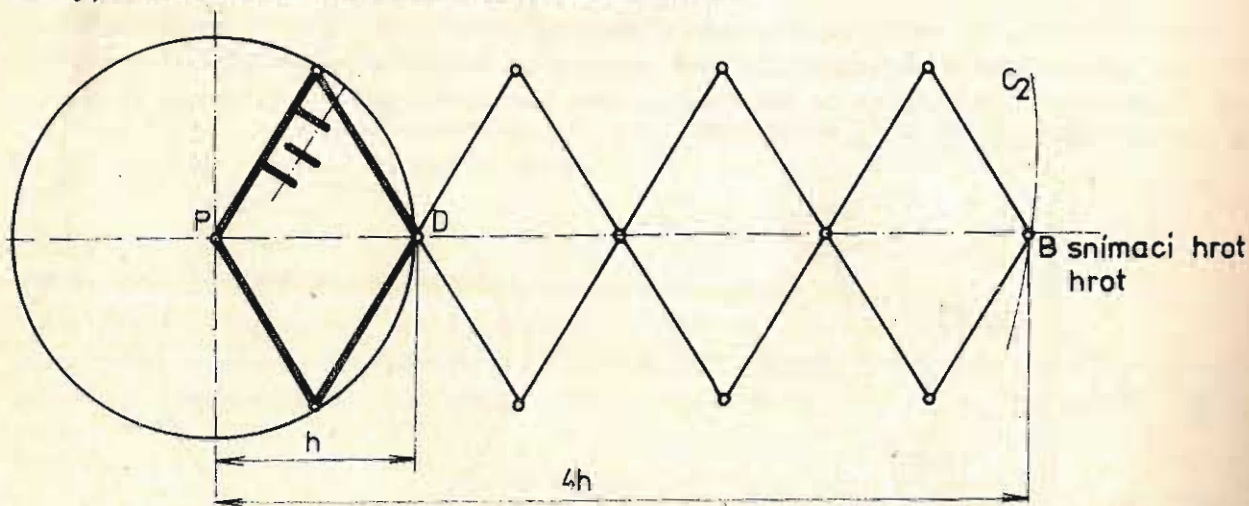
Obr. 9.245

nizmus dalším integračním kolečkem, kolmým na první, pak toto bude snímat odvalení

$$O_2 = \int r \cos \alpha \, d\varphi \quad (9.100)$$

Pomocí těchto dvou integračních koleček můžeme získat mechanický harmonický analyzátor (Henrici). Uvedené varianty byly použity u planimetrů Coradiho. Přesnost odečtu ploch se zvýšila na 0,25 %.

Obvod integračního kolečka u polárních planimetrů volíme 60 mm. Aby 1 otáčka kolečka představovala plochu 10 000 mm², pak délka ramene musí být 10 000/60 = 167 mm. K zabránění prokluzu je měřicí kolečko přitlačováno na podložku buď vlastní hmotností nebo pružinou. Poncelotův mechanismus se u polárních planimetrů používá tak, že při natáčení ramene se umístí do středu těžkého kotouče, se kterým zabírá ozubené kolečko na hřídeli. Aplikaci Poncelotova mechanismu ukazuje Amslerův planimetr pro měření velkých ploch (obr. 9.246). Snímací hrot je umístěn na pantograf, který se otáčí kolem pevného pólu P. Hrot B opisuje geometricky podobný, ale lineárně 4 x větší obraz než kloub D.



Obr. 9.246

Silně vytažený čtyřúhelník představuje polární planimetr. Integrační kolečko se pohybuje po těžkém kotouči. Měřená plocha odečtená na planimetru se násobí 16 (obecně i^2 , kde i je počet kosočtverců paralelogramu).

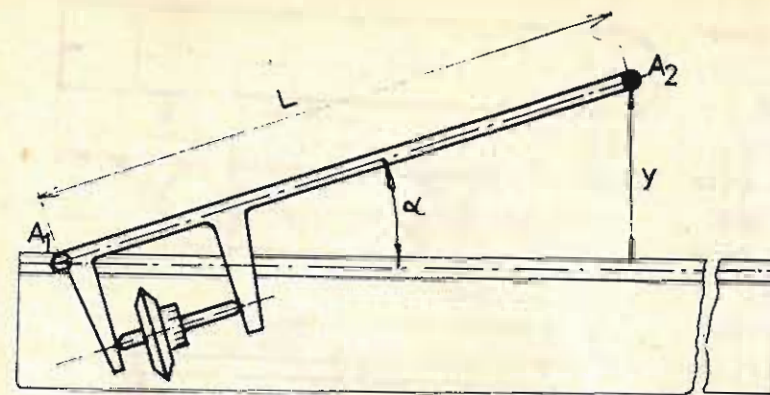
Lineární planimetry vedou bod A_1 tyčky po přímce, bod A_2 opisuje vyšetřovanou křivku. Protože se koncový bod A_2 vrací do výchozí polohy, zaujme bod A_1 tutéž polohu, jako na počátku objíždění. Tyč může konat pouze kývavý pohyb a proto $\alpha = 0$; $n = 0$ a plocha $S_1 = 0$. Rovnice pro určení plochy, opsané bodem A_2 se zredukuje na vztah

$$S_2 = L \cdot \bar{O}.$$

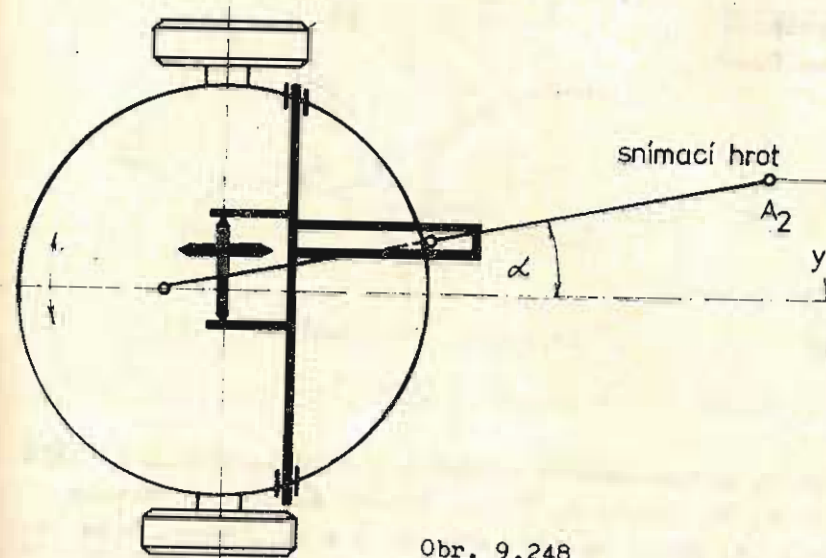
Schema lineárního planimetru je na obr. 9.247. Bod A_1 koná pohyb ve vedení pravítka, bod A_2 opisuje vyšetřovanou křivku. Posune-li se bod A_2 o hodnotu dx , pak kolečko se odvalí o hodnotu

$$dO = \sin \alpha \cdot dx = \frac{y}{L} \cdot dx$$

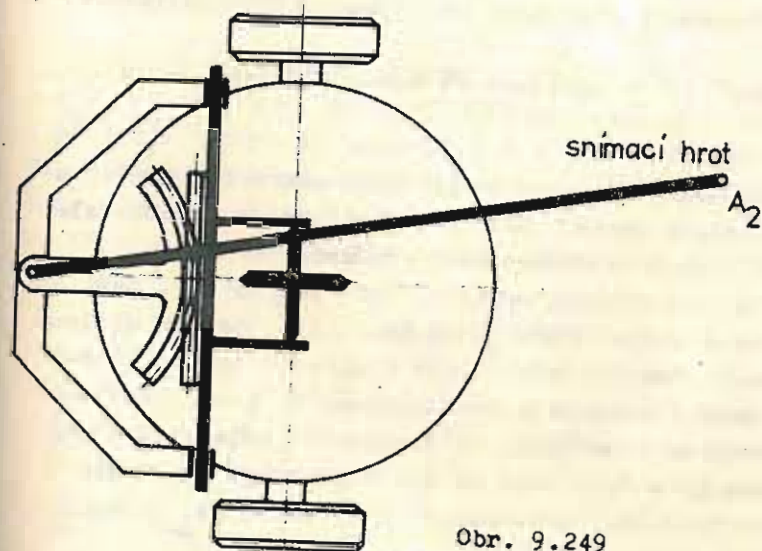
Vzhledem k tomu, že pevná tyč nevykoná plnou otáčku kolem křivky C_1 (přímky) může být integrační kolečko umístěno podél tyče na libovolném místě. Délka tyče se volí 200 nebo 400 mm a obvod integračního kolečka 50 mm. Tím dostaneme při



Obr. 9.247



Obr. 9.248



Obr. 9.249

jednom otáčení kolečka plochu 10 000 mm² = 100 cm².

Pro zvýšení přesnosti lineárního planimetru můžeme použít jak Poncelotova mechanismu, tak i kulového vrchlíku nebo koule. Užijeme-li se Poncelotova mechanismu, je rotující disk umístěn na dvojkolí, od něhož se současně odvozuje příslušná rotace.

Integrační kolečko je připevněno na saně, posuvné ve vedení rovnoběžném s osou dvojkolí. Pohyb saní je úměrný pohybu snímacího hrotu (obr. 9.248). Základní rovnice planimetru zůstává zachována; změni se pouze konstanta. Analogické konstrukce se může použít i pro snímání ploch diagramů zapisovaných výkyvnými pákami, jako např. u krabicových termografů.

Úprava spočívá v tom (obr. 9.249), že tyč se snímacím hrotem se umístí na ozubený segment, který zabírá do ozubené tyče vodících saní s integračním kolečkem. Tímto řešením se vyloučí vliv úhlové výchylky pohybu tyče. Odvalení integračního kolečka bude nyní

$$O = \text{konst.} \cdot \int \alpha \, dx \quad (9.101)$$

Správný odpočet plochy vyžaduje, aby délka tyče byla stejná jako délka páky zapisovacího ústrojí.

Vlastní měření pomocí planimetrů se redukuje pouze na odečet otáček na integračním kolečku před a po měření. Pro kontrolu nastavení konstant resp. pro jejich určení, slouží pravítka, otočné kolem hrotu B, jehož poloměr r je volen

tak, aby po opsání kružnice byla opsaná plocha rovna $10\,000\text{ mm}^2$ (obr. 9.250). Základní rovnice planimetru (9.85) dovoluje sestavit jednoduchý břitový planimetr (Prytzův). Břitový planimetr (obr. 9.251) je v podstatě pevná tyč, která je na jednom konci opatřena břitkem ve směru její podélné osy a na druhém konci je objížděcí hrot. Břit musí být vždy kolmý na podložku. Při objíždění křivky C_2 hrotem A_2 , opisuje břit t.z.v. sledovací křivku (psí křivku). Tyč zaujímá stále tečnou polohu ke křivce C_1 . V tomto případě je $\gamma_1 - \varphi = 0$ a tudíž i $d\theta = 0$.

Dále plyne z (9.85), že

$$\hat{\theta} = m \cdot \alpha$$

$$S_2 - S_1 = -\frac{1}{2} L^2 \alpha + -\frac{1}{2} L (p_2 - p_1) \quad (9.102)$$

Protože tyč se po objetí křivky C_2 vrací do původní polohy, bude $p_2 = p_1$ a

$$S_2 - S_1 = -\frac{1}{2} L^2 \alpha.$$

Z rozboru plyne, že úhel α můžeme změřit snadno i bez integračního kolečka. Nedostatkem tohoto planimetru je, že plochu S_1 , t.j. plochu sektoru C_1 musíme předem znát nebo alespoň odhadnout. Pokud se týká výrazu $\hat{\theta} = m\alpha$, tento bude roven nule, poněvadž předpokládáme, že integrační kolečko by leželo v bodě A, a tudíž $m = 0$. Břitový planimetr nedosahuje přesností předcházejících planimetrů.

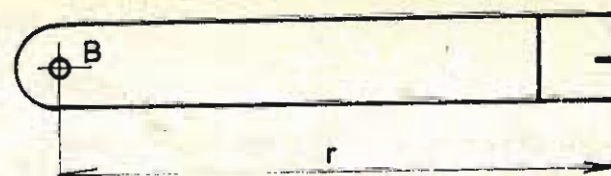
Vlastní integrační mechanismy - integrátory či integraty řeší úlohu

$$Y = F(x) = \int_0^x f(x) dx \quad (9.104)$$

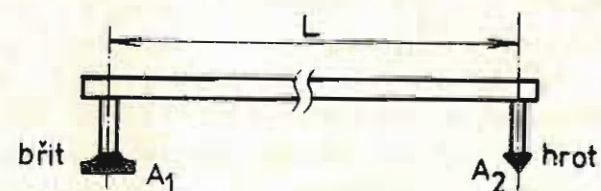
kde $f(x)$ je zadaná funkce, jejíž integraci chceme najít nebo zakreslit hledanou funkci $F(x) = Y$. Konstrukci integratu navrhl Abdank - Abakanowicz a nezávisle na nich Boys. Princip integrátoru Abdank - Abakanowicze je znázorněn na obr. 9.252. Na pojízdném dvojkolí 1, je umístěn rám vedení 2 pro saně 3 a 4. Saně 3 nesou snímací hrot a kloub C. Saně 4 nesou ostrohranné kolečko 5, otočně uložené kolem svislé osy v rámečku 6. Spojení mezi saněmi 3 a 4 obstarává tyč 7, otočná kolem bodu O. Na této tyči jsou saně 8 spojené s paralelogramem 9, který je kloubově spojen s rámečkem 6. Paralelogram zajišťuje, že integrační kolečko zaujímá stále polohu rovnoběžnou s polohou tyče 7, i když se dvojkolí pohybuje ve směru osy x. Posune-li se snímací hrot do bodu A o pořadnici y křivky $f(x)$, vychýlí se tyč o úhel α . Hodnotu úhlu α vyjádříme vztahem

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{L} = F'(x). \quad (9.105)$$

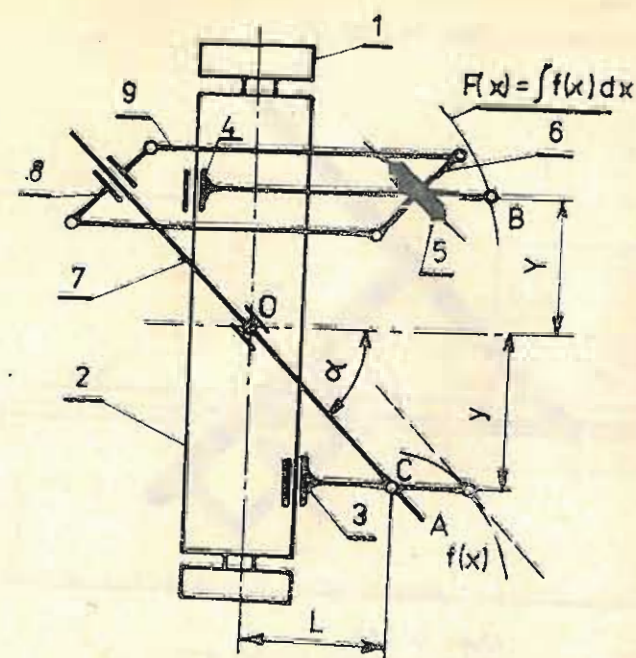
Tato hodnota je směrnici tečny v bodě B. Na druhé straně vzdálenost bodu C od osy procházející bodem O je konstantní a rovna L. Proto rozdíl pořadnic má stálou hodnotu. Tento rozdíl je nuceno zachovávat i integrační kolečko. Posune-li



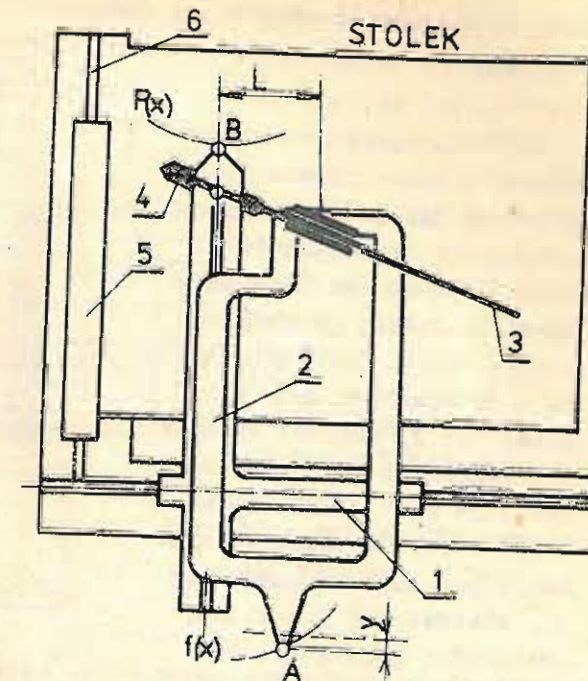
Obr. 9.250



Obr. 9.251



Obr. 9.252



Obr. 9.253

nyní dvojkolí o hodnotu dx , vynutí si kolečko pohyb saní 4 o

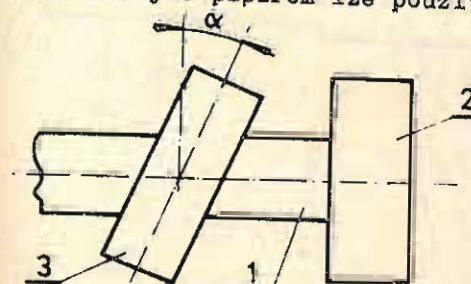
$$dy = \operatorname{tg} \alpha \cdot dx = \frac{y}{L} dx = \frac{1}{L} f(x) dx. \quad (9.106)$$

Odtud

$$F(x) = \frac{1}{L} \int_0^x f(x) dx, \quad (9.107)$$

Měřítkem integrační křivky je hodnota L. Bude-li v bodě B písačko, bude toto zaznamenávat průběh $F(x)$.

Jinou variantou integratu, pracujícího na téže principu, znázorňuje obr. 9.253. Snímací hrot je na pojízdných saních 1, které se pohybují ve směru osy x v saních 2. Pohyb snímacího hrotu A podél vyšetřované křivky $f(x)$ vychýlí tyč 3. Tato je otočně uložena ve vedení 2 a přímo spojena s ostrohranným kolečkem 4. Směr pohybu podél osy x vynutí pohyb desky s papírem na saních 5 podél vedení 6. Místo desky a papíru lze použít válec a rejdivací kolečko 4 by se pak pohybovalo po povrchové přímce válce. Místo rejdivacího kolečka lze použít rejdivacího válečku (obr. 9.254). Při posuvu válce 1 ve směru podélné osy a natočení rejdivacího válečku 3 o úhel α , vyvolá se natočení válce 1, úměrné úhlu α , které se odečte na bubínku 2. Rejdivací váleček se nemá naklápět kolem osy kolmé k nákrese a proto je uložen ve zvláštním rámečku.



Obr. 9.254

Závislost, kterou vyjadřuje rejdivací váleček, vyplývá z jeho posunutí ve směru osy x, které donutí otočit váleček o míru

$$dy = dx \cdot \operatorname{tg} \alpha = r \varphi \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

kde r je poloměr válečku, φ úhel natočení.
Analogický vztah ovšem platí i u rejdovacího kolečka integrací.

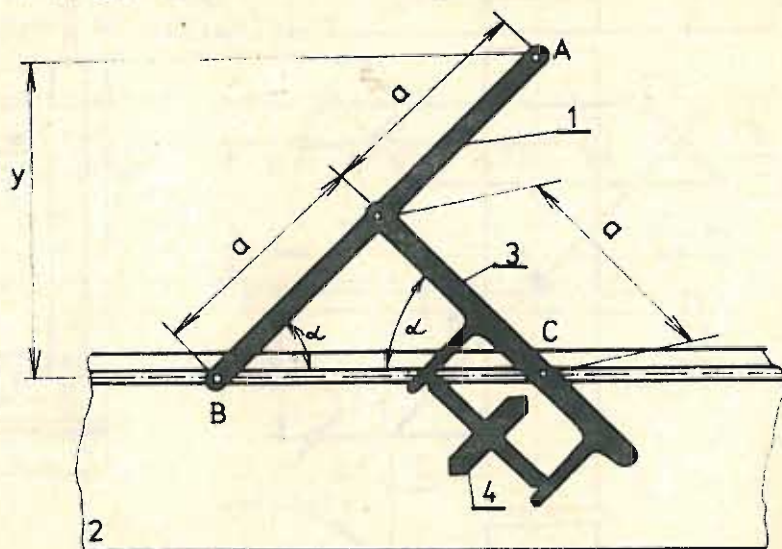
Jednoduchý integrátor můžeme získat úpravou planimetru, jak je tomu např. u Ottova integrátoru (obr. 9.255). Pevná tyč 1 se snímáním hrotem A, je vedena v pravítku 2. Uprostřed tyče 1 je kloubově uchycena další tyč 3, nesoucí rámeček s integračním kolečkem 4. Tyč 3 je opět vedena bodem C v pravítku. Jestliže se nyní bod A pohybuje ve směru osy y , zůstává bod C v klidu, integrační kolečko se po pravítku neodvaluje, (rovina integračního kolečka prochází bodem C), ale smýká. Bude vždy zaujímat polohu rovnoběžnou s tyčí 1. Podmínkou pro přesné měření je správné nastavení pravítka k vyšetřované křivce, protože integrační kolečko se může pohybovat pouze po pravítku a nesmí z něho sjet. Pravítko se musí postavit rovnoběžně s osou x a k výsledku je nutno přičíst opravu.

Podobného integrátoru je použito u leteckého oktantu, pro zjišťování integrálu úhlové výchylky zrcadla podle času. Princip je na obr. 9.256. Natáčecí zrcadlo 1 je umístěno na ozubeném kolečku, zabírajícím do ozubení tyče 2. Ozubená tyč při posuvu vychýlí tyč 3 o délku $\Delta = r\varphi$ a tím ji natočí okolo bodu O o úhel α . S tyčí 3 je otočně spojen rejdovací váleček 4. Vlivem natočení tyče se váleček pootočí úměrně času t a rychlosti v . Odvalení válečku bude

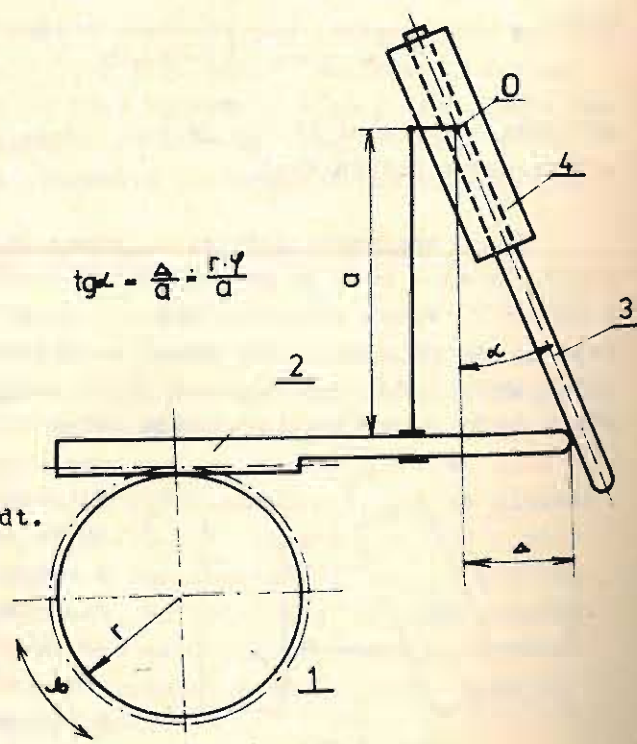
$$O = \int \operatorname{tg} \alpha \cdot v \cdot dt = \int \frac{r \cdot \varphi}{a} \cdot v \cdot dt = \operatorname{konst.} \int \varphi dt. \quad (9.108)$$

kde φ je úhel natočení zrcadla. Průměrná hodnota φ závisí na odvalení kolečka. Dělení stupnice ve stupních a minutách na rejdovacím válečku je dáno rozměry mechanismu.

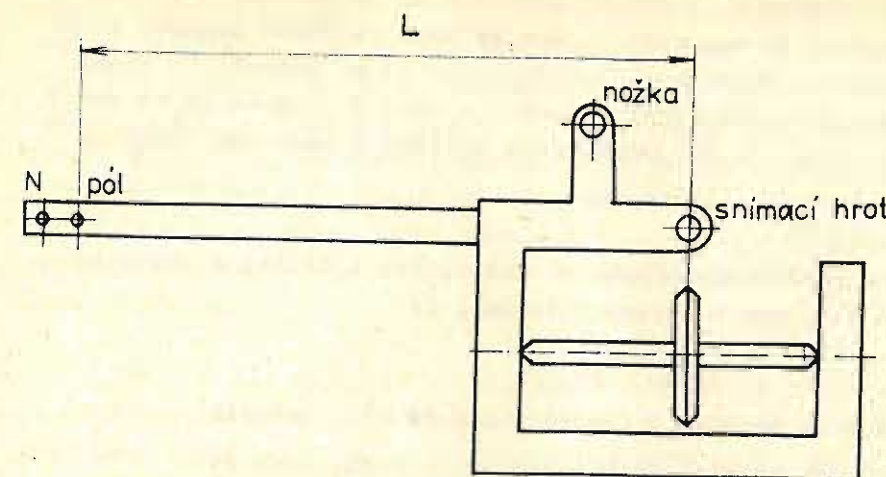
Pro vyhodnocování polárních diagramů se může použít jednoduchého integrátoru znázorněného na obr. 9.257. V podstatě tvoří tento integrátor tyč, která se



Obr. 9.255



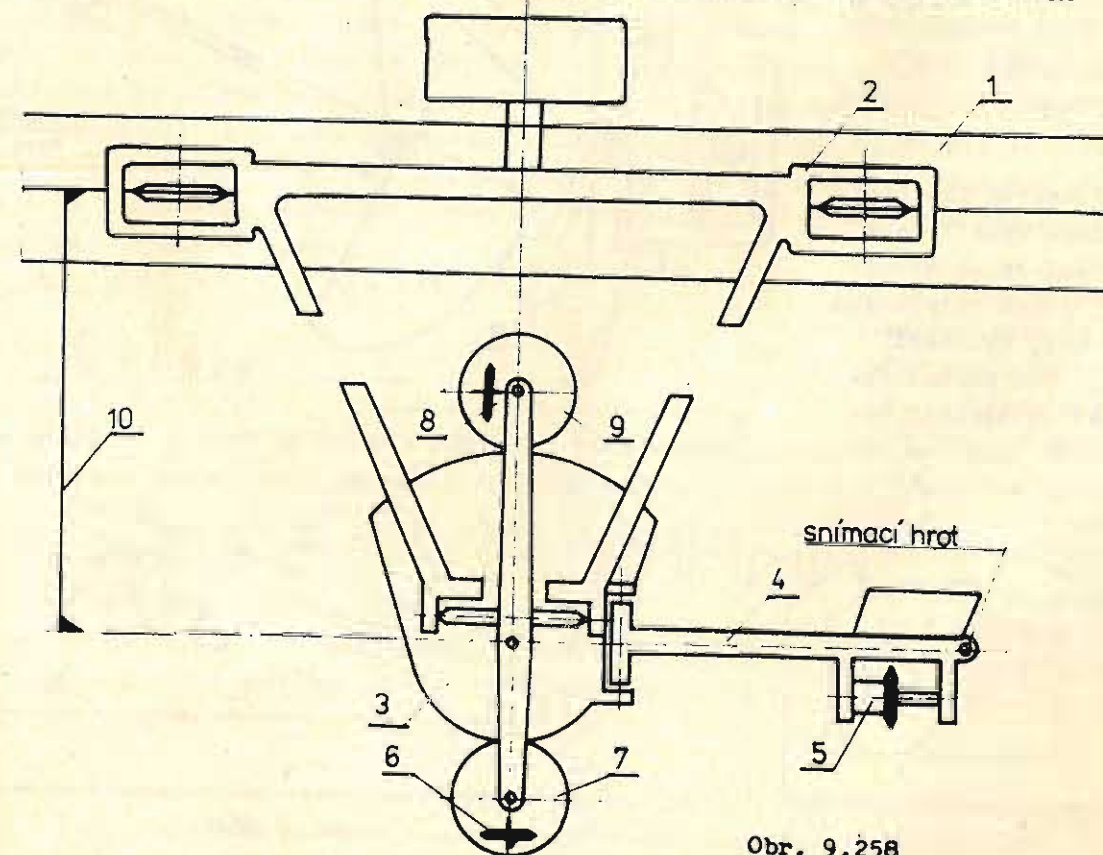
Obr. 9.256



Obr. 9.257

uloženým v ložisku N, dostaneme polární planimetr.

Integrátory mohou řešit i složitější úkoly, jako např. stanovení statického momentu plochy, plošný moment setrvačnosti popř. i jiné integrační závislosti. Úpravou a doplněním lineárního planimetru můžeme měřit současně plochu, statický moment a moment setrvačnosti plošných obrazců. Schema příslušně upraveného planimetru ukazuje obr. 9.258. K lineárnímu planimetru je výkyvně připojen dvojitý ozubený segment, do něhož zabírají dvě ozubená kola s kotouči. Po kotoučích se odvalují integrační kolečka. Na pravítku 1 jsou v drážce vedeny saně 2, ve kterých je uložen segment 3. Tento je spojen se snímáním ramenem 4. Rameno 4 spolu s připojeným integračním kolečkem 5 slouží jako planimetr. Pro určení statického



Obr. 9.258

momentu slouží integrační kolečko 6, které se pohybuje po kotouči opatřené ozubeným kolečkem 7 a zabírajícím do segmentu 3. Pro snímání plošného momentu setrvačnosti použijeme integrační kolečko 8, pohybujícího se po kotouči 9, který ozubením zabírá do segmentu 3. Otočí-li se rameno 4 o úhel β , natočí se kotouč 7 o úhel 2β a kolečko 9 o úhel 3β . Na integračním kolečku 6 odečteme statický moment

$$M = A (n_6 - n_{60})$$

kde n_6 , n_{60} jsou konečná a počáteční hodnota odvalení. Pro zjištění momentu setrvačnosti slouží kolečko 5 a 8, kde odpočtem zjistíme, že

$$J = C (n_5 - n_{50}) + B (n_8 - n_{80})$$

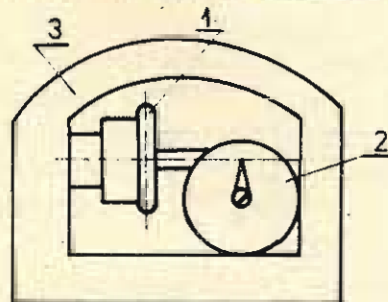
kde n_5 a n_{50} jsou odpočty na kolečku 5 (konečná a počáteční hodnota)

n_8 a n_{80} jsou odpočty na kolečku 8 (konečná a počáteční hodnota)

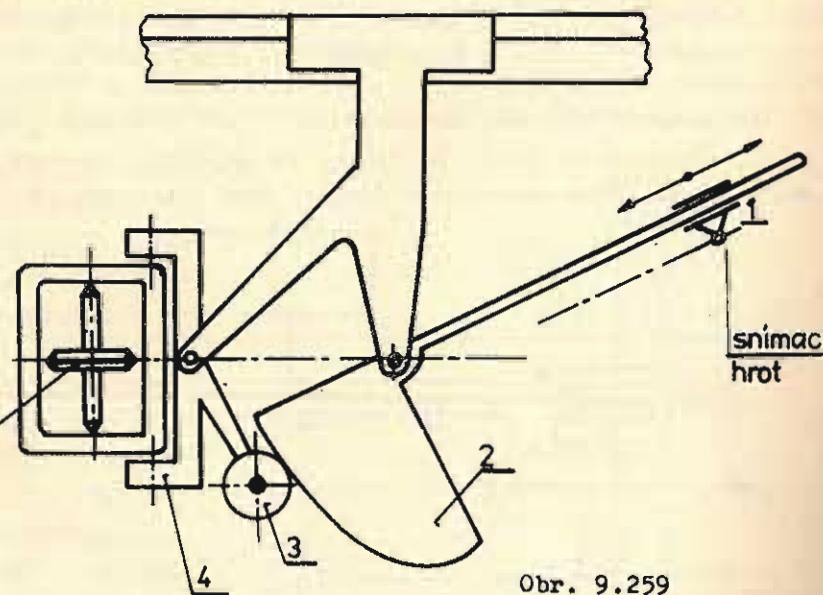
A, B, C jsou konstanty dané konstrukčními parametry integrátoru a určíme je z plochy a z příslušných momentů známého obrazce. Správné nastavení integrátoru provedeme pomocí pravítka 10.

Obecné integrály se dají řešit obdobným způsobem, ale místo kruhových segmentů, pohánějících integrační kolečka, se užívá váček různých tvarů. Konstrukce těchto integrátorů je dána pouze možnostmi sestavení vačky odpovídající vyšetřované funkci. Princip integrátoru s vačkou je na obr. 9.259. V podstatě se jedná opět o lineární planimetr, u něhož snímací hrot 1 natáčí vačku 2, která pomocí kladičky 3 ovládá rámeček 4 s integračním kolečkem 5.

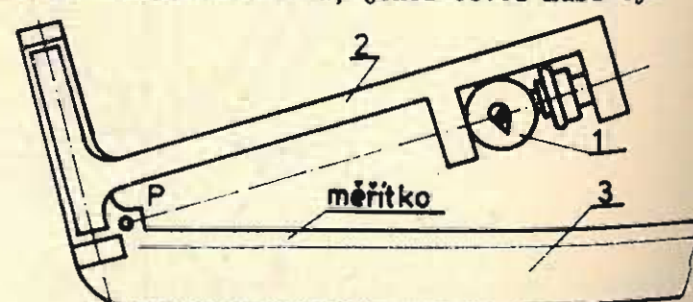
Integračních koleček můžeme využít také pro měření délek obvodů křivek, délek vytyčených tras z map, vynášení úhlů ap. Při měření délek musí integrační kolečko stát kolmo na měřenou křivku a musí být vedeno tečně ke křivce. Hodnota měřené délky se zjistí z odečtu celkového natočení kolečka, jehož obvod musí být



Obr. 9.260



Obr. 9.259



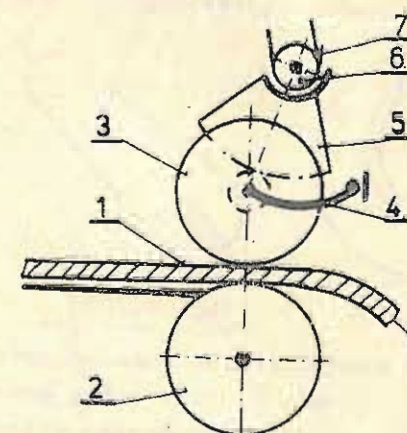
Obr. 9.261

přesně znám. Jednoduché měřidlo pro brzdnou dráhu spočívá v kolečku umístěném na tyči v počítadle otáček. Pro rektifikaci křivek užíváme měřidla znázorněného na obr. 9.260, které je tvořeno integračním kolečkem 1 a počítacím kolečkem 2, uloženým v rámu 3. Počítací kolečko je spřaženo s integračním kolečkem šnekovým převodem. Pro přesné vynášení a měření úhlů je možno použít mechanismu z obr. 9.261. Integrační kolečko se známým obvodem se odvaluje po kružnici o daném poloměru, kolem pólu P bez vůle. Dráha odvalení bude rovna délce oblouku kružnice vymezeného daným úhlem. Tímto způsobem lze vynášet i úhlové souřadnice v polárním souřadnicovém systému.

Méně přesné integrační mechanismy pro měření ploch mohou být založeny po matematické stránce na obdélníkovém pravidlu. Princip určení plochy spočívá v rozdělení vyšetřované uzavřené plochy na proužky stejné šířky (obr. 9.262) a na

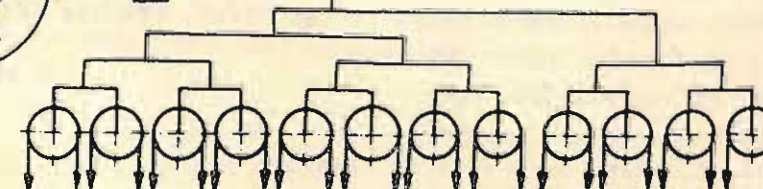


Obr. 9.262



Obr. 9.263

změření pořadnice y. Součtem všech délek a vynásobením hodnotou šířky proužku dostaneme danou plochu. K odměření délky y slouží integrační kolečko. Aby se měření urychlilo, seřazují se integrační kolečka vedle sebe s roztečí, určující současně šířku proužku. Rozteč by měla být minimální a stejná; je dána konstrukčními možnostmi uspořádání mechanismu. Princip výše uvedeného mechanismu pro měření ploch látek, usní, plátů ap. je na obr. 9.263. Měřené látka, jejíž plochu chceme měřit, je podávána válcem 2 pod měřicí kolečko 3. Měřicí kolečko je umístěno na výkyvné páce 4, která umožňuje samočinné vypnutí mechanismu po objetí příslušné délky. Měřicí kolečko je opatřeno pastorkem, který zapadá do ozubeného segmentu 5 spojeného s kladičkou 6, po níž se odvaluje řemínek 7 napojený na sčítací mechanismus. Samočinné vypínání a zapínání záběru pastorku s ozubeným segmentem obstarává tloušťka měřené látky. Dva sousední mechanismy mají společný pásek.



Obr. 9.264

rajič do pastorku s ukazatelem. Po projetí celé látky se sčítací mechanismus vrací samočinně do výchozí polohy. Přesnost měření je závislá pouze na konstrukčních možnostech získání minimální rozteče.

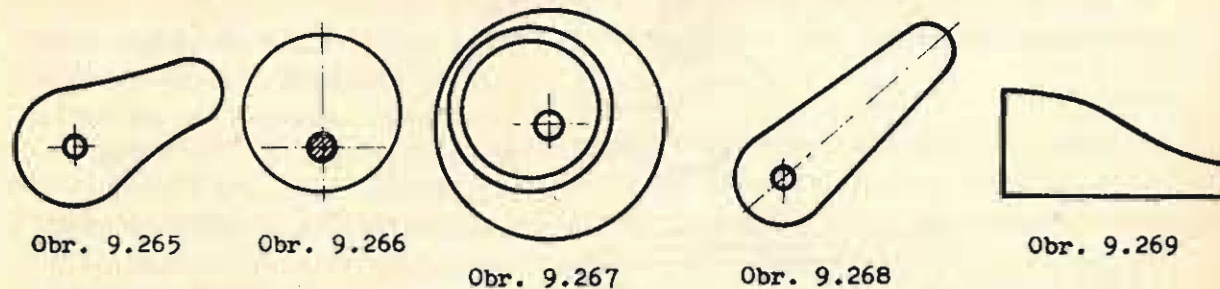
Uvedené mechanické integrační mechanismy ukazují, že třecích mechanismů lze užit i pro jiné účely než pro konstrukci převodů. Současný trend vývoje v oblasti

Vlastní sčítací mechanismus je založen např. na principu pákového mechanismu (obr. 9.264). Tahy vyvolané jednotlivými řemínky se převádějí až na poslední páku. Tato nese ozubený segment, zabí-

integračních mechanismů vede hlavně na využití elektrických resp. i optoelektrických signálů s napojením na počítač. Uvedené integrační mechanismy lze upravit na digitální výstup, použitím vhodných mechanicko-elektrických převodníků.

9.7. VAČKY, VÝSTŘEDNÍKY, DRÁŽKOVÉ KOTOUČE

Vačky (obr. 9.265), výstředníky (obr. 9.266), drážkové kotouče (obr. 9.267) popř. kliky (obr. 9.268) představují realizaci matematických funkcí. Rozvinutím vačky do roviny dostáváme rovinnou posuvnou vačku (šablonu) (obr. 9.269). Uvedené součásti ve spojení se zdvihátkem, pákou resp. táhlem tvoří t.zv. vačkové mechanismy. Vačkové mechanismy slouží k transformaci pohybu, a to postupného na postupný v jiném směru a pohybu rotačního na pohyb postupný či kývavý. Požadované pohyby, t.zv., hnané jsou závislé na profilu vačky, výstřednosti, tvaru drážek. Profil



vačky se stanovuje podle požadovaných zákonů pohybu hnaného prvku t.j. podle zadaného průběhu dráhy, rychlosti či zrychlení. Profily vaček mohou nabývat rozmanitých tvarů, a to od přímky, evolventy, spirály, kruhového oblouku až po profily odvozené z matematických funkcí, které chceme realizovat.

Vačkových mechanismů používáme pro zapínání a vypínání elektrických obvodů, pro řízení pracovních pohybů u automatů, u programových regulátorů ap. Dále je možno vačkových mechanismů použít i jako převodu s velkým převodem do pomalu v tom smyslu, že velkému pootočení hnacího hřídele odpovídá nepatrné pootočení hnaného hřídele.

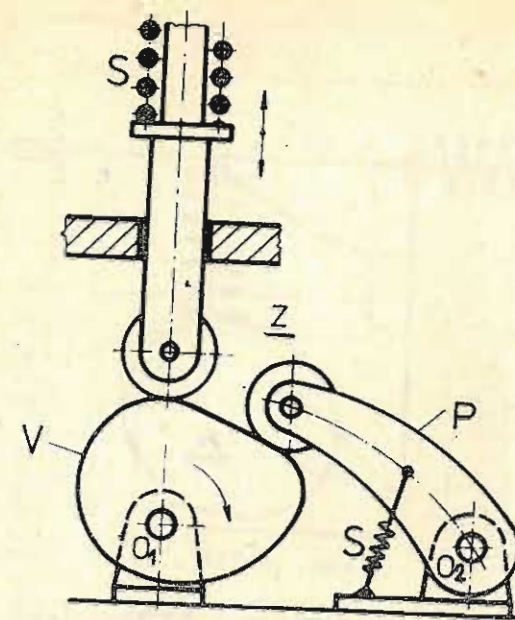
Výhody vačkových mechanismů spočívají :

- v realizaci téměř libovolného zákona pohybu hnaného (pracovního) členu
- v dosažení poměrně vysoké přesnosti provedení zadaných funkcí, zvláště při volbě racionálního zákona pohybu
- v realizaci transformace pohybu poměrně malým počtem členů, obvykle tří.

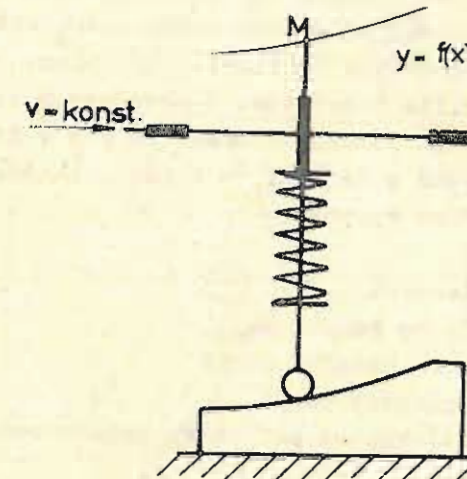
Nevýhody vačkových mechanismů jsou dány :

- omezeným rozsahem pohybu
- opotřebením činných ploch, které mají vliv na přesnost práce
- složitou technologií
- časovou náročností při výrobě a montáži.

Princip činnosti vačkových mechanismů je znázorněn na obr. 9.270. Vačka V rotuje s konstantní úhlovou rychlostí. Na vačku navazuje kladka zvedáku Z, který vykonává přímočarý postupný pohyb, nebo kladka páky P pro vyvozování kývavého pohybu okolo osy O_2 . Mazi vačkou jako hnacím členem a zvedákem či pákou musí existo-



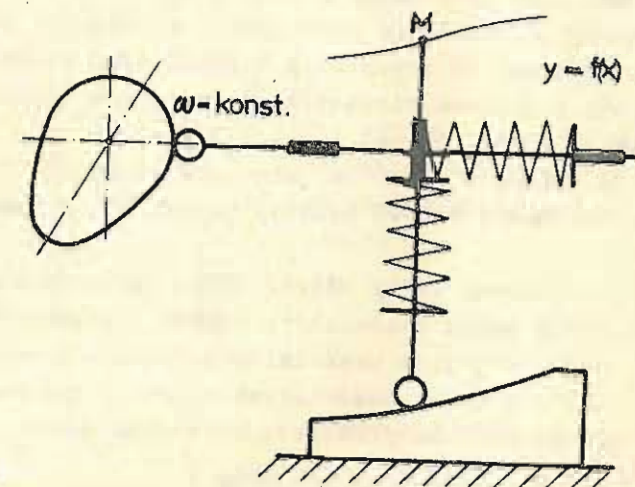
Obr. 9.270



Obr. 9.271

vat stálá silová vazba, která se uskutečňuje buď předpětím pružiny nebo zřídka hmotností pracovního členu. Stálou vazbu lze také realizovat profilovanou drážkou. Má-li se provést přesný přenos pohybu, daného obecně profilem vačky na zvedák či páku, musí být činná délka páky neměnná. To vyžaduje prakticky zachovat přesně bodový nebo přímkový styk.

Nutný počet kinematických dvojic vačkového mechanismu, je dán funkční závislostí mezi jednotlivými pohyby členů mechanismu, resp. požadovanými parametry pohybu, t.j. dráze, rychlosti nebo zrychlení. Pohyb bodu po rovinné křivce je v pravouhlém souřadném systému dán jednoduchou funkční závislostí $y = f(x)$. Pro získání vynuceného



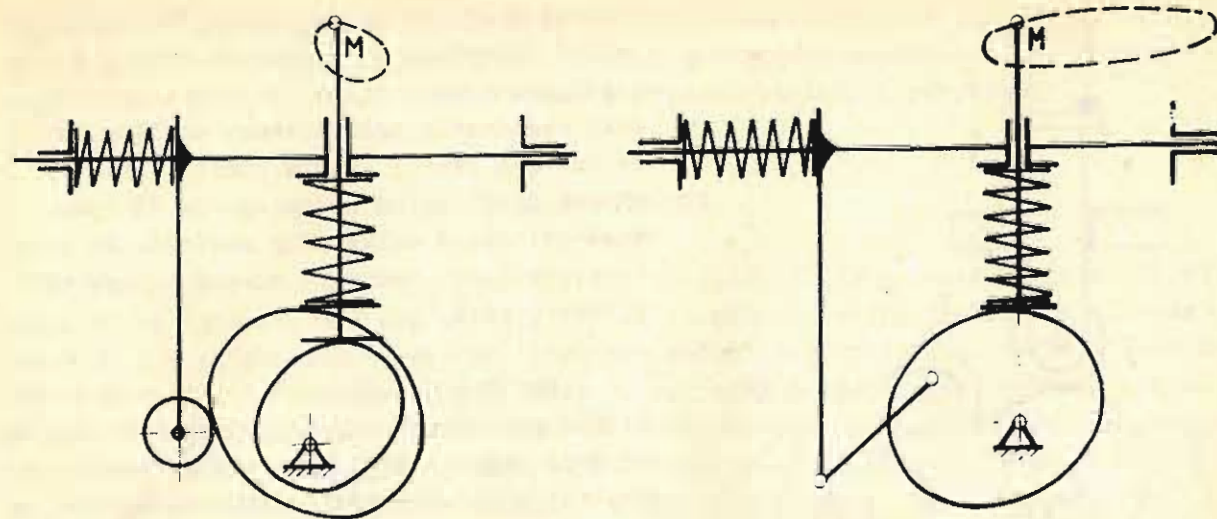
Obr. 9.272

pohybu ve směru osy y postačuje jedna kinematická dvojice vyššího řádu, tj. vačky (šablony) a zvedáku. Zvedák umožní pohyb bodu M po zadané křivce s rychlostí ve směru osy y, závislou na rychlosti posuvu ve směru osy x. Tato rychlost může být buď konstantní (obr. 9.271) nebo proměnlivá, daná při konstantní úhlové rychlosti, profilem vačky (obr. 9.272). Pro pohyb bodu M na dané křivce, např. s konstantní rychlostí, je nutno základní matematický vztah doplnit dalšími funkčními závislostmi na čase t :

$$y = f(x) ; \quad x = f(t) \quad \text{a odtud} \quad y = f(t) \quad (9.110)$$

Tyto závislosti nemůže již splnit jedna kinematická dvojice, ale je nutno zvýšit jejich počet na dvě. Princip uspořádání těchto dvojic je možno řešit podle obr. 9.273 nebo 9.274.

Při stanovení profilu vaček vycházíme z funkčních parametrů pohybu hnaného členu vačkového mechanismu. Vynucené parametry pohybu mohou být dráha, rychlost nebo zrychlení přímočarého posuvného, vratného nebo natáčivého pohybu. Proto



Obr. 9.273

Obr. 9.274

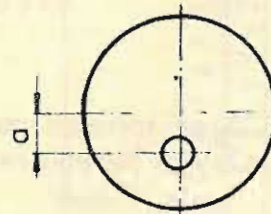
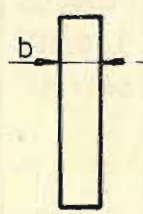


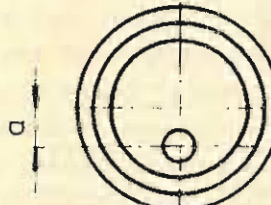
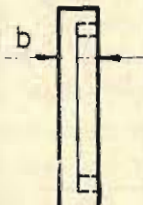
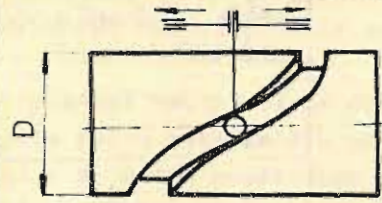
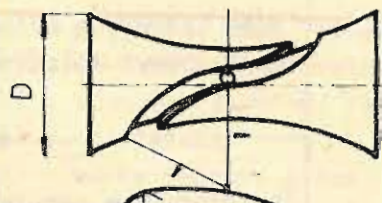
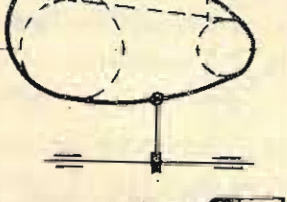
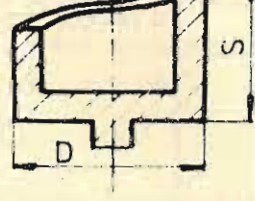
základem pro určení profilu jsou příslušné průběhy drah, rychlostí či zrychlení v časové závislosti. Ze známých průběhů pohybu určíme profil buď grafickou integrací, což bývá někdy málo přesné, nebo lépe z grafických plánů rychlosti a zrychlení. Pokud je znám profil vačky, pak derivacemi nebo grafickými plány určíme rychlost či zrychlení. O grafických metodách k určení rychlosti, zrychlení či dráhy pojednává kinematika a proto zde nebudou blíže rozváděny. U obvodových vaček je nutno převést funkční závislost $y = f(x)$ na polární souřadnice ρ a φ kde ρ je průvodič a φ je jeho úhel. Pokud je to možné a nebrání to funkci, snažíme se navrhovat takové profily vaček, které lze snadno vyrobit.

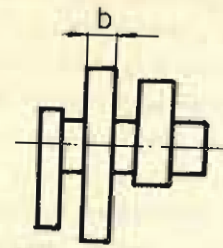
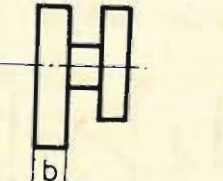
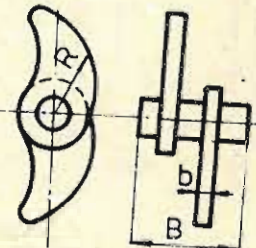
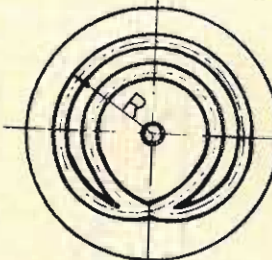
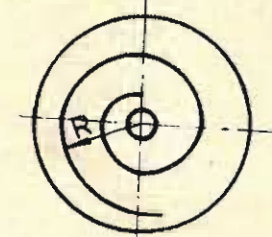

Vlastní vačky můžeme dělit podle těchto hledisek :

- a) podle počtu nezávislých pohybů k plnění funkčního pohybu na :
 - aa) - s jedním nezávislým pohybem - posuvný nebo rotační pohyb
 - ab) - s dvěma nezávislými pohyby - rotační a posuvný pohyb.
 První skupina představuje rovinné vačky, druhá skupina pak vačky prostorové.
- b) Podle provedení máme vačky :
 - ba) - rovinné posuvné vačky (šablony)
 - bb) - rovinné kotoučové vačky (neokrouhlé kotouče)
 - bc) - výstředníky
 - bd) - vačky válcové čelní
 - be) - vačky kotoučové s drážkami (drážkové kotouče)
 - bf) - vačky prostorové rotačního tvaru
 - bg) - vačky prostorové s proměnlivým profilem (konchoidy)
 - bh) - vačky kombinované
- c) podle způsobu vázanosti pohybu zvedáku nebo páky dělíme vačky na :
 - ca) - vačky se silovým účinkem - obvodové nebo čelní
 - cb) - vačky s tvarovým účinkem - drážkové
- d) podle potřebného úhlu natočení k vyvození funkčního pohybu jsou vačky
 - da) - s úhlem $\varphi \leq 360^\circ$
 - db) - s úhlem $\varphi > 360^\circ$.

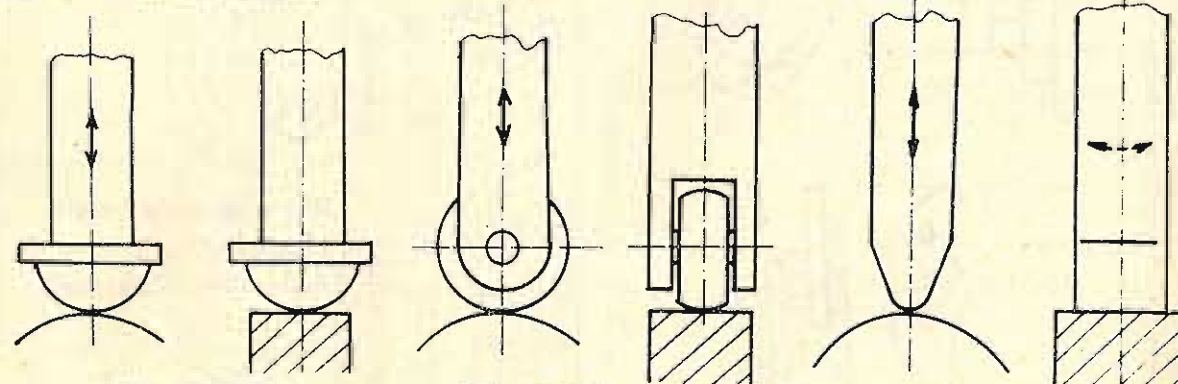
Přehled nejčastěji používaných profilů vaček s udáním používaných rozsahů rozměrů a užití udává obr. 9.275.

	Profil	Rozměry	Druh	Užití
VAČKY ROVINNÉ - ŠABLONY		H do 50 L do 100 b=1÷15	OBVODOVÁ	Transformace postupného pohybu, realizace funkcí
		H=20÷100 L=100÷1000 b=1÷15		
		H do 80 L do 200 b=2÷10	DŘÁŽKOVÁ	
VAČKY KOTOUČOVÉ		$R_{max} = 15 \div 60$ b=2÷4	OBVODOVÁ	Spínání a vypínání elektr. zařízení v obou směrech
		$R_{max} = 15 \div 200$ b=1÷10		K přeměně postupného nebo kývavého pohybu na pohyb rotační
		$R_{max} = 15 \div 100$ b=2÷5		Transformace pohybu a realizace funkcí
		$R_{max} = 15 \div 150$ b=2÷5		Transformace pohybu a realizace funkcí

Profil	Rozměry	Druh	Užití
VÁČKY KOTOUČOVÉ	  $a=5\div 20$	VÝSTŘEDNÍK	Vyvození sinusových a kosinusových závislostí
	  $R_{\max}=50\div 120$	DRÁŽKOVÁ	Transformace pohybu a realizace funkcí
	  $a=5\div 20$ $b=4\div 15$	VÝSTŘEDNÍK S DRÁŽKOU	Vyvození sinusových a kosinusových závislostí
PROSTOROVÉ VÁČKY	 $D=30\div 150$	VÁLCOVÁ DRÁŽKOVÁ	Realizace funkcí a k transformaci pohybu (i pro $\varphi > 360^\circ$)
	 $D=30\div 150$	PROSTOROVÁ DRÁŽKOVÁ	Vyvození kývavého pohybu
	 $D=30\div 100$ $S=10\div 150$	KONOID OBECNÝ	Transformace dvou nezávislých pohybů
	 $D=30\div 100$ $S=10\div 150$	VÁLCOVÁ ČELNÍ	Transformace pohybu

Profil		Rozměry	Druh	Užití
VÁČKY KOMBINOVANÉ		$R_{\max}=10\div 80$ $b=2\div 20$	VÁČKA TROJITÁ	Vázanost pohybu různých mechanismů
		$R_{\max}=10\div 50$ $b=2\div 20$	VÁČKA VE SPOJENÍ S OZUB. KOLEM	
		$R_{\max}=50\div 150$ $B=25\div 80$ $b=2\div 25$	DVOJITÁ KOTOČOVÁ	Pro vysoce rychlostní mechanismy s kinematickým závěrem
VÁČKY PRO FUNKČNÍ ÚHEL NATOČENÍ ($\varphi \geq 360^\circ$)		$R_{\max}=50\div 100$	DRÁŽKOVÁ	Realizace funkčních pohybů pro úhel natočení $\varphi=2\pi$
		$R_{\max}=40\div 80$	OBVODOVÁ STUPŇOVÁ	Realizace funkčních závislostí pro úhel natočení $\varphi > 360^\circ$
		$R_{\max}=50\div 100$	DRÁŽKOVÁ	

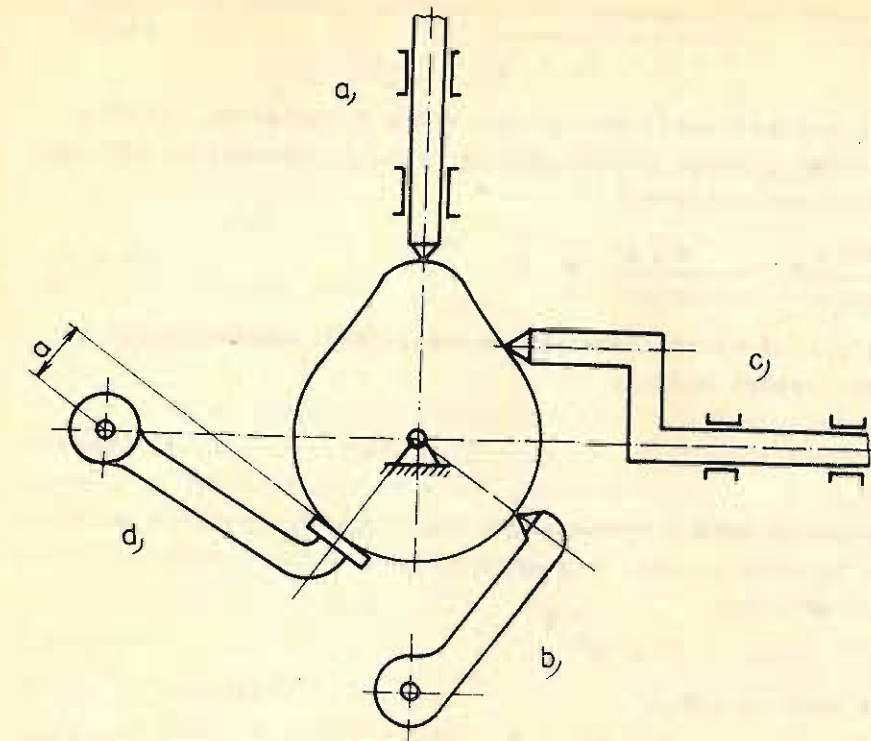
Tvarování zvedáků (zdvihátek) a pák v místě styku s vačkou vychází z požadavku bodového nebo přímkového styku. Bodový dotyk zaručuje kulové zakončení zvedáků při kluzném tření (obr. 9.276) nebo bombírování vodících kladek (obr. 9.277). Přímkový styk je možno provést zaobleným břitem (obr. 9.278), rovinnou plochou - klouzátkem (obr. 9.279) anebo válcovou kladičkou (obr. 9.280). Styková plocha na vačce bývá obvykle válcová, málokdy bombírovaná. Pro zajištění správného zdvihu zvedáku nebo páky s kulovým zakončením stačí pouze jedna kinematická vazba, a to vodící ložisko. U přímkového styku je nutno zaručit polohu stykové přímky ve směru rotace vačky. Toto se provádí dalšími pasivními vazbami. Nežádoucí pohyby jsou naznačeny čárkovanými čarami; správný aktivní pohyb pak plnou čarou. Mezi zvedákem nebo pákou vzniká tření kluzné nebo valivé. Dáváme přednost valivému tření, t.j. použití kladiček.



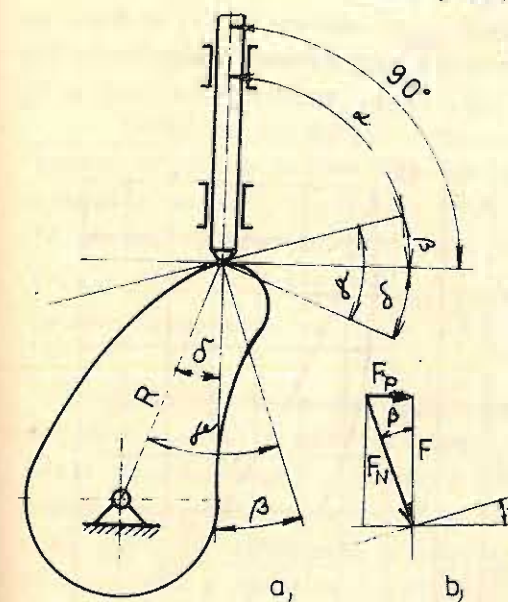
Vlastní vačkové mechanismy můžeme dělit podle těchto hledisek:

- 1) podle charakteru pohybu hnacího členu na mechanismy:
 - 1a) s rotačním pohybem
 - 1b) s pohybem postupným
- 2) podle charakteru pohybu hnaného členu na mechanismy
 - 2a) s postupným pohybem
 - 2b) s rotačním kývným pohybem
- 3) podle vazby členů na mechanismy
 - 3a) se silovou vazbou
 - 3b) s tvarovou vazbou
- 4) podle polohy hnaného členu vzhledem ke hnacímu členu na mechanismy:
 - 4a) centrální, kde osa zvedáku nebo stykového bodu páky směřuje do osy rotace vačky (obr. 9.281 a, b)
 - 4b) excentrické, kde osa zvedáku nebo stykového bodu páky neprochází osou rotace vačky (obr. 9.281 c, d).

Spolehlivý chod vačkového mechanismu musí vyloučit zaklínění zvedáku a vačky. Toto je zvláště důležité v těch případech, kde je vačka hnaným elementem. Při pohybu se vačka ve stykovém místě vklíní pod zvedák nebo páku. V tomto místě vzniká tření, vyvolané zátěžnou silou F [N].



Obr. 9.281



Obr. 9.282

Ve stykovém bodě můžeme vačku nahradit klínem, který je tvořen tečnou k profilu vačky a kolmicí ke směru pohybu zvedáku (obr. 9.282). Úhel α , který svírá směr pohybu zvedáku s tečnou k profilu vačky ve stykovém bodě se nazývá úhlem zdvihu nebo úhlem stoupání profilu vačky (také úhel převodu). Úhel β mezi tečnou a kolmicí na směr pohybu zvedáku je označován jako úhel tlaku. Úhel tlaku má vliv na spolehlivost mechanismu. Zanedbáme-li tření,

pak z obr. 9.282 vyplývá, že pro úhly α a β platí

$$\alpha + \beta = 90^\circ \quad (9.111)$$

t.j., že se zvětšujícím se úhlem α klesá úhel β a naopak. Rozklad sil ve stykovém bodě N bez uvažování tření dává:

$$\vec{F}_N = \vec{F} + \vec{F}_P; \quad F_N = \frac{F}{\cos \beta} = \frac{F}{\sin \alpha};$$

$$F_P = F \tan \beta = F \cot \alpha \quad (9.112)$$

kde F je zátěžná síla [N], F_N je kolmý tlak ve stykovém bodě [N], F_P je posuvná síla ve směru kolmice na směr pohybu zvedáku.

Z rov. (9.112) plyne, že čím je menší úhel tlaku β resp. větší úhel zdvihu α , tím je menší kolmý tlak F_N . Velikost úhlů α a β je závislá na průvodiči stykového bodu, a to tak, že se zvětšujícím se průvodičem vačky bude úhel β narůstat a úhel α klesat. Vznikem úhlu β roste kolmý tlak a tím i odpor proti pohybu jak mezi vačkou a zvedákem, tak mezi zvedákem a jeho vedením. Zmenšování rozměrů vačkového mechanismu vyvolá zmenšení úhlu α resp. zvětšení úhlu β . Spolehlivý provoz má naopak protichůdné požadavky, a to větší úhel α a menší úhel β . Proto se vždy snažíme volit optimální hodnoty úhlu β resp. α .

Budou-li nyní součinitelé tření ve vedení zvedáku $f_1 = \tan \varphi_1$ a mezi zvedákem a vačkou $f_2 = \tan \varphi_2$, pak poměr sil s uvažováním tření je

$$\varepsilon = \frac{F_N}{F} = \frac{\cos \varphi_1}{\cos(\beta + \varphi_1 + \varphi_2)} \quad (9.113)$$

Aby nedošlo vlivem tření k samosvornosti mechanismu a tím k zastavení dalšího pohybu (hlavně u hnaných vaček), nesmí poměry úhlu α resp. β překročit určitou mez, danou tzv. koeficientem spolehlivosti

$$k = \frac{\cotg \alpha_s}{\cotg \alpha} = \frac{\tg \beta_s}{\tg \beta} \leq 1 \quad (9.114)$$

kde α_s a β_s jsou úhly, při nichž začíná samosvornost. Úhel samosvornosti β_s nabývá na základě silových rozborů hodnoty

$$\beta_s = 90^\circ - (\varphi_1 + \varphi_2) \quad (9.115)$$

Pro návrh vačkového mechanismu s vysokou účinností a s vysloučením zaklínění, tj. samosvornosti, by měly platit tyto nerovnosti: pro vačkový mechanismus se zvedákem

$$\alpha \geq 60^\circ \quad \text{resp.} \quad \beta \leq 30^\circ \quad (9.116)$$

pro vačkový mechanismus s otočnou pákou

$$\alpha \geq 45^\circ \quad \beta \leq 45^\circ \quad (9.117)$$

Optimální hodnotu úhlu tlaku β_0 mezního úhlu β_{\max} můžeme určit z diagramu (obr. 9.283) navrženého prof. Šaumanem. Zde na základě redukovaných součinitelů tření do místa styku fr_1, fr_2 lze určit hodnotu β_0, ε, k , resp. zkontrolovat z, ε a k ,

zde navržený úhel tlaku β má optimální hodnotu. Redukované součinitele tření se určí ze součinitelů tření f_1 a f_2 a z konstrukčního návrhu mechanismu.

Výpočet příkonu pro pohon hnacího členu se opírá o zátěžné podmínky na straně hnaného členu a z účinnosti vačkového mechanismu. Účinnosti: pro centrální tříčlenný mechanismus vačka-zvedák

$$\eta = \frac{1 - fr_1 \cdot fr_2 - (fr_1 + fr_2) \tg \beta}{1 + fr_1 \cotg \beta} \quad (9.118)$$

pro excentrický tříčlenný mechanismus vačka-zvedák, vačka-páka

$$\eta = \frac{1 - fr_1 \cdot fr_2 - (fr_1 + fr_2)}{1 + fr_1 \cotg \delta} \quad (9.119)$$

kde $\delta = \delta + \beta$ je úhel mezi tečnou a kolmicí na průvodič v bodě styku.

Má-li se navrhnout mechanismus podle mezních úhlů zdvihu α_{\min} nebo α_{\max} hodnot β_{\max} , musí se respektovat podmínka, aby ani v jedné poloze mechanismu nebyl úhel α menší než α_{\min} resp. $\beta > \beta_{\max}$. Při návrhu vačkového mechanismu podle maximálního úhlu β_{\max} a podle zadaného zákona pohybu hnaného členu,

určuje se nejmenší přípustná obvodová rychlost vačky ze vztahu

$$v_v > \frac{v_{\max}}{\tg \beta_{\max}} \quad (9.120)$$

resp. ze zadané rychlosti v_v největší přípustná rychlost vedeného členu

$$v_{\max} \leq v_{v \min} \cdot \tg \beta_{\max} \quad (9.121)$$

kde v_v je rychlost vačky, $v_{v \min}$ - minimální rychlost vačky.

v_{\max} je maximální rychlost hnaného členu [m s^{-1}].

Při chodu vačkového mechanismu vznikají dynamické síly, závislé na hodnotě zrychlení a hmotnosti pohyblivých členů. Tyto síly mohou překonat pružinové silové vazby a způsobit tak odtržení zvedáku od vačky. Toto má vliv na požadovanou přesnost realizace hnaného pohybu. Maximální hodnota zrychlení, kterou lze připustit je dána vztahem

$$a_{\max} = k \frac{S_0}{T_0^2}, \quad [\text{m s}^{-2}] \quad (9.122)$$

kde S_0 je maximální zdvih [m]

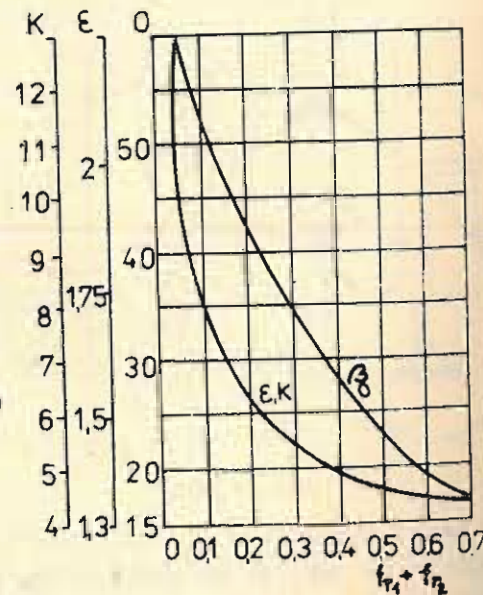
T_0 je perioda pohybu vačky, [s]

k je součinitel, charakterizující vliv působení setrvačných sil pohybujících se členů mechanismu. Jeho hodnota závisí na konstrukčním řešení vačkového mechanismu.

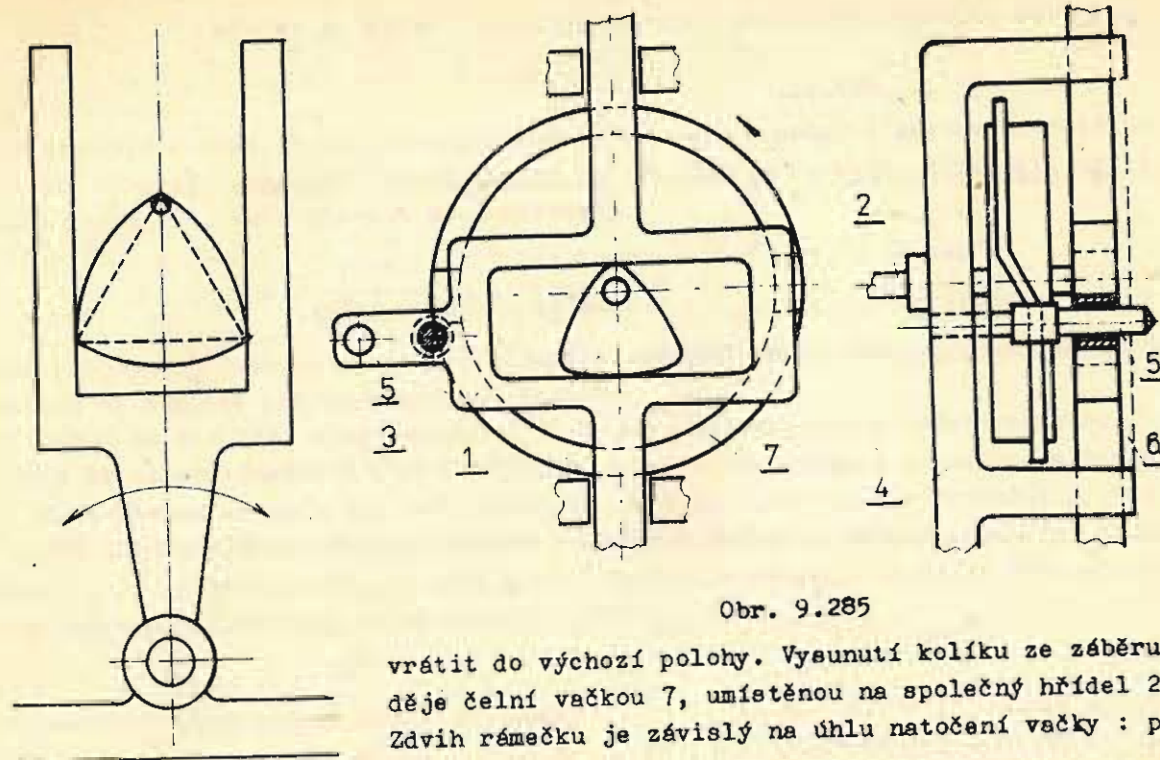
Vačky se vyrábějí z cementačních ocelí s následným povrchovým kalením, z konstrukčních a legovaných ocelí s povrchovým kalením nebo i bez něho, z bronz, mosazí a umělých hmot. Pro volbu materiálu je rozhodující kontaktní napětí v místě styku. Výpočet max. tlaku se děje podle Hertzových vztahů. Dovolené kontaktní napětí se bere v hodnotě $\sigma_{\text{dov}} = 0,95 \cdot \sigma_{\text{pt}}$ resp. $\sigma_{\text{dov}} = 2,2 \text{ HRC}$, kde σ_{pt} [MPa] je mez pevnosti v tahu.

Použití vačkových mechanismů v přesné mechanice je velmi časté, protože umožňuje sestavit zařízení pro předem zadaný průběh pohybu resp. vyvodit síly podle předem daných požadavků poměrně malým počtem členů. Vačky mohou být jak hnací tak i hnané elementem. S použitím vaček se setkáváme při stavbě obráběcích strojů - automatů, u podávacích mechanismů, v optických přístrojích při zaostřování a nastavení optických soustav ap.

Pro vyvození kývavého pohybu s prodlevou v úvratích, např. u podávacích mechanismů, můžeme použít speciálně tvarované trojboké vačky (obr. 9.284). Trojboká vačka je umístěna do vidlice páky, otočné kolem čepu. Vačka dostává plynulý pohyb. Chod vačky ve vidlici musí být bezvůlový. Umístíme-li tutéž vačku do rámečku, kterému dáme v přímém vedení možnost postupného pohybu, dostáváme přímočarý podávací mechanismus (obr. 9.285). Vačka 1, otočná kolem osy 2, má obrys ohraničený třemi kruhovými oblouky, jejichž středy leží ve vrcholcích trojúhelníku a otáčí se v rámečku 3, vedeném v tělese mechanismu 4. Při konstantní rotaci, bude rámeček vykonávat postupný vratný pohyb s prodlevou v úvratích. Rámeček je opatřen posuvným kolíkem 5, který zapadá do perforace podávaného pásu 6, který je takto posouván. Po dokončení podávacího pohybu o jeden krok, musí se kolík vysunout a



Obr. 9.283



Obr. 9.285

vrátit do výchozí polohy. Vysunutí kolíku ze záběru se děje čelní vačkou 7, umístěnou na společný hřídel 2. Zdvih rámečku je závislý na úhlu natočení vačky : pro

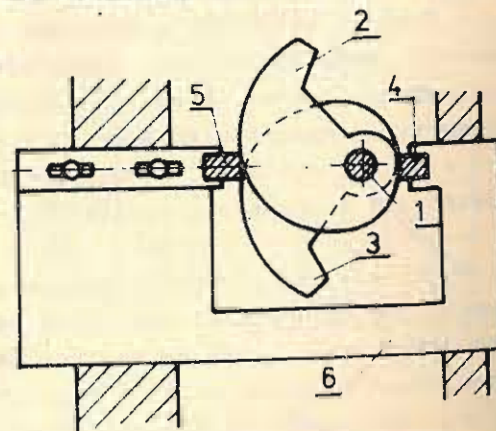
$$\alpha = 0 + 60^\circ \text{ je } h_1 = 0 \quad \alpha = 180^\circ + 240^\circ \text{ je } h_4 = 0$$

$$\alpha = 60 + 120 \text{ je } h_2 = R [1 - \cos(\alpha - 60^\circ)] \quad \alpha = 240 + 300^\circ \text{ je } h_5 = R \cdot \cos[(\alpha - 60^\circ) - 180]$$

$$\alpha = 120 + 180^\circ \text{ je } h_3 = R \cos(180^\circ - \alpha) \quad \alpha = 300 + 360^\circ \text{ je } h_6 = R(1 - \cos \alpha)$$

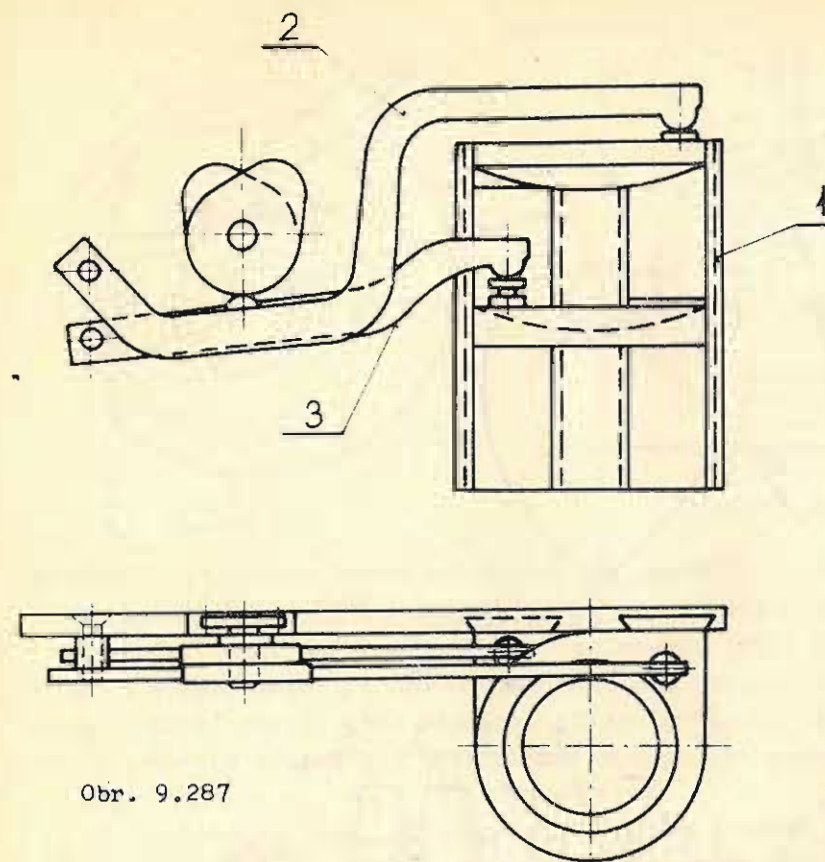
R je poloměr zaoblení vačky. Průběhy rychlosti a zrychlení dostaneme derivacemi výše uvedených funkčních vztahů nebo grafickou derivací z vynesného průběhu dráhy.

Zaostřovací mechanismus fotografického aparátu Rolleikord je znázorněn na obr. 9.286. Hnací vačky 2, 3 mají tvar Archimedovy spirály a jsou umístěny na hřídelíku 1 procházejícím komorou. Vačka 2 tlačí na klouzátko 4, vačka 3 na klouzátko 5. Obě klouzátká jsou umístěna v rámečku 6 vedeném v tělese. Při otáčení vačky se dosáhne posuvného pohybu rámečku. Vačky jsou umístěny na obou koncích hřídelíku. Rámečky jsou uchyceny na desku nesoucí objektiv. Vymezení vůle se děje posouváním klouzátká v rámečku. Na obr. 9.287 je znázorněno řešení nastavování soustavy válcových čoček optického zaměřovače. Otáčením kombinované vačky dochází k současněmu vzájemnému posuvu obou soustav čoček, vedených v nosné části zaměřovače 1. Posuv vyvozuje páky 2, 3.



Obr. 9.286

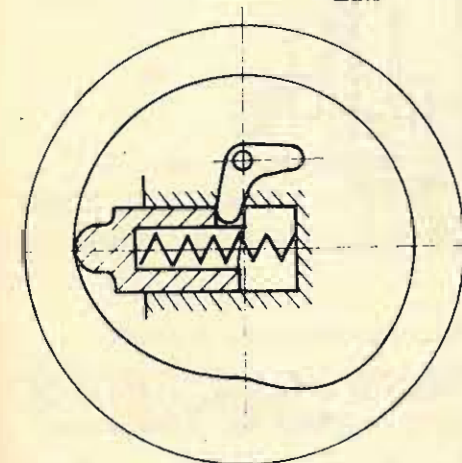
Činný povrch vačky může tvořit profilovaná dutina válcového kotouče (vnitřní vačka), jak to znázorňuje obr. 9.288. Pohyb zdvihátka se přenáší na pákový mechanismus, který je umístěn v dutině vačky. Sílová vazba je pružinová. Uvedená konstrukce je vhodná tam, kde chceme šetřit místem.



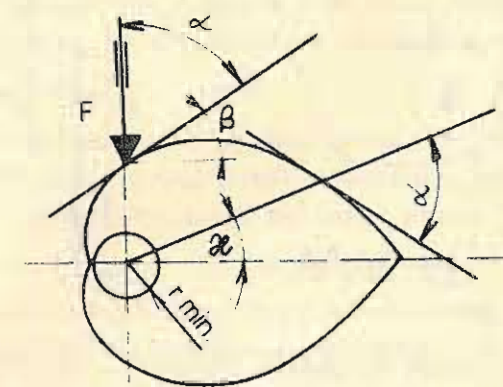
Obr. 9.287

Pro stanovení profilu vačky můžeme využít vztahu

$$\ln r = \ln r_{\min} + \alpha \cdot \cotg \alpha \quad (9.124)$$



Obr. 9.288



Obr. 9.289

Logaritmická spirála je nakreslena na obr. 9.289. Účinkem vnější síly se snaží vačka natočit do základní polohy (obr. 9.290). Vačka bývá oboustranná, má tvar srdíčka a proto se jí také tak říká. Srdíčka se používá v přístrojích, kde se má ukazatel nebo stupnice vracet do výchozí polohy, jak je tomu např. u počítadel otáček nebo kyvl. Konstrukční řešení vratného pohybu bubínku počítadla ukazuje obr. 9.201. Číslicový bubínek 1, 2, 3, je opatřen srdcovou vačkou. Současné nastavení všech bubínků se děje natočením páky 4, s pružinovou vazbou pro vratný pohyb. Současně s natočením páky 6 se vysune spojka 7 a pákou 8 pastorky, zabírající do bubínků. Analogická je i konstrukce stopek se dvěma sekundovými ručkami,

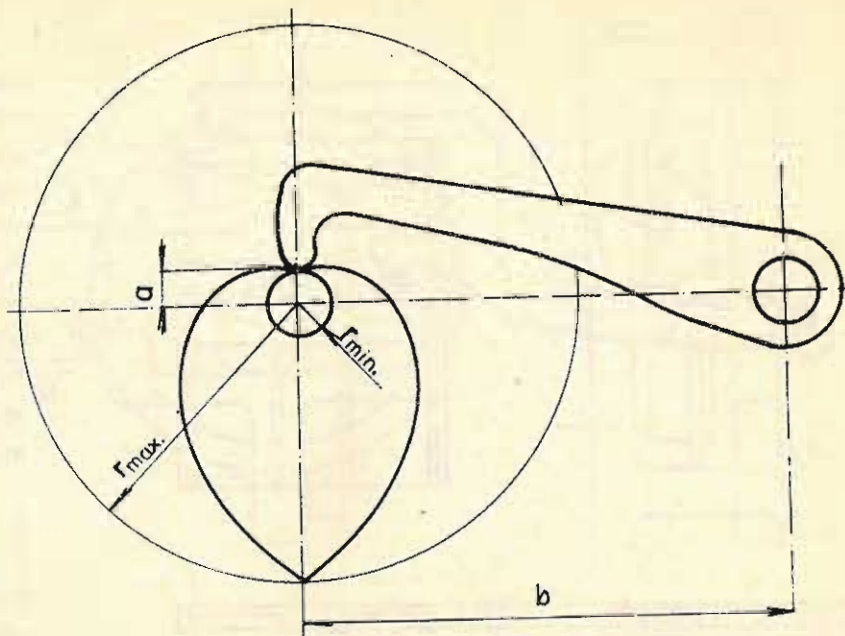
U hnacích vaček musí být úhel zdvihu větší než úhel na mezi samosvornosti. Při návrhu těchto vaček je vhodné volit úhel zdvihu konstantní pro celý zdvih nebo kyv hnacího elementu tj. zdvihátka či páky. Těto podmínce vyhovuje logaritmická spirála, daná rovnicí

$$r = r_{\min} \cdot e^{k\alpha} \quad (9.123)$$

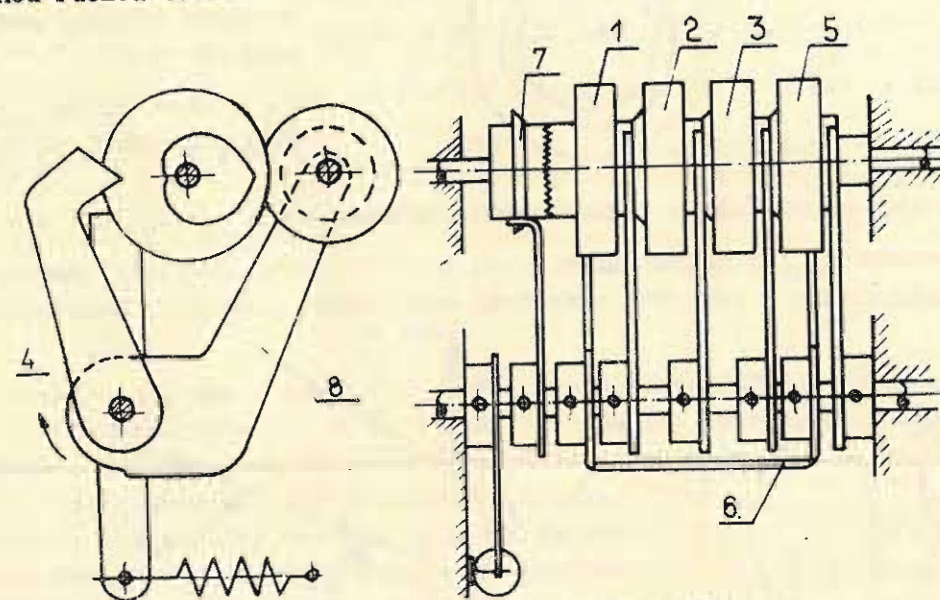
kde $k = \cotg \alpha$, r je průvodič bodu na spirále a r_{\min} je počáteční průvodič spirály pro úhel $\alpha = 0$

α je úhel zdvihu, α je úhel pootočení vačky.

z nichž jedna slouží pro odečítání mezičasu. Ručka, sledující mezičas, běží současně s hlavní ručkou a je s ní v zákrytu. Při odečítání mezičasu se pomocná ručka zastaví, po odečtu se musí opět dostat do zákrytu s hlavní ručkou. Řešení je na obr. 9.292. Na hřídelku základní ručky se volně v dlouhém náboji otáčí ocelové kolečko 1, nesoucí pomocnou ručku. Vazbu mezi základní a pomocnou ručkou tvoří



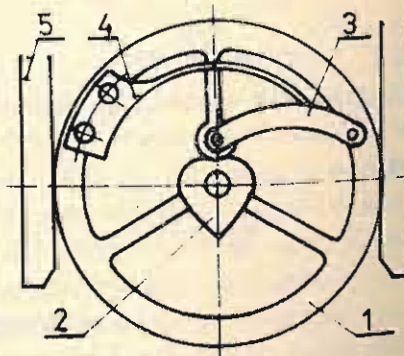
Obr. 9.290



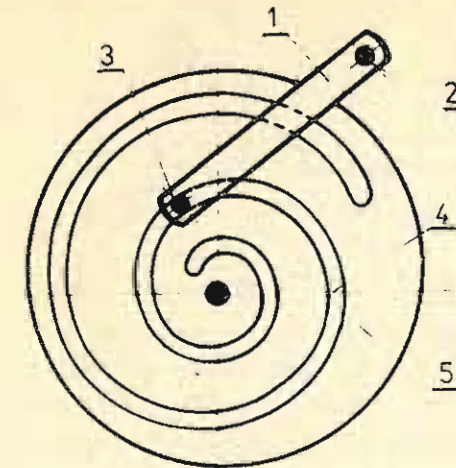
Obr. 9.291

srdíčko 2, pevně spojené s hřídelkem a páčka 3 s rubínovým kolečkem, otáčejícím se na čepu v kolečku. Vymezení vůle mezi pákou a srdíčkem, která by jinak mohla ovlivnit správný chod (nejistota činnosti je b/r_{min}) a současně silovou vazbu tvoří pružinka 4. Stisknutím ovládacího knoflíku se kleště 5 sevřou, kolečko s pomocnou ručkou se zastaví, ale srdíčko se otáčí dále. Druhým stisknutím knoflíku se kolečko uvolní a pružinkou se na páčku 3 vyvodí síla, která kolečko donutí zaujmout polohu základní ručky.

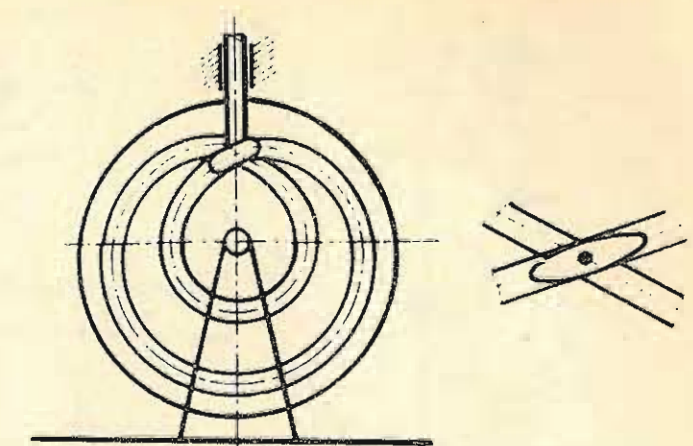
Aplikace vačky s vícenásobným otočením se užívá např. u leteckého sextantu pro naklápění zrcátka (obr. 9.293). Zrcátko je upevněno na páce 1, otočné



Obr. 9.292

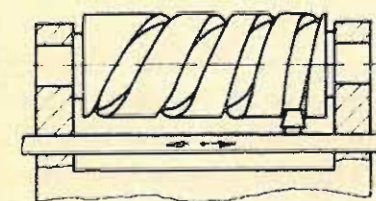


Obr. 9.293



Obr. 9.294

kolem čepu 2. Další čípek 3 zasahuje do spirálové drážky 4 v kotouči vačky 5. Tímto kotoučem natáčí pozorovatel tak, aby zrcátko směřovalo za sluncem. Vzhledem ke konstrukci uchycení páky a v požadavku přímé úměrnosti úhlových pohybů kotouče a páky nebude spirála splňovat podmínky Archimédovy spirály, jak by bylo žádoucí z teoretického hlediska. Tvar drážky se dá vyrobit pomocí speciálního frézovacího přípravku, který bude napodobovat skutečné pohyby.



Obr. 9.295

Pro pohyb zvedáku či páky se někdy vyžadují dvě popř. i více otáček vačky, to znamená, že na pracovní zdvih je úhel vačky $\varphi \approx 2\pi$. V těchto případech lze užít zkřížených drážek podle obr. 9.294. Aby nedocházelo v místě křížení drážek k zablokování mechanismu, upravuje se konec zdvihátka do tvaru člunku, který zaručuje správné navedení do drážek.

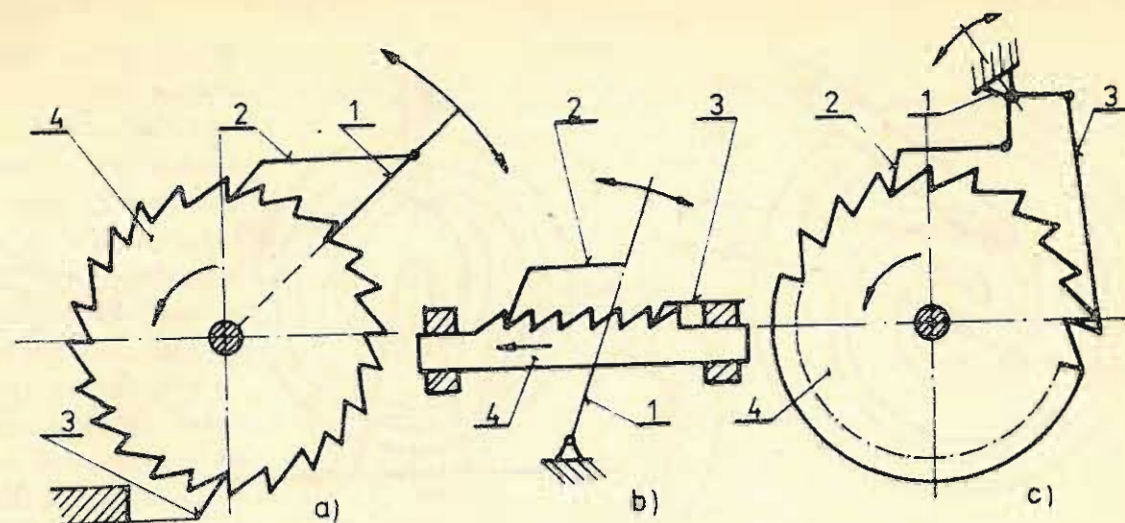
Z prostorových vaček je zajímavé řešení vačkového mechanismu pro vyvození zrychleného pohybu. Vačka je tvořena závitem s proměnlivým stoupáním, které zajišťuje při konstantní úhlové rychlosti vačky zrychlený postupný pohyb (obr. 9.295).

Uvedená kapitola nemůže probrat všechny případy užití a tvarování vaček a proto pro další studium doporučujeme odbornou literaturu, zabývající se aplikací vačkových mechanismů.

9.8. PODÁVACÍ ÚSTROJÍ ZÁPADKOVÁ

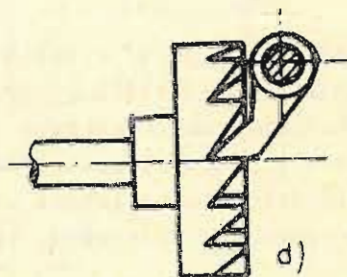
Podávací ústrojí západkové slouží k přeměně postupného, kývavého nebo rotačního pohybu na přerušovaný pohyb rotační nebo posuvný v jednom směru za pomoci západky a rohatky. Vlastní pohyb hnací části se děje po přítržích, krocích. Západka je součástí hnacího mechanismu - páky, rohatka je součástí hnanou. K zabránění zpětného pohybu se užívá zádržné západky.

Princip západkových podávacích mechanismů je patrný z obr. 9.296 a, b, c. Páka 1 (obr. 9.296a) koná kývavý pohyb a unáší s sebou hnací západku 2, otočnou

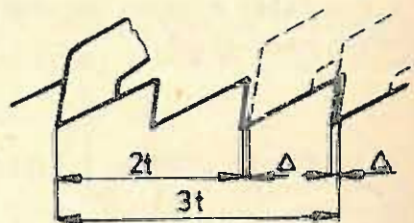


Obr. 9.296

uloženou na páce. Při naznačeném směru pohybu západka zapadá do zubní mezery rohatky 4 a tuto pootočí o jednu nebo několik roztečí. Zpětnému chodu rohatky brání zadržná západka 3. Přeměnu kývavého pohybu na pohyb posuvný ukazuje schema obr. 9.296 b. V uvedených případech je použito jak u hnací, tak i u zadržné západky - západky tlačné tj. namáhané tlakem. Při zpětném kyvu páky rohatka nekoná žádný pohyb. Podávací mechanismus znázorněný na obr. 9.296 c má dvě západky, otočně uložené na páce a obě se zúčastňují přenosu pohybu na rohatku, a to tak, že při dopředném pohybu páky pohyb přenáší západka 2 a západka 3 slouží k zabránění pohybu. Při pohybu páky v opačném směru se stává západka 3 západkou hnací a západka 2 zadržovací. Západka 3 je západkou tažnou tj. namáhanou tlakem. Rohatka může mít také čelní ozubení (obr. 9.296 d).

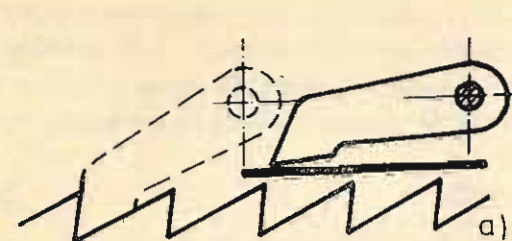


Západka může podávat rohatku o jednu nebo více roztečí. Při podávání rohatky o jednu rozteč musí být dráha západky větší než jedna rozteč, ale menší než dvě rozteče. Při podávání o dvě (obr. 9.297) musí být, pro správné zapadnutí západky, její pohyb do pravé krajní polohy o hodnotu Δ větší než dvě rozteče a o stejnou hodnotu Δ menší než tři rozteče. Při dodržení těchto podmínek je přesnost podávání velmi dobrá a je ovlivněna pouze dodržením výrobních tolerancí rozteče zubů. Mě-li se počet roztečí měnit, pak lze dráhu západky změnit buď změnou úhlu kyvu páky nebo použitím clony (obr. 9.298 a, b), která vyloučí nepotřebný počet roztečí. U clony se úhel kyvu páky nemění. Tohoto způsobu lze užít i v případě, kdy je zapotřebí stále stejné podávání, ale velikost kyvného pohybu páky se mění.

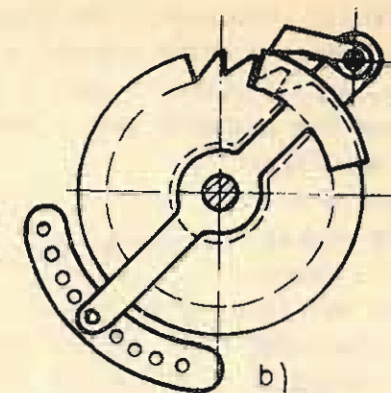


Obr. 9.297

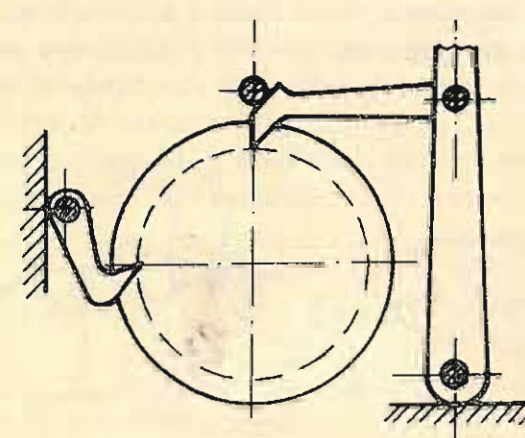
Pokud se jedná o malý úhlový pohyb, umístění páky může být kdekoli (obr. 9.299) tj. i mimo střed otáčení rohatky. Jakmile se však jedná o velké úhlové výkyvy páky 1, pak střed kývavého pohybu musí souhlasit s osou rotace rohatky (obr. 9.300). Západka 2 bývá otočně uložena na páce a zapadá do příslušné mezery zubové. Zadržná západka 3 je dotlačována do zubové mezery vnější silou, vyvozovanou nejčastěji pružinou. Mimo tlačné činné západky 2 je možno použít i západky tažné 4.



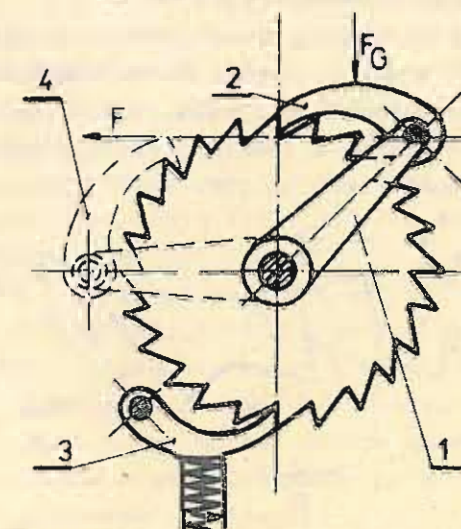
(Poloha tažné západky a její uchycení na páku je znázorněna na obr. 9.300 čárkovaně). Tlačné západky se používá častěji, poněvadž silové poměry jsou u ní výhodnější a snáze se vyrábí.



Obr. 9.298

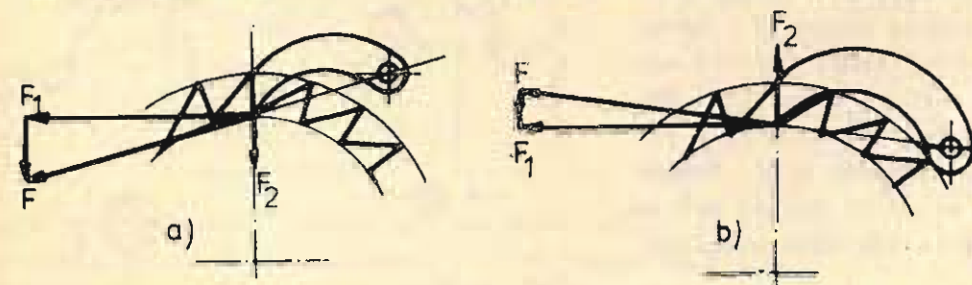


Obr. 9.299



Obr. 9.300

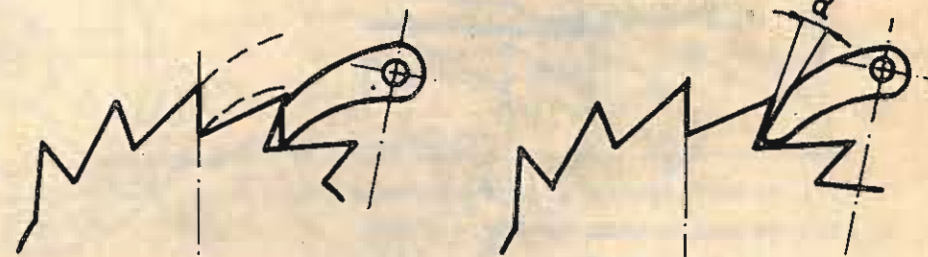
Poloha otočného čepu západky na páce má vliv na silové poměry v místě styku západky s rohatkou a tím ovlivňuje i tvar čela západky a zubů. Uložení čepu ve směru tečny k patní kružnici vykazuje nejlepší silové poměry. Styková plocha zubu se západkou může mít radiální směr, přenášená síla ze západky na rohatku je konstantní, $F = \frac{M_k}{R}$, kde M_k je krouticí moment, R je poloměr rohatky. Západka snadno zapadne do rohatky (viz obr. 9.300). V případě, že otočný bod je z konstrukčních důvodů umístěn nad nebo pod směr tečny k patní kružnici, pak přenášená síla na zub rohatky F v počátku záběru se rozkládá na složku tečnou F_1 , přenášející krouticí moment, a na složku kolmou na tečnu F_2 . Rozklad sil pro oba uvedené případy jsou znázorněny na obr. 9.301 a, b. Z obr. 9.301 a plyne, že složka F_2 tlačí západku do záběru. Vlivem této složky vzniká nejistý záběr a těžkosti při uvolňování západky ze záběru. Silové poměry na obr. 9.301 b ukazují, že západka je ze záběru vytlačována a proto se musí zatlačovat vnější silou. Tato vnější síla bývá vyvozena buď pružinou nebo vlastní hmotností západ-



Obr. 9.301

záběru vytlačována a proto se musí zatlačovat vnější silou. Tato vnější síla bývá vyvozena buď pružinou nebo vlastní hmotností západ-

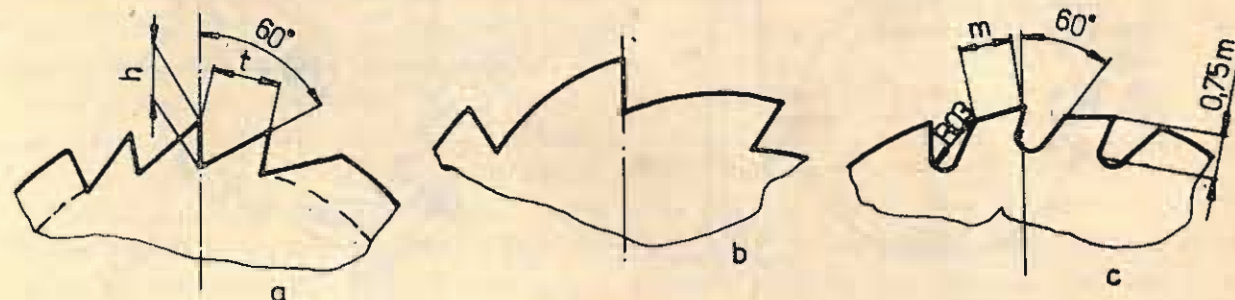
ky. Při umístění kyvné páky mimo osu rohatky (obr. 9.299), není zaručen stejný záběr po celé potřebné dráze západky a tím se nemůže docílit přesný tangenciální pohyb rohatky. Jak je patrné z obr. 9.302 při radiální čelní ploše zubu rohatky dochází k hranovému namáhání zubu i rohatky, a tím k jejich otlacení, rychlému opotřebení. Z uvedených důvodů je proto nutno čelo západky zkosit (obr. 9.303). Teoreticky by měl být úhel zkosení čela západky roven úhlu vychýlení stykové plochy zubu v počátku záběru. Toto



Obr. 9.302

Obr. 9.303

se dá z výrobních důvodů těžko docílit a proto se úhel zkosení čela zvětšuje o úhel α a ostří západky se zaobluje velkým poloměrem. Toto řešení zaručuje správný záběr s ohledem na výrobní tolerance. U tažných západek se ozub podřezává a provádí se současně i podřezání zubu rohatky. Tvarování zubů rohatky pro tlačnou západku je znázorněno na obr. 9.304 a, b, c.

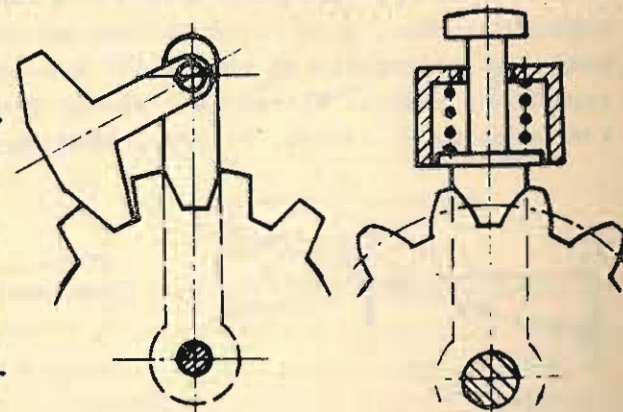


Obr. 9.304

Provedení a je nejobvyklejší a snadno vyrobitelné. Provedení b se užívá zřídka. Pro velká zatížení se užívá provedení c, které zajišťuje velkou bezpečnost záběru. Rozměry zubu jsou uvedeny v závislosti na modulu m , odpovídající velkému průměru kola.

Má-li se rohatka použít pro oba směry pohybu, pak se užívá asymetrických ozubů, profilu pravouhlého či lichoběžníkového (obr. 9.305) nebo evolventních zubů (obr. 9.306). Změnu směru pohybu rohatky docílíme překlopením dvojité západky. Evolventních zubů používáme při přenosu přítrhového pohybu na další ozubené kolo, které je s rohatkou v trvalém záběru.

Západka je při provozu velmi namáhána, a to hlavně rázy na počátku záběru. Proto se vyrábí z kvalitních ocelí, kalí se a popouští na modrou barvu. U rohatky je mechanické namáhání menší a proto může být vyráběna z měkkých materiálů. Používá se konstrukčních ocelí, mosazí a v poslední době i plastických hmot. Průměr rohatky má být co největší, aby se při daném krouticím momentu zmenšila obvodová síla.



Obr. 9.305

Obr. 9.306

Podávací pohyb se často udává bezrozměrným součinitelem tzv. součinitelem podávání

$$S_p = \frac{t_p}{t_c} = \frac{t_p}{t_{zp} + t_p}$$

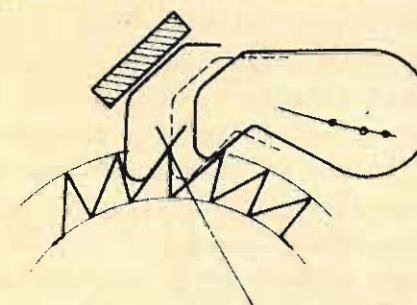
kde t_p je doba činného chodu rohatky [s]

t_{zp} je doba zpětného chodu páky [s], při němž se rohatka neotáčí

t_c je celková doba kyvného pohybu páky [s]

Zvětšení rychlosti podávání při daném počtu zubů rohatky lze docílit zvětšením počtu západek např. na dvě, jak je znázorněno na obr. 9.296 c resp. na obr. 9.308.

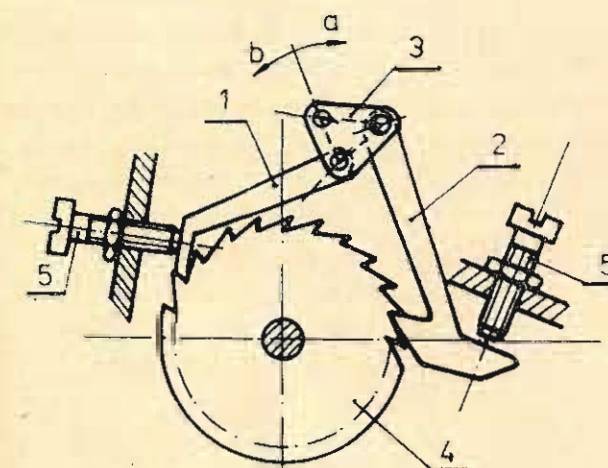
U větších drah západky, zvláště však u rychlých přítrhů, vznikají dosti velké setrvačné síly, které mohou způsobit přeběhnutí požadované rozteče (kroku). Tomu se dá zabránit zabudováním dorazu. V nejjednodušším případě může doraz tvořit kolík zapuštěný do nosné části mechanismu (obr. 9.299) nebo se vytvoří dorazová plocha úhelníčkem z ohnutého plechu. Tento je vidět v řezu na obr. 9.307. Při požadavku na nastavitelnost přítrhu je vhodné použít stavěcího šroubu. Tohoto způsobu je použito u krokového mechanismu elektrických hodin (obr. 9.308), kde západka 1 je tlačná, západka 2 je tažná. Natočením kyvné páčky 3 ve směru a zapadne západka 1 do zubní mezery a pootočí rohatku 4 o danou rozteč. Zpětnému pohybu brání západka 2. Při natočení ve směru b se uvede do činnosti západka 2. Přeběhnutí západek brání dorazy 5. Nastavením dorazů můžeme ovlivňovat úhel pootočení rohatky. Západky do zubních mezer zapadají vlastní hmotností.



Obr. 9.307

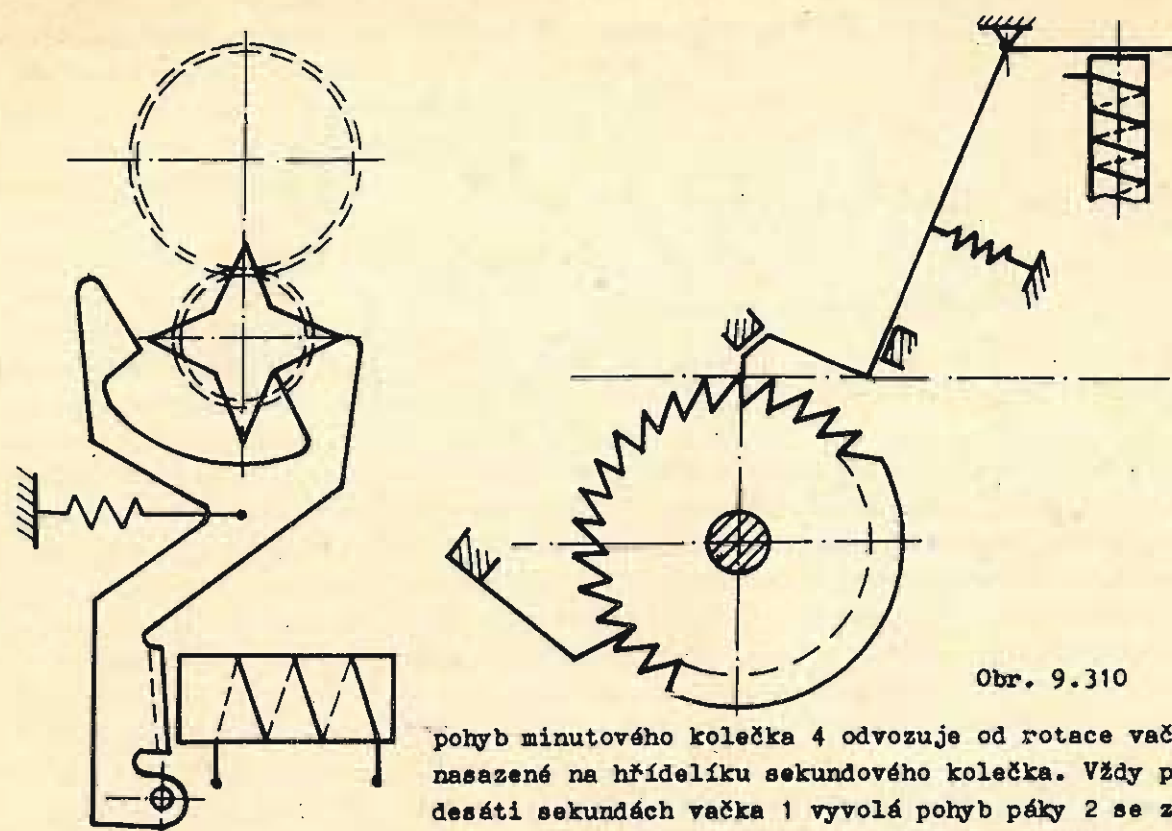
Je-li žádoucí velký úhel natočení rohatky na jeden kyv páky, pak je nutné volit na rohatce malý počet zubů. Konstrukční řešení podávacího mechanismu se čtyřzubovou rohatkou

ukazuje obr. 9.309. Toto uspořádání má tu výhodu, že není třeba zvláštní západky pro každý kyv páky. Uvedení páky do kývavého pohybu se provádí ručně, a to v těch případech, kdy je žádané občasné podávání. Vyvození kyvného pohybu může být provedeno také elektromagnetem, kdy impulsem proudu se přitáhne kotva, která je součástí páky. Tohoto způsobu je užito u krokového mechanismu do telefonních ústředěn, schematicky znázorněného na obr. 9.310. Pro převod plynulého rotačního pohybu na přetržitý podávací pohyb se velmi



Obr. 9.308

často používá vačky. Spirálové obvodové vačky, přímo vychylující páku se západkou, se dosti často užívá v mechanických chronometrech při počítání celých minut. Dvě možné varianty řešení počítadel minut jsou na obr. 9.311 a, b. V obou případech se



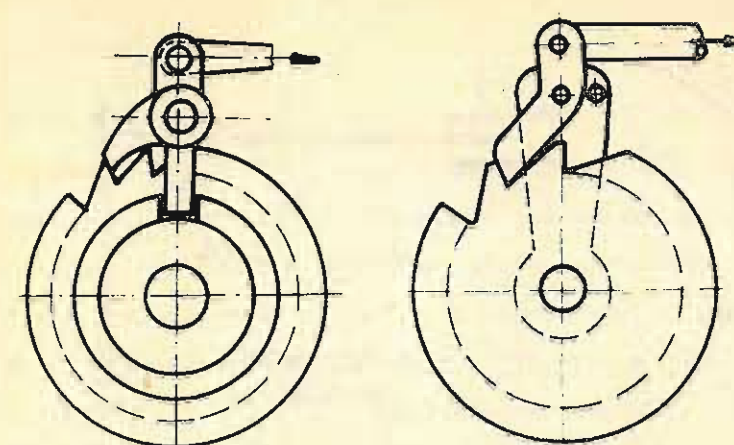
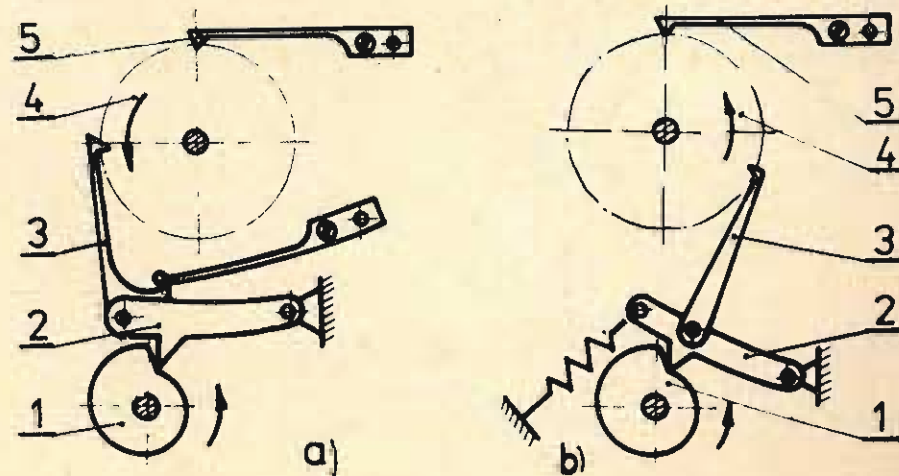
Obr. 9.309

Obr. 9.310

pohyb minutového kolečka 4 odvozuje od rotace vačky, nasazené na hřídelku sekundového kolečka. Vždy po šedesáti sekundách vačka 1 vyvolá pohyb páky 2 se západkou 3, který pootočí sčítací kolečko o jednu rozeť. Zpětnému pohybu kolečka brání buď indexovací pružina 5 nebo zpětná západka 5'. Provedení a má tu nevýhodu, že při zastavení chronometru těsně před ukončením šedesáté sekundy a po následném spuštění, může vlivem nepřesnosti výroby vzniknout chyba až 1 minuty. Tato chyba se vyloučí použitím tlačné západky a uspořádáním mechanismu podle provedení b. Dále kývavý pohyb páky můžeme vyvodit také výstředníkem nebo kulisovým mechanismem.

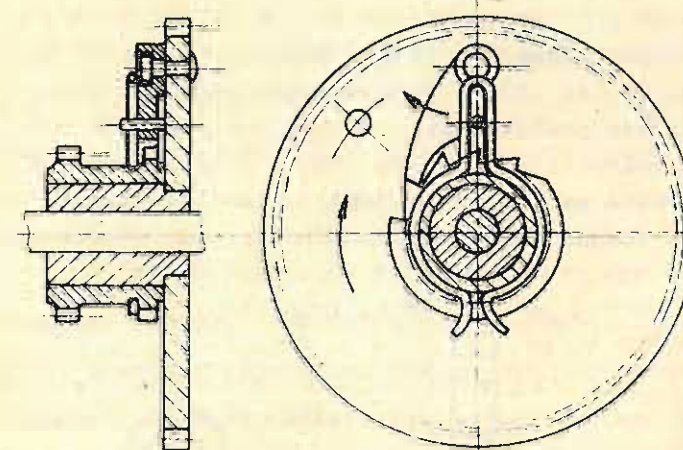
Nevýhodou západkových podávacích mechanismů je hlučnost způsobená přeskokováním západek přes zuby rohatky při zpětném chodu. Odstranění hlučnosti se dá provést nadzvednutím západky při zpětném kyvu páky. Konstrukční řešení jsou uvedeny na obr. 9.312 až 9.314. Na obr. 9.312 a 9.313 je užito pružných kroužků nasazených na nepohyblivý váleček. Do těchto pružných kroužků zapadá výstupek nebo kolík západky, který při zpětném pohybu tuto nadzvedne nad zuby rohatky. Při činném pohybu naopak tento pružný kroužek zaručuje bezpečné zapadnutí západky. Na obr. 9.314 je západka vytvořena jako dvouramenná páčka otočně uchycená na táhlo, které západku nadzvedává.

Obr. 9.311



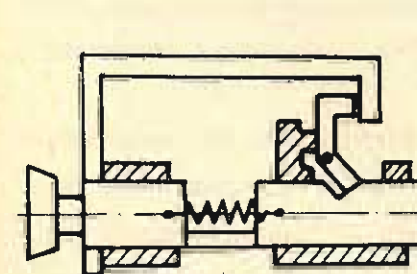
Obr. 9.312

Obr. 9.314

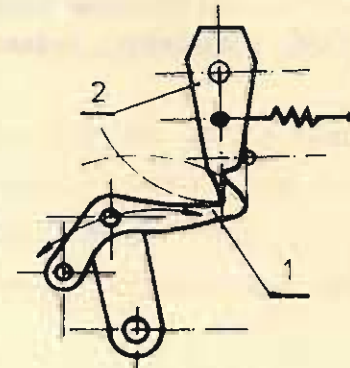


Obr. 9.313

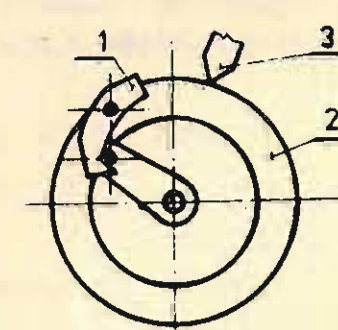
Rohatky a západky se užívá také u střídacích mechanismů, jejichž úkolem je střídavě uvádět mechanismus vchod nebo jej zastavovat, popř. měnit základní polohu dalších součástí po uvedení západky do chodu. Schémata těchto zařízení jsou na obr. 9.318 a 9.319. Stisknutím páčky 2 se ukazatel 3, spojený s rohatkou, vysune západkou 1 vždy na opačnou stranu, než kterou zaujímal předtím. Střední polohu západky udržuje pružina. Pokud nemá ukazatel dosti velké tření v uložení, pak se poloha zajistí např. indexovací pružinou (obr. 9.319).



Obr. 9.315

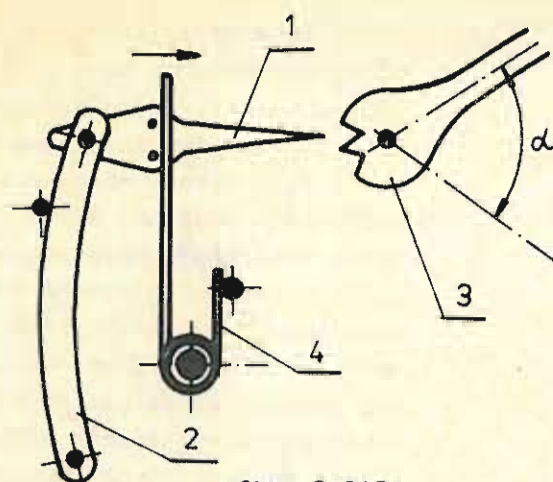


Obr. 9.316

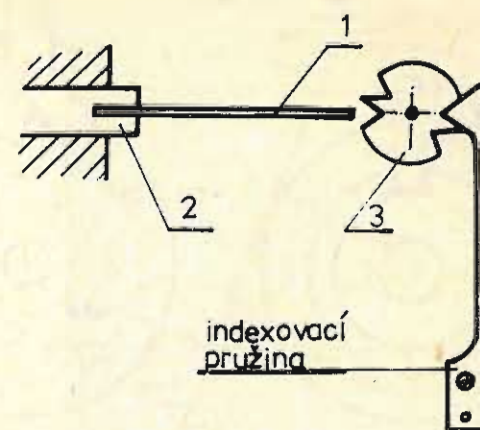


Obr. 9.317

Do podávacích mechanismů můžeme počítat také mžikové mechanismy. Jejich účelem je vyvodit jednorázový posuv. Hnací sílu vyvodí energie akumulovaná v pružině, která se těsně před příslušným pohybem uvolní. Schema mžikového mechanismu pro posuvný pohyb ukazuje obr. 9.315, kde vysunutím západky ze zářezu dojde k velmi rychlému posuvu. Dále se těchto mechanismů užívá např. v centrálních a šterbinových uzávěrkách fotografických přístrojů, znázorněných na obr. 9.316 a 9.317. U centrální uzávěrky (obr. 9.316) západka 1 před pravou úvratí zaskočí za ozub na páce 2. Při zpětném pohybu se unáší páka 2 spolu se západkou, dokud ji tato nepustí. Pohyb páky 2 je dán vzájemným konstrukčním uspořádáním dílů. U šterbinových uzávěrek (obr. 9.317) je západka spojena s kruhovým ramenem 2 dotud, dokud ji ze záběru nevyrazí doraz 3.

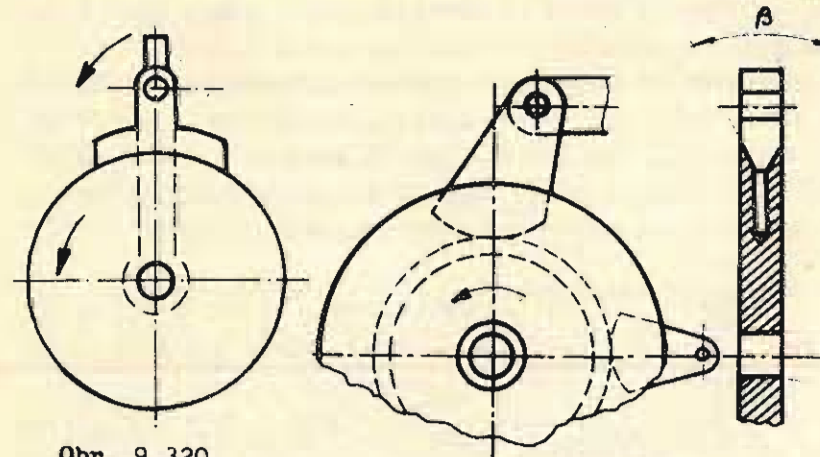


Obr. 9.318

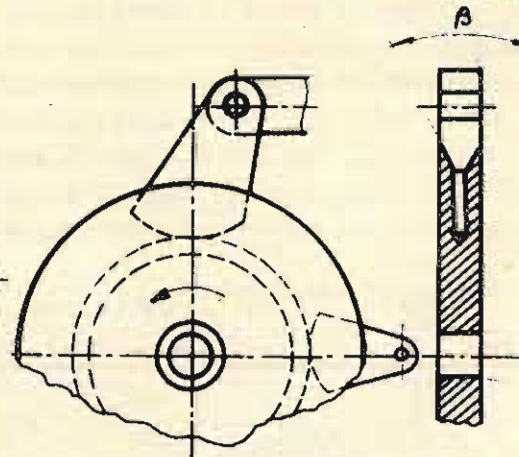


Obr. 9.319

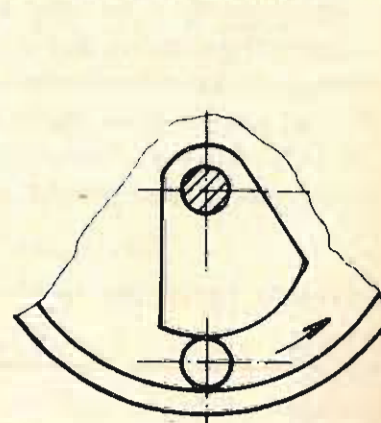
Bezhlukový chod má třecí podávací mechanismus. Nevýhodou tohoto mechanismu je nepřesnost podávání. Princip třecího podávacího mechanismu je patrný z obr. 9.320. Zde místo západky je užito třecího segmentu, otočně uloženého na páce 1; rohatku nahrazuje disk. Třecího segmentu lze užít i jako zádržné západky (obr. 9.321). Pro třecí podávací mechanismy lze použít místo západek kuliček nebo válečků v konstrukčním řešení podobném volnoběžným spojčkám (obr. 9.322). Použití třecích podávacích mechanismů je v přesné mechanice omezeno jen na ty případy, kde se žádá tichý chod a u nichž není kladen požadavek na přesnost podávání.



Obr. 9.320



Obr. 9.321



Obr. 9.322

K podávacím západkovým mechanismům počítáme také drapákový mechanismus, o němž bylo pojednáno v přibližných přímočarých vedeních.

L I T E R A T U R A

- Báša: Konstrukce šnekových převodovek. SNTL, Praha, 1964
- Boháček a kol.: Části a mechanismy strojů III. Skriptum FS VUT Brno, 1982
- Bolek: Části strojů II. Převody a převodová ústrojí. ČSAV, 1963
- Ferenczy: Konstrukce přístrojů přesné mechaniky. SNTL, Praha, 1964
- Hajn: Základy jemné mechaniky a hodinářství. Práce, Praha, 1953
- Hajn: Přehled přesné mechaniky. SNTL, Praha 1969
- Kamarád a kol.: Základní kvalifikační učebnice - přesná mechanika a optika. Práce, Praha, 1974
- Linhart, Förbacher: Optimalizace volby materiálu a zpracování ozubených kol se zřetelem na konstrukční požadavky. Sborník ČVTS, Dům techniky, Praha 1977
- Orlov: Základy konstruování. Alfa, Bratislava, 1979
- Raušal a kol.: Válečkové řetězy a řetězová kola
- Skarbiňski M., Skarbiňski J.: Technologičnost konstrukcie strojov. Alfa, Bratislava 1982
- Svoboda: Směrnice pro racionální dimenzování ozubených kol. Výzkumná zpráva SVŮSS Běchovice č. 80-03029. Praha Běchovice
- Šalamoun: Převody - příručka. ČVUT, Praha, 1973
- Šejvl: Teorie a výpočty ozubených kol. SNTL, Praha, 1957
- Gevondjan, Kiselev: Děti mechanizmů točnoj mechaniki. Oborongiz, Moskva, 1953
- Zablonskij: Osnovy projektirovanijsa mašin. Visšaja škola, Kijev, 1981
- Spravočnik mašinostroitelja. Mašgiz, Moskva 1955
- Spravočnik tehnologa mašinostroitelja. Mašinostrojenije, Moskva, 1980
- Charinskij: Osnovy konstruirovanijsa elementov radioaparatury. Gosenergoizdat, Moskva, 1959
- Šaukstel: Malogabaritnye reduktory s mělkomodulnymi zubčatymi peredačami. Mašinostrojenije, Moskva 1973
- Čurabo: Děti i uzly priborov. Mašgiz, Moskva, 1952
- Dobrogurski: Berechnungen von Präzisionsgeräten. Verlag Technik, Berlin, 1952
- Hildebrand: Einführung in die feinmechanischen Konstruktionen. Verlag Technik, Berlin, 1970
- Hildebrand: Feinmechanische Bauelemente. Verlag Technik, Berlin, 1971
- REISS Kompensations Polarplanimeter 3003. Firemní návod
- Roth: Höhere Mathematik. Teubner, Berlin, 1932
- Strauch: Theorie und Praxis der Planetengetriebe. Krausskopf Verlag, 1970