

PŘÍRUČNÍ UČEBNÍ TEXTY

KURS

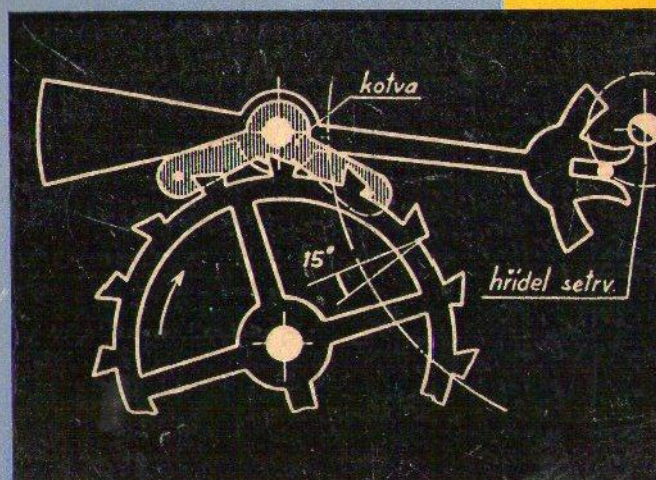
technických znalostí

43

Základy přesné mechaniky

MIROSLAV HAJN

SNTL



Přesná mechanika zasahuje takřka do všech úseků moderního života, je však především nezbytnou a důležitou pomocnicí nejen všeho vědeckého, ale i technického pokroku. Bez přístrojů a zařízení, vyráběných přesnou mechanikou, si nedovedeme představit práci inženýrů, vědců, lékařů, výzkumníků všech vědních oborů, setkáváme se s nimi stejně v našich domácnostech, jako ve výrobních a energetických podnicích, laboratořích, hvězdárnách, nemocnicích, na všech dopravních prostředcích od motocyklů až po raketová letadla.

Svazek Základy přesné mechaniky má seznámit náš pracující dorost i dospělé s podstatnými fakty tohoto významného oboru, který také pronikavě zasahuje do všech odvětví celého strojírenství. Uvádí přehled materiálů používaných v přesné mechanice, hlavní druhy spojů, nejdůležitější mechanismy a zařízení přístrojů, optické a jiné pomůcky. Přitom na příslušných místech upozorňuje na podstatné rozdíly v požadavcích na součásti v přesné mechanice a v strojírenství a na rozdílná hlediska pro jejich posuzování. Má usnadnit počáteční studium přesné mechaniky, k jehož prohloubení budou vydány další speciální svazky této knižnice. Umožní tak našim pracujícím, aby zvyšovali svou kvalifikaci a ještě lépe pomáhali budovat náš socialistický průmysl, ve kterém právě přesná mechanika nemá úlohu nejmenší.

kurs

technických znalostí

Příruční učební texty

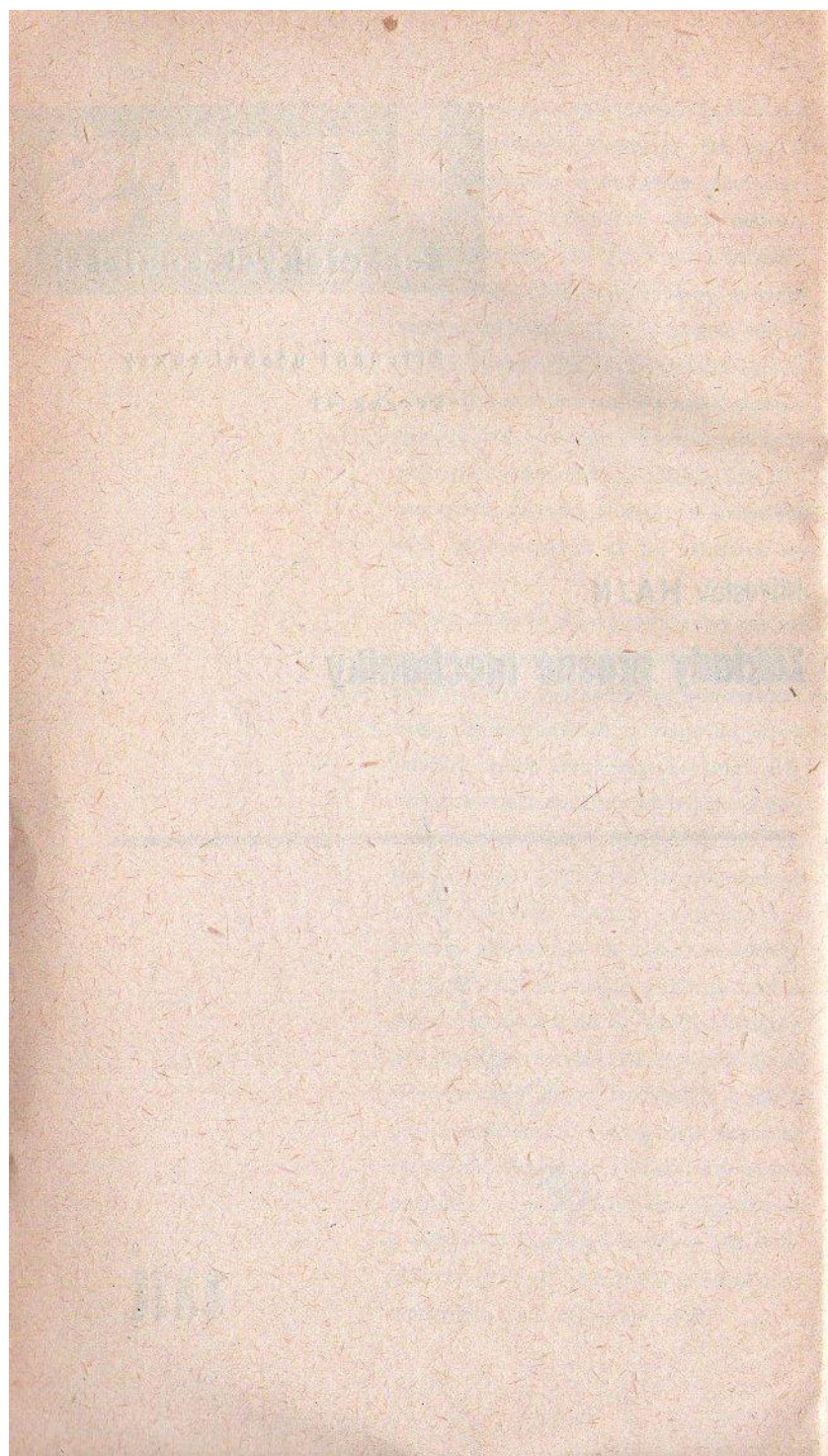
Svazek 43

Miroslav HAJN

Základy přesné mechaniky

M. Jancov

SNTL



Základy přesné mechaniky

Pomůcka k odbornému školení dorostu
i dospělých a úvodní knížka pro praxi

Miroslav Hajn

PRAHA 1961

STÁTNÍ NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY

Tato knížka je stručným úvodem do přesné mechaniky. Seznamuje stručně a přehledně čtenáře, o kterém předpokládá, že ovládá základní znalosti strojnictví a praktické fyziky, s materiály používanými v přesné mechanice, s hlavními druhy spojů, mechanismů, zařízení a pomůcek, které se nejčastěji vyskytují v tomto oboru, a přihlíží k rozdílným požadavkům na konstrukci i způsob práce v přesné mechanice a ve strojírenství.

Je určena k počátečnímu studiu přesné mechaniky pro dorost i dospělé.

Lektoroval RNDr. Alois Mazurek, ČVUT Praha, Inž. Miroslav Podloucký, pracovník Ústavu pro výzkum optiky a jemné mechaniky při n. p. Meopta, Přerov

Redakce strojírenské literatury — hlavní redaktor Ota Kraus

© Prof. dr. inž. Miroslav Hajn, 1961

Obsah

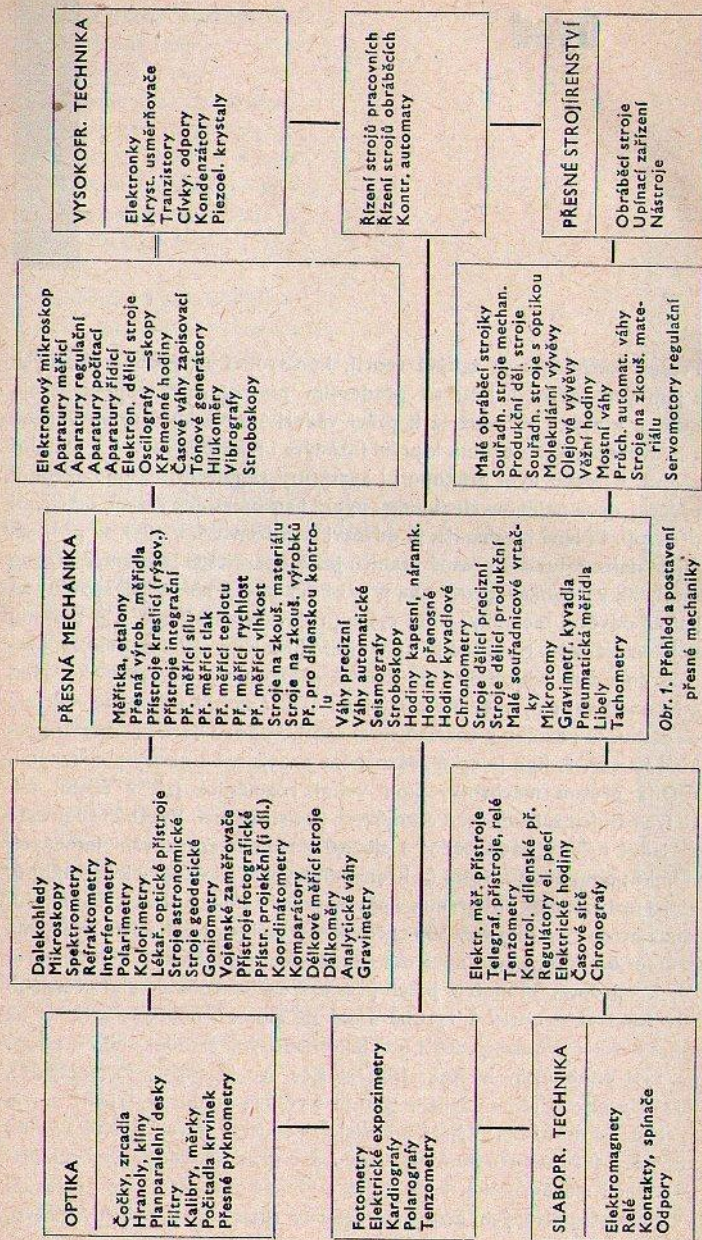
Úvod	7
1. Materiály přesné mechaniky	10
Materiály kovové	12
Materiály nekovové	14
2. Způsoby spojování	17
Nýtování	17
Spojení přehybem a promáčknutím	17
Zalisování (naražení)	19
Spojení zalitím	19
Sváření	19
Pájení	19
Lepení a tmelení	20
Klíny a kolíky	20
Závlačky	20
Šrouby	22
Spojení šrouby	24
Spojení závitové (šroubení)	25
Spojení bajonetové	26
Zařízení svěrací	27
3. Vedení	28
4. Uložení otáčivá	33
Uložení kluzná	33
Uložení valivá	35
Přesná uložení úhloměrných strojů	37
Uložení čípková	38
Uložení hrotová (špičková)	39
Uložení břitové	41
5. Zařízení k přenosu pohybů	43
Hřídele a spojky	43
Páky	44
Vačky	44

Západkové mechanismy	45
Ozubená kola	46
Převody třecí	47
Mechanismy integrační	48
Přenos ohebnými členy	49
6. Zařízení k ovládání pohybů	50
Zarážky a hodinové kroky	50
Regulátory rychlosti	53
Zařízení tlumící	53
7. Pružiny	55
Hodinová péra a vlásky	56
Pružiny měřicí (siloměrné)	56
Pružiny tlakoměrné	59
Torzní závěsy	59
Pružinové klouby	60
Dvojkovy (bimetal)	61
8. Zařízení kompenzační	62
9. Zařízení rektifikační (justážní)	65
10. Zařízení ustavovací a mikrometrická	68
Ustanovky	69
Mikrometrické šrouby	70
11. Optické pomůcky	72
Zrcadla	72
Hranoly	73
Čočky	74
Lidské oko	75
Lupa	75
Dalekohled	76
Kolimátor	77
Mikroskop	79
12. Olovnice a libely	80
13. Dělení	82
Dělicí stroje	83
Odečítací pomůcky	83
14. Zařízení indikační a zapisovací	88
Zvětšování malých pohybů	88
Záznam (registrování, zapisování)	91
Slovníček cizích slov	94

Úvod

Přesná mechanika se zabývá teorií, konstrukcí a výrobou přesných a jemných zařízení. Jsou to především nástroje, přístroje a stroje měřicí, kterých se používá k práci vědecké a výzkumné, ve výrobě a provozech všeho druhu, k práci inženýra i lékaře, a často i v denním životě. K tomu nyní přistupují i aparatury regulační: mnohé výrobní procesy dnes nejenom sledujeme, nýbrž i automaticky řídíme měřicími přístroji. Přesná mechanika je odvětví strojírenství, s nímž se prolíná, takže nelze mluvit o přesné hranici. Ještě neurčitější je hranice přesné mechaniky s optikou, proto oba tyto obory bývají někdy považovány za jediné odvětví techniky; to se často projevuje ve výrobním programu velikých závodů. Konečně je tu neurčitá hranice s elektrotechnikou, hranice dnes tím neurčitější, že mnohé neelektrické (mechanické, chemické aj.) veličiny měříme metodami elektrickými a že často měříme na dálku. O rozsahu a rozmanitosti našeho oboru dává představu přehled na obr. 1, kde je také znázorněna souvislost s obory příbuznými.

Díla přesné mechaniky jsou velmi rozmanité jak v účelu, tak ve fyzikálních základech, v rozměrech i ve složitosti. Vyrábějí se prosté základní měrky rovnoběžné i složité stroje k zpracování leteckých snímků; pohyblivý systém (z křeměninových vláček) elektroskopů, vážící malý zlomek miligramu, a pětímetrový reflektor na Mt. Palomaru, jehož otáčivý systém váží 500 t; čípek setrvačky v hodinkách, který má průměr 0,1 mm, a hodinová osa uvedeného dalekohledu, jejíž severní čep má průměr 14 metrů. Jejich přesnost začíná tolerancemi přesného strojírenství, v optické výrobě dosahuje zlomků mikronu a končí na samé hranici proveditelnosti u dalekohledových zrcadel nebo u strojů na rytí ohybových mřížek. Jsou složité stroje (např. kancelářské), jejichž teorie je jednoduchá, a jsou přístroje jednoduché, jejichž teorie je složitá a nesnadná. Výpočty optických soustav bývají složité a velmi pracné. Zevrubné studium přístrojů často předpokládá značné znalosti fyzikální i matematické. Rozmanitost přesné mechaniky se projevuje i v různosti užívaných materiálů. Jsou to různé kovy a slitiny, dřevo,



Obr. 1. Přehled a postavení přesné mechaniky

skla nejrůznějšího složení, různé látky umělé i přírodní, nerosty, tmely, lepidla, nátěry a mazadla. A je jen přirozené, že obor tak rozmanitý a náročný si vytvořil i svou vlastní svéráznou technologii.

Bez výrobků přesné mechaniky nebyly by možné dnešní experimentální vědy, nebyl by možný technický výzkum ani moderní přesná výroba, ba možno říci, ani dnešní způsob života. Měřit znamená vědět a pokrok vědy by byl často nemožný bez pozorovacích a měřicích přístrojů. Přesná mechanika je proto dnes rozsáhlým, specializovaným a velmi kvalitním odvětvím průmyslu. Máme zde jistou tradici. Vzpomeňme hodináře Koska, rodiny Božků, našeho klasika Friče a Heyrovského polarografu. Na této tradici budujeme dále. Bude třeba mnoha nových pracovníků, a proto vychováváme učně v závodech, přesné mechanice se vyučuje v několika průmyslových školách a přednáší se v celé šíři na Českém vysokém učení technickém v Praze. Začínáme již vydávat i původní odbornou literaturu.

Tento svazček je úvodem do přesné mechaniky; úvodem stručným, který se omezuje jen na věci podstatné a který předpokládá, že čtenář je obeznámen se základy strojnictví, že zná strojové součásti a že má i jisté znalosti praktické fyziky. Tato látka bude postupně probrána šířeji i hlouběji v dalších svazcích.

1 Materiály přesné mechaniky

Velká přesnost výrobků vyžaduje tři předpoklady: Součást musí být dostatečně tuhá, aby se nedeformovala pod tlakem obrábějícího nástroje; materiál musí být jemně obrobitelný; aby se zachovala přesnost, nesmí zpracovaný materiál měnit ani svůj tvar, ani své rozměry. Proto posuzujeme materiály jinak než ve strojírenství. Působící síly jsou zpravidla nepatrné, proto nás nezajímá pevnost. Zato — kromě obrobitelnosti a stálosti — nás zajímá tuhost (modul pružnosti), často tvrdost a mnohdy speciální vlastnosti fyzikální (mechanické, optické, magnetické atd.), pro něž materiál volíme; některé přístroje jsou založeny přímo na určité vlastnosti materiálu.

Obrobitelnost zde neznamená možnost velkých třískových úběrů. Velké přesnosti se často dosahuje velmi pomalým obráběním. Štíhlé a tenké součásti lze obrábět jen zcela jemnou třískou (řádu $10\ \mu$), a řezné rychlosti při malých průměrech obrobků zůstávají malé, i když se vřetenem automatu otáčí rychlostí 12 000 ot/min. Důležité je, aby se materiál dal ubírat v nejtenčích třískách. Jemné obrábění předpokládá dokonale ostré břity, a proto je důležité, jak rychle materiál otupuje nástroje. Proto používáme často nástrojů karbidových; vývin tepla je tu nepatrný, ale ostří déle vydrží (ideální řezný nástroj by byl diamant). Dokonale obrobitelná je např. mosaz, opakem je měď a některé houbavé oceli; málo otupuje mosaz, celuloid nebo plexisklo, opakem jsou tvrdé oceli a bakelit. Tvrdé křehké látky, sklo a nerosty, lze brousit a dokonale leštit až k největším přesnostem.

Nesnadná je otázka *nestálosti materiálu*: součást samovolně mění své rozměry, a jsou-li změny nestejněměrné, mění i svůj tvar. Příčinou může být vnitřní (molekulární) nestálost materiálu (např. u invaru, kalené oceli), častěji bývá příčinou „creep“ (čti „kríp“). Creep (tečení) se projevuje tím, že se součást podává stále působícímu napětí; je znatelný i při normální teplotě a skoro u všech materiálů. Je bezvýznamné, zda napětí je způsobeno namáháním součásti nebo vnitřními pnutími. Vlivem creepu se pnutí uvolňují a součást mění své rozměry.

Proto nemůžeme očekávat stálost u součástí, v nichž zůstala pnutí po jejich vyrobení, u odlitků, u součástí zakalených, svařovaných nebo za studena tvářených; můžeme ji očekávat u kamenů vzniklých před milióny let. I jiné fyzikální vlastnosti se mohou po zhotovení měnit samovolně — jako elektrický odpor, magnetické vlastnosti. Všem těmto nežádoucím a nevypočitatelným změnám se snažíme zabránit nebo je aspoň omezit přirozeným stárnutím (stabilizováním), tj. odležením po delší dobu nebo umělým stárnutím (tepelnými a jinými fyzikálními procesy); výsledek nebývá vždy zaručen. Dokonale stálý není žádný materiál; rozdíly v materiálech jsou jen kvantitativní a jde jen o to, aby změny byly přípustné pro daný případ.

Tabulka

Chyby v mm pro rozdíl teplot 1 °C

		Rozdíl koeficientu roztažnosti $\times 10^6$								
		1	2	3	4	5	6	8	10	12
Délka mm	10	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12
	20	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24
	50	0,05	0,10	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6
	100	0,10	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2

Důležité jsou dále chyby vyvolané změnou teploty. Ohřátím o $\Delta\theta$ se délka L změní o hodnotu $L \cdot \alpha \cdot \Delta\theta$ (součinitelé α jsou v tabulce I). Toto roztahování (dilatace) se nám někdy hodí, většinou nám však vadí; vede k chybám a někdy též ke škodlivým pnutím (jsou-li spojeny součásti s nestejnou roztažností). Pomáháme si účinně termostatem, někdy použitím materiálu s malou roztažností (např. invaru), jindy vhodnou konstrukcí nebo kompenzací. Měřidly se měří správně při teplotě 20 °C a jsou z oceli nebo slitiny stejné roztažnosti. Proto ocelovou součást změříme správně i při jiné teplotě než normální (tj. 20 °C), ne však součást skleněnou; chyba vznikne též, nemá-li měřená součást stejnou teplotu jako měřidlo. O velikosti chyb nás poučí tabulka II. Přesně měřit se proto dá jen v místnosti, kde se udržuje teplota $20 \pm 0,5$ °C, pro nejpřesnější měření $20 \pm 0,1$ °C. Teplota má vliv také na jiné fyzikální vlastnosti. Oteplením se zmenšuje modul pružnosti všech kovů (s výjimkou elinvaru a nivaroxu); nepříjemně se to projevuje u pružinových měřicích přístrojů a v hodinářství. U měřicích přístrojů elektrických působí nesnáze změna vodivosti a magnetické indukce, způsobená změnou teploty. Ve všech případech, kde by tyto vlivy znemožnily žádanou přesnost, pomáháme si vhodnou kompenzací, nebo použijeme materiálů speciálních.

Tabulka II

Přehled konstrukčních materiálů

Materiál	Hus- tota	Modul pruž. kg/mm ²		α $\times 10^6$	Vodiv. (měř = 1)	
		tah	krut		elektr.	tepel.
Ocel (uhlík)	7,9	21 000	8 200	11,5	0,15	0,15
Litina	7,2	až 10 000	až 4 000	8 ÷ 10		0,13
Invar	8,1	14 500		0,9 ÷ 2,5		0,04
Mosaz	8,4	až 10 000	až 4 500	18,5	0,22	0,25
Bronz	8,8	10 000	4 200	17,5		0,3
Pakfong	8,5	11 000	4 500	18	0,045	
Platina	21,4	17 000	7 000	9,1	0,18	0,2
Wolfram	19,3	až 40 000	až 17 000	4,4		0,5
Hliník (slit.)	2,8	7 000	2 700	23,5	0,5	0,5
Sklo (vlákna)	2,5	až 8 000	až 3 000	9	} izolant	0,003
Křemen (vl)	2,2	až 12 000	až 7 000	0,4		0,004
Pertinax	1,4	až 2 000				
Textgumoid	1,4	až 1 500				
Dřevo smrk.	0,5	1 200		3 ÷ 5		
Překlička let.	0,7	1 500		15 ÷ 30		

Konečně míváme nesnáze s jevy *hysterezními*, tj. takovými, které nejsou přesně vratné. Indukce v železe se zpožďuje za silou magnetomotorickou, deformace pružiny se zpožďuje za zatížením. Vznikají tak chyby, které po jisté době zmizí nebo zůstane nějaké *reziduum* (zbytek). Tyto jevy nelze číselně předvídat a jejich příčiny nedovede molekulární fyzika doposud uspokojivě vysvětlit. I tyto nepříjemné jevy se snažíme odstranit nebo zmírnit vhodnými procesy stabilizacími.

Neexistuje materiál ideální nebo univerzální. Pomáháme si vhodnou konstrukcí, nevýhodné vlastnosti materiálu se snažíme kompenzovat (vyvážit) nějakým opačným vlivem a využíváme speciálních vlastností materiálů. Používání velmi specializovaných materiálů je vůbec charakteristické pro dnešní vývoj techniky; nemá-li dnešní konstruktér takové materiály k dispozici, stojí před těžkou a někdy i neřešitelnou úlohou.

Materiály kovové

Původně se přístroje zhotovovaly celé z mosazi (velké součásti astronomických strojů též z červeného kovu) a oceli se používalo jen tam, kde to bylo nevyhnutelné. Dnes používáme skoro všech známých kovů a nejrozmanitějších slitin.

Mosaz s malou přísadou olova, utvrzená válcováním nebo tažením, je podnes materiál často (v hodinářství výhradně) používaný. Je ideálně obrobitelná, málo otupuje břity, dá se výborně spájet měkkou

i tvrdou pájkou, galvanicky pokovovat i chemicky černit. Používá se tyčoviny, „hodinářských“ plechů a přesných trubek; větší součásti se odlévají do písku i do pevných forem. *Niklová mosaz* (pakfong, argentan, nové stříbro), obsahující až 30% Ni, je dražší, hůře obrobitelná, ale chemicky odolnější a vhodná pro předměty, které přicházejí do styku s rukou (rýsovací, planimetry). Červený kov (dělovina) je mosaz s přísadou cínu. Významnější je bronz jako materiál (fosforový bronz) na výrobu kontaktních i jiných pružin a závěsných pásků; ještě lepší je bronz berylový.

Ocel je nepostradatelný materiál na hřídele, osy, pastorky, pružiny a všude tam, kde potřebujeme tuhost a tvrdost. Často se kalí nebo povrchově utvrzuje (cementováním nebo nitrováním). Pro drobnou výrobu (drobné nástroje a součásti) i velkovýrobu na automatech je již dávno běžná stříbrná ocel (stříbrnice) ve tvaru přesných a leštěných tyčí, dobře obrobitelná i kalitelná. Známa automatová ocel se hodí jen pro levnou výrobu (např. budíků, šroubků). Důležitější jsou speciální oceli: magneticky měkké nebo tvrdé, oceli vhodné pro nitrování, oceli nástrojové. Sem patří i *feronikly*, slitiny železa a niklu: *invar* (36% Ni) s malou teplotní roztlačností, vhodný na měřítka a kyvadlové tyče, slitina se 43% Ni, kterou se podstatně zlepšuje kompenzace přesných hodinek; stálá slitina s 55% Ni na přesná měřítka. Dále známe trojsložkové (ternární) slitiny Fe — Ni — Cr: *elinvar* s modulem pružnosti skoro nezávislým na teplotě (vlásky běžných hodinek; dnes se zlepšuje berylem a jinými přísadami) i různé slitiny na průchodky, zatavené do skla (v žárovkách, elektronkách, náhrada původní platiny).

Litiny se používá na větší součásti, zejména na rámy strojů a přesná přímá vedení (má dobré kluzné vlastnosti). Je dobře obrobitelná nožem i škrabákem, dá se přesně lapovat (sama je dobrý materiál na lapovací nástroje). Dnes jsou i litiny různě legované, tvrdší, lépe vzdorující opotřebení. Odlitky mají silná vnitřní pnutí a musí se stabilizovat (přirozeným stárnutím 2 až 3 roky, rychleji delším, popř. opakovaným žiháním).

Lehkých slitin (hliníkových) se používá hlavně na odlitky, které mají být lehké: na optické a jiné přístroje, které se drží v ruce, na vahadla vah. Po stabilizaci mají dostatečně stálé rozměry, na rozdíl od slitin hořčíku a od duralu. Ve velkých sériích se odlévá do kovových forem (triedry, geodetické přístroje). Pro hromadnou výrobu méně náročných součástí se hojně používá *vstříkových slitin* s největším podílem hliníku nebo i zinku (rámy planimetrů, běžné měřicí přístroje).

Z ostatních kovů mají pro nás význam: *Rtuť* jako náplň do teploměrů a tlakoměrů, pro vzduchotěsné uzávěry, kontakty (skleněná „prášátka“), pro rozmanité fyzikální a měřicí přístroje, do výbojek a usměrňovačů. *Niklu* se používá ve stavbě elektronek, na odporové teploměry,

jako povlaků: galvanicky se niklují hodinkové strojky, závaží a některé součásti přístrojů, dnes však často dáváme přednost tvrdšímu a odolnějšímu chromování (pochromováním lze opravit opotřeбенé měrky). *Stříbro* je výborné na jemné kontakty; chemicky na skle vyloučené bylo do nedávna povlakem všech zrcadel v optice; dnes ustupuje hliníku nazářenému na sklo ve vakuu, který je trvanlivější a odráží lépe ultrafialové paprsky. *Zlato* se hodí na jemné kontakty a tam, kde je třeba velké hustoty a chemické stálosti (v přesných hodinkách šroubky na věnci setrvačky); pozlaceny bývají jemné hodinové stroje, jinak dnes dáváme přednost niklování a chromování; 14karátové (58%) zlato je dobrý materiál na pružinky. *Platiny* se používá na kontakty, na malá přesná závaží, na elektrody v elektrolýze a ve tvaru tenkých drátků (2,5 až 20 μ) i pásků na jemné torzní závěsy; má teplotní roztažnost jako obvyklá skla, a proto se jí používalo na zatavené příklady proudů. *Platinových slitin* se používá na prototypy délkové a váhové, pro přesné odporové teploměry a termočlánky. *Wolfram*, kov s nejvyšším bodem tání (asi 3500 °C), je nepostradatelný pro výrobu žárovek, elektronek, rentgenových lamp a vůbec pro vakuovou techniku; jeho karbidy jsou důležité pro obrábění (břitové destičky), wolframový drátek je výborný materiál pružinový. Ve vakuové technice je důležitý též *molybden*. *Beryl*, lehký jako hořík a velmi pevný, je ještě drahý, ale již jeho malá přísada přemění měď v dobrý pružinový materiál (2% berylový bronz) a zlepší vlastnosti elinvaru (*nivarox* a jiné slitiny). *Měď*, výborný vodič elektřiny i tepla, je běžná pro elektrická vedení a vinutí, ale je vhodná také na pouzdra termostátů. *Zinek* se snadno odlévá a obrábí, ale trpí silně creepem; používalo se ho dříve a někdy i dnes pro teplotní kompenzace (má velkou roztažnost, $\alpha = 0,00003$). Ve stavbě přístrojů se podle potřeby setkáváme i s jinými kovy a zejména slitinami, které mají specifické vlastnosti.

Materiály nekovové

Dřevo je snadno zpracovatelné, v poměru k váze velmi pevné, ale štípe se, a protože je hygroskopické, tj. přijímá vlhkost z okolního prostředí, nezachovává příliš stálé rozměry; kromě na pouzdra a skřínky se ho používá na stativy, na rýsovací náčiní, na kyvadlové tyče dobrých hodin. Vhodný materiál je překližka křížem slepená ze tří až sedmi dýh, která se neštípe, má pevnost ve všech směrech zhruba stejnou a je dosti stálá. Dřevo se hodí i pro různé laboratorní improvizace, často i pro dočasné měřicí aparatury (staré sextanty byly ze dřeva!). *Pryže* (guma) z přírodního kaučuku nebo umělé se používá na trubky a těsnění i na pružné uložení přístrojů. Kaučuk vulkanizovaný s velkou přísadou síry a tvrdý (*ebonit*) býval oblíbený izolant, ale není

dost stálý. *Celuloid* se hodí jako nerozbitné sklo (ale časem křehne), bílého *celuloidu* se používá na hrubší stupnice (bubínky planimetrů, měřítka, počítací pravítka).

Plastické hmoty různého složení a vlastností tvoří oblast rozsáhlého průmyslu. Z nich má pro nás význam hlavně *bakelit* (nebo termosety podobných vlastností) zejména jako pojídlo. Práškový bakelit s dřevěnou nebo minerální moučkou a s nějakým pigmentem lze ve vytápěných kovových formách slisovat na nejrůznější součásti pro průmysl i pro potřeby denního života; výlisky jsou přesné a čisté (záleží jedině na formě) a současně lze do nich zalisovat různé kovové vložky (a tak zhotovit např. celý galvanometr pro automatický potenciometr); tak se vyrábějí různé knoflíky, točítka a celá pouzdra měřicích přístrojů. Bakelitem vázané tvrzené desky (též trubky) z vrstev papíru (*pertinax*) nebo plátna (*textgumoid*) nahradily v elektrotechnice ebonit; vyrábíme z nich různé drobné součásti, a protože jsou dosti stálé, hodí se leckdy na rámy pro drobnější přístroje a zejména na laboratorní improvizace; desky se snadno zpracují, ale rychle otupují nástroje. Z termoplastů je zajímavé *plexisklo* (desky, tyče, trubky), které je mimořádně čiré (ohnutou tyčí z *plexiskla* lze přivést světlo tam, kde je ho třeba), lehce se obrábí a neotupuje nože, dá se snadno lepit, za tepla formovat lisováním a foukáním a dokonce i opticky brousit a leštit. Nahrazuje *celuloid* pro zasklení, lze z něho levně vyrábět méně náročnou optiku.

Sklo je podklad pro přesná dělení; z trubek foukač vyrábí součásti různých přístrojů a chemických aparatur. Ještě důležitější jsou homogenní a pečlivě vyráběná skla optická, kterých máme celou řadu s různou lámavostí a různou disperzí (jen pro běžnou optiku je třeba kolem 20 druhů); broušením a leštěním (popř. po předlisování) se ze skla vyrábějí hranoly a čočky. Jsou též skla *speciální*, která propouštějí ultrafialové nebo zadržují infračervené paprsky, skla zbarvená (optické filtry), skla s různou teplotní roztažností; např. *pyrex* má $\alpha = 3 \cdot 10^{-6}$, z něho se odlévají zrcadla hvězdářských reflektorů (největší \varnothing 5 m, váha 15 t). Sklo má zřetelný creep a není zcela spolehlivé (někdy praskne i stará součást bez zřejmé příčiny). *Tavený křemen* (křemenina) má ze všech látek nejmenší teplotní roztažnost a největší stálost, jeho hysterzní projevy jsou mnohem menší než u kteréhokoli kovu. Je dokonalý izolant, měkne teprve v bílém žáru a propouští ultrafialové paprsky (materiál na rtuťové výbojky). Dá se opticky brousit a v kyslíkovodíkovém plameni zpracovat sklářsky (teploměry, chemické nádoby). Dá se snadno vytáhnout v tenká vlákna, která mají obrovskou pevnost (tím větší, čím tenčí je vlákno; až 1000 kg/mm při \varnothing 1 μ). *Křemenné sklo* je podobný materiál, který přísadou kysličníku (např. chrómu) má nižší teplotu měknutí, ale ztrácí ovšem význačné vlastnosti křemeniny.

Z keramických látek, kromě porcelánu i jiných izolantů a keramicky vázaných brusiv, nás zajímají práškované a s vhodnými pojivy slinuté (spékané) látky: wolfram (materiál hustoty 16 na setrvačky letadlových gyroskopů), karbid wolframu (známé břitové destičky) a železo (feritové magnety).

Z nerostů používáme achátů a chalcedonu na ložiska a váhové břity, tvrdých granátů na ložiska, pro optické účely křivce (fluoritu), křišťálu, islandského vápence a kamenné soli. Krystalický křemen (křišťál) je význačně piezoelektrický a ve tvaru tyčinky nebo prstenu je oscilátorem pro přesné měření času (v křemenných hodinách). Z tvrdých hornin (žuly, diabasu) se dnes zhotovují přesné příměrné a rýsovací desky, lepší než litinové. Korund, červený rubín a modrý až čirý safír jsou nejlepším materiálem na ložiska v hodinách, dnes se však vyrábějí většinou uměle; korund (též umělý) je brusivo v technice a optice. Diamant, tj. krystalický uhlík, je nejtvrďší známá látka; jeho tvrdost a obrovská pevnost hran činí z diamantu nepostradatelné brusivo (broušení diamantů, korundů a karbidů), nepřekonatelný řezný nástroj (soustružnické nožíky, diamantové pily, rydla pro dělicí stroje), nástroj k řezání skla a k orovnávání brusných kotoučů, materiál na průvlaky pro nejtenčí dráty, někdy i materiál konstrukční (kuželíky a pyramidy tvrdoměrů, ložisko setrvačky v chronometrech). Jeho vadou je jen vysoká cena, ale lze očekávat, že se bude brzy vyrábět uměle.

Často používáme tmelů a lepidel. K slepování čoček se používá kanadského balzámu (terpentýn z jehličnatých stromů). Šelak, produkt hmyzu, slouží (za tepla) k lepení drobných součástí v hodinářství a v optice, a protože je velmi pevný ($2,5 \text{ kg/mm}^2$), též k nalepování štíhlých a tenkých obrobků při soustružení; jeho lihový roztok je známý jako politura na dřevo a izolační lak. Různých voskových tmelů používáme k dočasnému lepení v optické výrobě a v laboratořích. K lepení dřeva máme truhlářský a kaseinový klič a dnes i syntetická lepidla, jimiž lze lepit skoro všechno (upon).

Laky a nátěry jsou důležité dnes, kdy spolurozhodují o zevnějšku moderního přístroje, zakrytého a hladkého, je-li určen zejména pro tropické podnebí. Máme laky čiré (zaponový lak) i různobarevné, lesklé i matné, laky krystalové; nanášejí se stříkáním a namáčením a často se ještě utvrzují vyšší teplotou. Maziva jsou minerální oleje pro větší stroje a živočišné oleje v hodinářství. Minerální oleje nemají velkou mazivost, rychle se rozlézají do okolí, ale jsou stálé; živočišné mají mazivost výbornou, nerozlézají se, ale jsou chemicky málo stálé; oleje jsou stále ještě problémem hodinářství. Používá se také tuků a silikónových olejů, z tuhých maziv se začíná uplatňovat sirník molybdeničitý.

Některé údaje o nejdůležitějších konstrukčních materiálech jsou uvedeny v tab. II.

2 Způsoby spojování

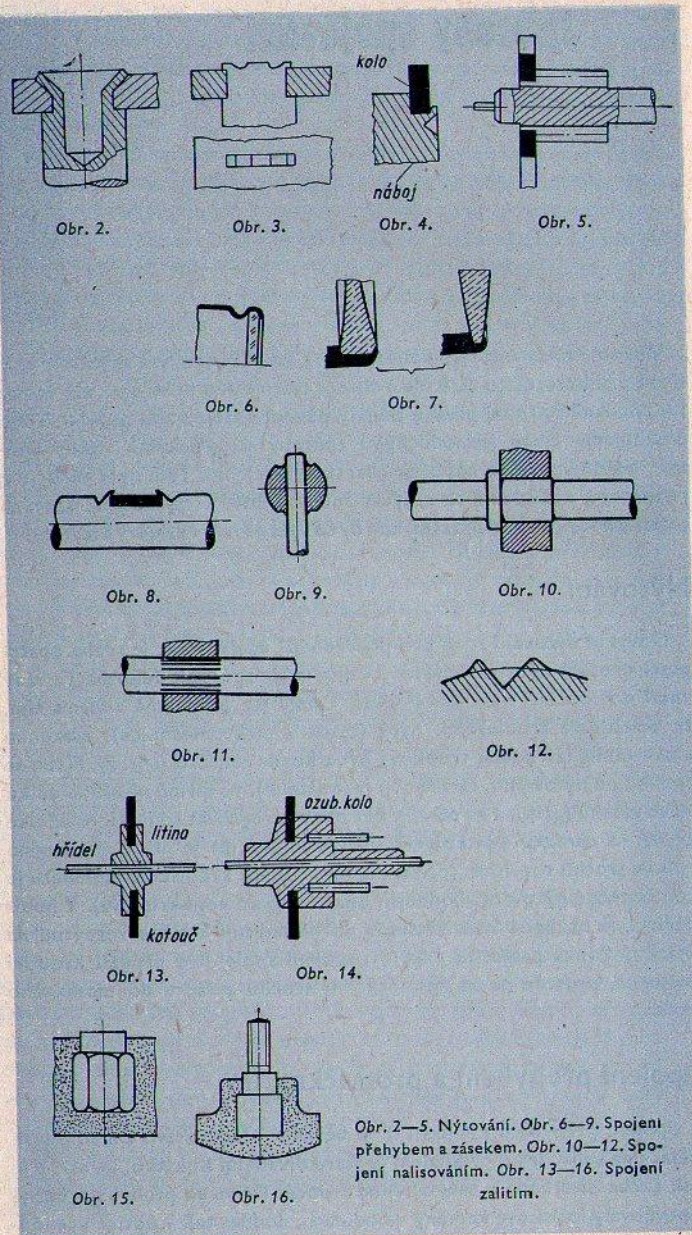
V přesné mechanice jsou působící síly malé, ke kterým zpravidla není třeba přihlížet; často však jde o stálost tvaru celku nebo o to, aby znovu smontované součásti přesně zaujaly původní vzájemnou polohu. Toho dosahujeme často jednoduchými způsoby strojnickými, někdy způsoby odlišnými a pro náš obor charakteristickými. Těm nyní věnujeme pozornost; nebudeme se zabývat způsoby čistě strojnickými, kterých ostatně použijeme všude tam, kde by to vyžadovaly rozměry a namáhání.

Nýtování

Obvyklé nýtování stačí pro podřadnější účely, jinak je třeba opatrnosti, protože nýt rozpěchovaný v díře může způsobit deformaci a vždy vnáší do součástí nežádoucí pnutí. Oboje lze podstatně zmírnit tím, že použijeme trubkových nýtů (často v elektrotechnice); osazením a navrtáním lze udělat trubkový nýt z konce součásti (obr. 2). Nebo se spokojíme nýtováním částečným (parciálním), ve formě několika důlků nebo záseků (příklad na obr. 3). Bez obav lze nýtovat součásti rotačního tvaru; na obrázku 4 je kolečko upevněno tím, že je okraj mosazného náboje trochu rozehnán (pro spolehlivý přenos krouticího momentu je zde částečné nýtování vhodnější, protože spára není kruhová). V hodinářství se ozubená kola většinou mírně nalisují a lehce roznýtují na osazený konec pastorku (obr. 5); spojení spolehlivě přenáší krouticí moment, protože se zbytek ozubení trochu zařízne do mosazného kola.

Spojení přehybem a promáčknutím

Spojení přehybem („falcem“) je běžné v klempířství. Dá se dobře dělat i na soustruhu; příkladem je staré divadelní kukátko, na obr. 6 je tak čočka upevněna v tenkostěnné trubce. Dříve se přehybem běžně upevňovaly ložiskové kameny v hodinách, dodnes tak v optice upevňu-



jeme menší čočky do \varnothing 40 mm (obr. 7); přehnutý okraj musí být zcela tenký a jen lehce přimáčknutý, nemá-li se čočka opticky znehodnotit. V hrubém hodinářství se často upevňuje pouhým zásekem; na obr. 8 je upevnění kotvy v budíku, na obr. 9 spojení páčky zhotovené z pouhého drátu.

Zalisování (naražení)

Je to spojení vhodné pro hromadnou výrobu. Přesah bývá malý (řádu 30 μ), proto vznikají obtíže s tolerancemi, má-li se součást nalisovat na hřídelík z neobrobené tyče; místo drahého způsobu podle obr. 10 se hřídelík opatří rýhováním (obr. 11), jehož okraje vyvstanou (obr. 12) a spojení je bezpečné (něco podobného jsou známé rýhované kolíky ve strojnictví). Zalisováním upevňujeme různé kolíky dorazné, pojistné, poziční aj.

Spojení zalitím

Je vhodné pro lacinou hromadnou výrobu a zejména pro vstřikové lití: na obr. 13 je spojení kotouče s hřídelem (v elektroměru), na obr. 14 je hřídel s pastorkem (do formy bylo vloženo kolečko a šest kousků drátu) pro laciné americké hodinky. Stejně lze kovové součásti zaformovat do bakelitu; pro nespolehlivou soudržnost bakelitu s kovem dáme součásti takový tvar, aby se v bakelitu nemohla pohnout (obr. 15, 16). Do magnetů odlitých ze speciálních neobrobitelných slitin vkládáme vložky se závitem.

Sváření

Rámy větších přístrojů lze obloukovým svářením zhotovovat z plechů a válcovaných profilů; stálost je dobrá, byl-li rám po sváření vyžehán. V elektrotechnice se plechy a drátky běžně spojují bodovým svářením; práce je rychlá a lze bezpečně svářet součásti velmi rozdílných tloušťek. Svářit (po sklářsku „stavit“) se dá sklo s mnoha kovy. O zatavených přívodech proudu byla již zmínka. Lze však svářet i větší kusy; aby sklo neprasklo vlivem rozdílné teplotní roztažnosti, ztenčí se kovová část v místě styku na tloušťku papíru. Se speciálními slitinami můžeme sklo svářet bezpečně a vzduchotěsně; rentgenové lampy a různé elektronky se dnes svářejí z kusů skla a kovu.

Pájení

Pájení tvrdou pájkou (stříbrnou nebo mosaznou) je celkem vzácné (stará rýsovala); někdy tak pájíme odporové slitiny, jichž se nechytá

pájka měkká. Pájení měkké je běžné tam, kde se žádá dobrá vodivost (elektrické spoje, vlásky elektrických měřicích přístrojů). Z trubek a točených kusů (mosaz) se dříve spájely tubusy dalekohledů a mikroskopů (obr. 17, 18). Touto metodou i dnes výhodně zhotovíme unikáty, funkční vzorky a různé laboratorní improvizace. Pevnost pájky není velká (asi 5 kg/mm^2), proto se snažíme, aby spoj byl namáhán ve smyku (obr. 19, 20); styky natřeme pájecí vodou, součásti sesadíme a jejich vzájemnou polohu zajistíme drátem nebo i jinak, celek ohřejeme plamenem a pájka dobře zateče do spár. Nestačí-li pevnost, použijeme šroubení nebo mosazných šroubků a pak všechno prolejeme pájkou. Opatrně lze pájet i kalené ocelové kusy; spoje pájené cínovou pájkou jsou neprodyšné. Dobře se pájí mosaz, bronz, ocel, pakfong, špatně litina, nelze pájet wolfram a pájení hliníku není uspokojivě vyřešeno.

Lepení a tmelení

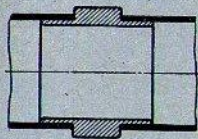
Jsou způsoby v našem oboru běžné. Truhlářským způsobem se klíží skřínky pro přístroje, ale lze tak zhotovit též různé předměty pro laboratoře. (Obr. 21 rohový spoj obvyklý, obr. 22 spoj zvlášť pevný.) Stačí truhlářský klič, na malé věci syndetikon. Sklo v optice slepujeme kanadským balzámem a nejrůznější látky se slepují moderními lepidly syntetickými. O šelaku jsme se již zmínili; na obr. 23 je kotva hodinek se zalepeným kamenem (polohu kamene lze poopravit horkou pinzetou). Na obrázku 24 je kůže nalepená na kov (fotografický aparát). Velmi pevný tmel tající teprve při 450°C je chlorid stříbrný; k dočasnému lepení jsou tmely z vosku, kalafuny, terpentýnu, smůly. Z tmelů studených (nevratných) se sádra hodí k zatmelení libel. Ve vakuové technice se používá speciálních tmelů, jejichž páry mají nízké napětí.

Klíny a kolíky

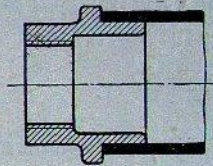
S klíny strojnickými se setkáváme vzácně, místo nich se často používá kuželových kolíků, hlavně v hodinářství. Rozpěrné sloupky a jiné součásti se místo šroubku mohou upevnit příčným kolíkem podle obr. 25. Vlasek v hodinách je obvykle zaklínován kolíkem podle obr. 26. Náboje koleček a páček se na hřídel často upevní příčným kolíkem (obr. 27), který nebývá vždy kuželový. Pro větší součásti se někdy hodí kolíky rýhované.

Závlačky

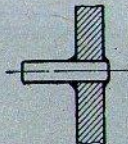
Se strojnickou závlačkou se setkáváme zřídka, častěji se závlačkou zhotovenou vsunutím a ohnutím měkkého ocelového drátu (obr. 28)



Obr. 17.



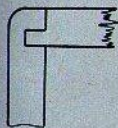
Obr. 18.



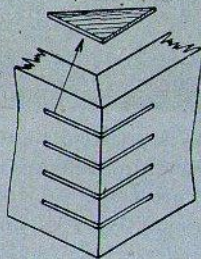
Obr. 19.



Obr. 20.



Obr. 21.



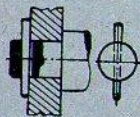
Obr. 22.



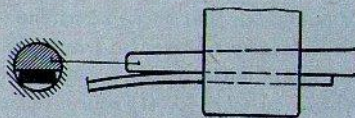
Obr. 23.



Obr. 24.



Obr. 25.



Obr. 26.



Obr. 27.

Obr. 17—20. Spájení. Obr. 21—24. Lepení a tmelení.
Obr. 25—27. Kolíky.

nebo pružným kroužkem ze strunového drátu, který zaskočí do drážky na hřídelíku (obr. 29); časté jsou též pružící zástrčky vystřižené z ocelového plechu (obr. 30) a zástrčky zasunuté a držené šroubkem (obr. 31).

Šrouby

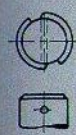
Dnes používáme výhradně normovaného metrického závitu, a to počínaje průměrem 1 mm. Pro ještě menší šroubky, důležité zejména v hodinářství, je švýcarská norma s vrcholovou vůlí a úhlem 50° (tab. III). Malé šrouby nedrží v hliníku dobře (závit se snadno „strhne“),

Tabulka III

Průměr ⊕ mm	Stoupání mm	Průměr ⊕ mm	Stoupání mm
0,3	0,075	(0,55)	0,125
0,35	0,075	0,6	0,150
0,4	0,100	0,7	0,175
0,45	0,100	0,8	0,200
0,50	0,125	0,9	0,225

proto některé továrny fotografických přístrojů používají závitů mnohem hrubších. Převážně používáme šroubků zavrtaných; hloubka zavrtání je pro ocel 0,5 d + 0,5, pro mosaz 0,6 d + 0,5, pro litinu 1,5 d + 1, pro izolanty 2 d + 2 (v mm). Tvary šroubů jsou rozmanité; velké šrouby se řídí zásadami strojnictví. Malé šrouby se utahují obvykle šroubovákem a mají nejčastěji hlavu válcovou podle obr. 32, 33, nebo — jsou-li zápustné — hlavu kuželovou podle obr. 34, 35. Nepřístupné šrouby budou mít hlavu s dírkou podle obr. 36 a utahují se kolíkem. V hodinkách jsou běžné zapuštěné šroubky podle obr. 37 a 38. Často se setkáváme s osazeným šroubkem podle obr. 39, kolem jehož dířku se součást může otáčet. Šrouby utahované rukou mají velkou hlavu rýhovanou (obr. 40, 41) nebo křídlatou (např. obr. 42). Materiál je ocel a mosaz; ocelové šroubky v hodinářství se kalí a leští.

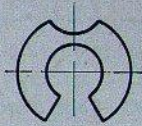
Matice mohou být obvykle šestihranné, pro menší průměry se častěji používá tvarů patrných z obr. 43 až 47, které vyžadují speciální klíče. Pro utahování rukou používáme matic rýhovaných (obr. 48, 49) nebo křídlatých se dvěma až čtyřmi křídly. Často se používá prstenových matic větších průměrů, s jemným závitem a obvykle se dvěma zářezy pro klíč (obr. 50). Matice jsou mosazné, hliníkové i ocelové. Šrouby je málokdy třeba zajišťovat, malé šrouby se zajišťují příp. pouhým zalakováním.



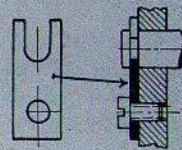
Obr. 28.



Obr. 29.



Obr. 30.



Obr. 31.



Obr. 32.



Obr. 33.



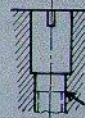
Obr. 34.



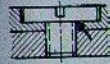
Obr. 35.



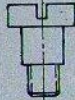
Obr. 36.



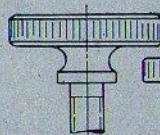
Obr. 37.



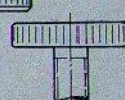
Obr. 38.



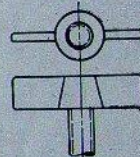
Obr. 39.



Obr. 40.



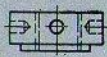
Obr. 41.



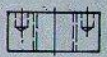
Obr. 42.



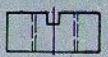
Obr. 43.



Obr. 44.



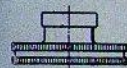
Obr. 45.



Obr. 46.



Obr. 47.



Obr. 48.



Obr. 49.

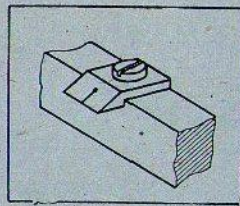


Obr. 50.

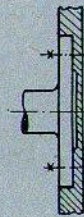
Obr. 28—42. Šrouby. Obr. 43—50. Matice.

Spojení šrouby

je nejčastější, a to většinou šrouby zavrtanými a v poměru k součástem menších průměrů, než je obvyklé ve strojnictví (příčina: nepřetržité namáhání). Často záleží na tom, aby vzájemná poloha součástí byla přesně dodržena. Pak nestačí pouhé sešroubování, vzájemnou polohu dílů je třeba určit jinak. Jedna možnost je zapuštění, jako např. na obr. 51, nebo spojení přírubové (obr. 52, 53). Druhou možností jsou poziční kolíky, zalísované do jedné a suvně zalícované do druhé části; kolíky určují polohu, šrouby jen drží součásti pohromadě. Kolíky jsou mosazné nebo ocelové, v sériové přesné výrobě válcové, jinak lépe



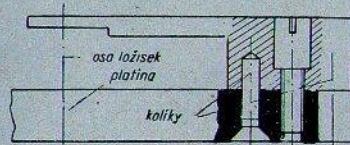
Obr. 51.



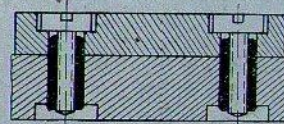
Obr. 52.



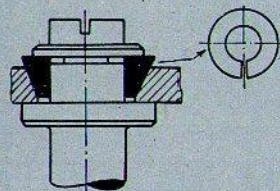
Obr. 53.



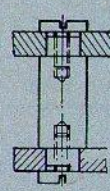
Obr. 54.



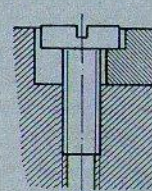
Obr. 55.



Obr. 56.

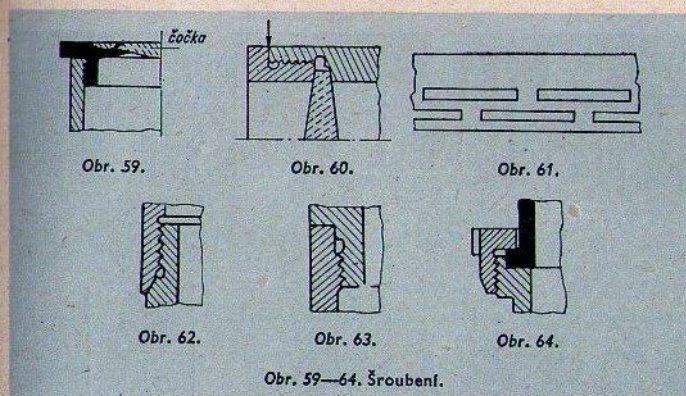


Obr. 57.



Obr. 58.

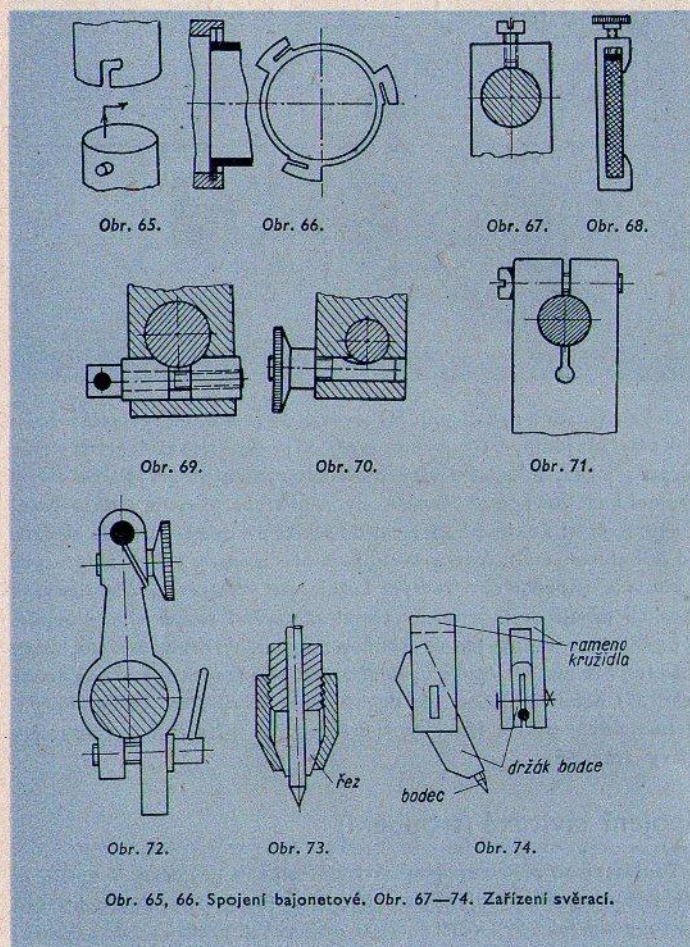
Obr. 51—53. Spojení šrouby. Obr. 54—55. Posiční kolíky. Obr. 56—58. Spojení šrouby.



kuželové (snadno se zalícují). Na obrázku 54 je můstek setrvačky hodiněk přidržen jediným šroubkem, na obr. 55 je v kolících závit pro šroubky (úspora místa, zalisování však musí být spolehlivé). Výborně středí spojení kuželové; působí-li malé síly, není třeba obvyklé kuželovitosti 1 : 10, stačí 1 : 5 nebo 1 : 3, a nejsou potíže při demontáži. Na obrázku 56 je bubínek mikrometru šroubkem přitlačen na nákrůžek vřetene a bez vůle ustředěn rozříznutým kuželovým prstencem. V hodinových strojích bývají desky spojeny třemi až čtyřmi rozpěrnými sloupky. V budíku jsou sloupky jedním koncem zanýtovány, druhý osazený konec má závit pro matici; lépe je upevnit zavrtaným šroubem buď oba konce (obr. 57), nebo jen jeden, ale druhý upevnit kolíčkem podle obr. 25. V hodinkách jsou i šroubky, které součást přidrží jen okrajem hlavy (obr. 58).

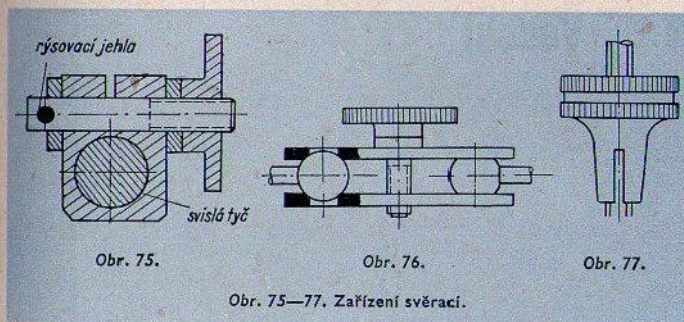
Spojení závitové (šroubení)

Součásti jsou přímo spojeny závitem velkého průměru. V optice se tak běžně upevňují objímky s čočkami ve fotografických objektivách a v tubusech (obr. 59). Větší čočky se neupevňují přehybem do objímek, ale přidrží je v tubusech závitové kroužky. Nevadí-li malá vůle čočky, může kroužek dosedat na tubus (obr. 60). Jinak necháme kroužek tlačit na čočku, a tu je nebezpečí, že tlak bude příliš velký a nestejnoměrný; proto dáme okraji kroužku jistou pružnost výřezy (obr. 61), nebo podložíme zvlněný drátek či pásek a kroužek se dotáhne jako na obr. 60. V optice obvykle stačí středění pouhým závitem; je dobře vždy předpokládat, že závit je nepřesný, a jsou-li požadavky větší, svěříme středění zvláštním středícím ploškám, jak vidíme na obr. 62 a 63. Má-li být součást upevněna v určité poloze, použije se přesuvné matice (obr. 64).



Spojení bajonetové

je vhodné tam, kde se žádá snadná vyměnitelnost; princip je patrný z obr. 65 (žárovky vozidel). Lepší konstrukce (fotografický objektiv) je na obr. 66; tři ozuby jsou naříznuté a odehnuté, aby pružily, spoj se neviklá. Pro velké síly lze použít závitu vybraného na třech místech v rozsahu 60%; vsunutím a pootočením se součást upevní. Můžeme použít také závěrného členu, který se otáčí v jemném závitu a má tři zářezy pro ozuby vsunuté součásti.



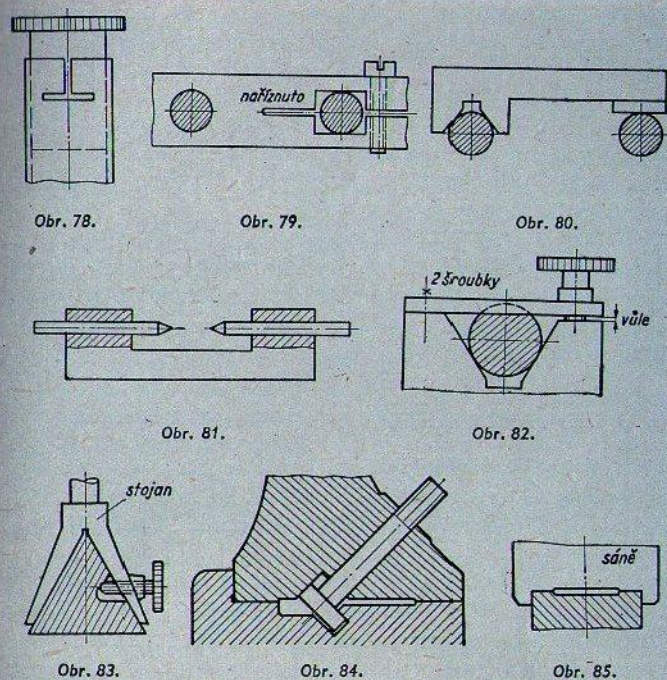
Zařízení svěrací

je upevnění pouhým třením a vhodné tam, kde potřebujeme vyměnitelnost nebo možnost nastavit v jistých mezích polohu součástí (příklady ze strojnictví: koník soustruhu, veškeré upínání při obrábění). K tomu máme nejrůznější zařízení svěrací, upínací a brzdicí. Potřebná síla se vyvodí nejčastěji šroubem, často výstředníkem, někdy klínem a pro lehčí upnutí stačí někdy jen síla pružiny. Zde uvedeme jen několik příkladů. Často stačí šroub, který na sevřenou část tlačí přímo, lépe však přes měkkou vložku (obr. 67) nebo nějakou podložku (obr. 68, posuvné měřítko). Na obrázku 69 je sevření dvěma klíny ovládanými šroubem (pinola koníku na soustruhu); pro malé rozměry stačí způsob podle obr. 70. Často blokujeme pohyb tím, že šroubem sevřeme rozříznutou součást jako na obr. 71 nebo obr. 72 (koník hodinářského soustruhu). Na obrázku 73 je držák jehly křížem proříznutý a sevřený přesuvnou maticí; to je princip kleštin, známých ze soustruhů a z revolverů. Jediným šroubem lze blokovat i několik pohybů; na obr. 74 je upevnění bodce v kružidle, na obr. 75 jehly v rýsovacím nádrhu, na obr. 76 blokování dvojitého kulového kloubu (držák lupy nebo sklářského kahanu). Časté je napružení nějaké součásti, která je přihnuta, popř. též proříznuta, aby na druhou součást doléhala určitým tlakem a se třením; na obr. 77 je tak zajištěna vyvažovací matice jemných vah proti samovolnému pootočení, na obr. 78 je napružením držen okulár.

3 Vedení

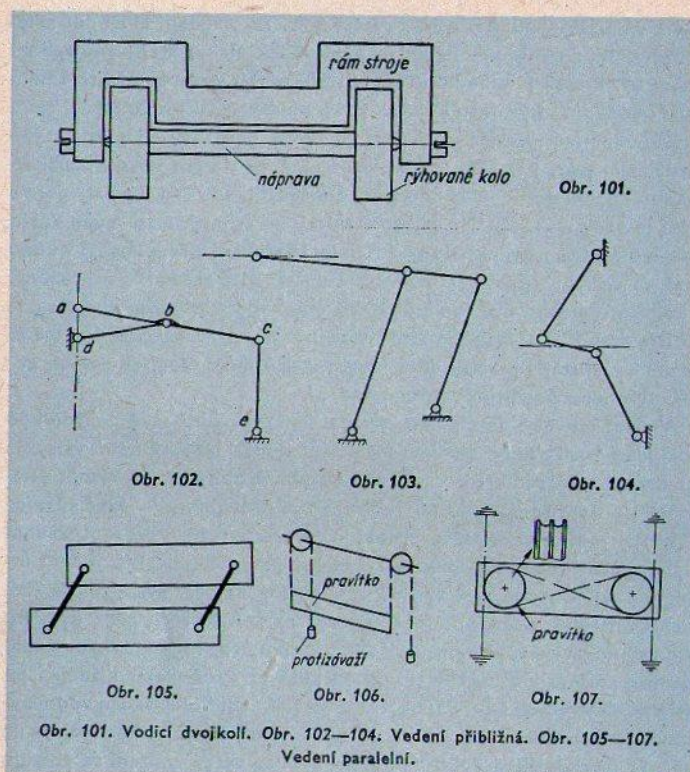
Přímá vedení (přímovody) mají vést sáně (klouzátko) v přímce. Konstrukce bývá různá, působící síly jsou sice malé, ale často se vyžaduje velká přesnost, jindy nejmenší tření, někdy oboje. Funkčně rozeznáváme vedení pracující stále, vedení pracovní (jako vedení suportu na soustruhu) a vedení stavěcí, na nichž vedenou část ustavujeme v potřebné poloze (vedení koníka na soustruhu). Stavěcí vedení může být např. z mosazi, pracovní vedení jsou zpravidla z litiny, která má dobré kluzné vlastnosti a dá se přesně obrobit. Dále lze mluvit o vedeních otevřených, na něž musí být sáně přitlačovány (zpravidla vlastní vahou), a o vedeních zavřených, schopných přejímat síly a momenty jakéhokoliv směru. Vodicí plochy mohou mít v zásadě libovolný tvar, jen je třeba, aby vytvořily útvar prizmatický, v praxi se vždy omezujeme na plochy válcové a rovinné, poněvadž se dají vyrobit s potřebnou přesností. Přesné válcové plochy se brousí a popř. přelapují, plochy rovinné se hobluje nebo frézují, pak se přebrousí nebo lépe zaškrabou, pro největší přesnost se pak ještě lapují nástrojem přibližně stejné délky.

Rotační útvary, jako okulár na obr. 78, lze vést v pouhé trubce; možnost otáčení je tu vítána, protože šroubovitými pohyby lze polohu okuláru snadno nastavit; dnes častěji vedeme okuláry nebo fotografické objektivы několikachodým závitem. Otáčivý pohyb můžeme zamezit např. pérem, mnohem lépe (bez viklání) delším ramenem, jehož konec je veden v drážce. Sáně lze vést také dvěma rovnoběžnými tyčemi; má-li být vedení těsné, vadí malá nevyhnutelná různoběžnost tyčí, proto si pomůžeme způsobem znázorněným na obr. 79 nebo na obr. 80, kde sáně spočívají na levé tyči dvěma krátkými žlábků, na pravé tyči krátkou rovinnou ploškou. Není snadné přesně vyvrtat díry pro upínací jehly (na obr. 81); lépe je uložit jehly do žlábků (které lze průběžně obrobit) a přitlačit je pružícími destičkami (obr. 82). Čtyřhrannou tyčku je obtížné těsně zalícovat do díry, ale lze ji použít, je-li v otvoru fixována tlakovým šroubem (tyčka planimetru).



78—85. Přímá vedení kluzná.

Z rovinných vedení je nejjednodušší vedení dvouploché, které ve tvaru tříhranné tyčky bylo oblíbené u malých soustruhů (dá se snadno obrobit); dodnes tak děláme optickou lavici, po níž se posouvají stojánky nesoucí čočky, filtry ap. (obr. 83) a vedení v měřicích strojích (obr. 84; utažením šroubu se sáně přitlačí na obě plochy). Bez vůle nelze zaškrábat vedení znázorněné na obr. 85, ale vedení na obr. 86 (běžné vedení pro koníky malých soustružků), kde lze vůli vymezit přiškrobáním ploch označených ∇ . Jako poziční i pracovní je časté vedení stříškové (obr. 87 a 88), které se nevíklá, i když je opotřebeno. Pro obráběcí stroje až do nejmenších rozměrů je nejběžnější zavřené rybinové vedení vyobrazené na obr. 89 nebo 90 (při stejné celkové šířce odolnější proti příčným momentům). Tato vedení jsou utěsněna lištou, na niž tlačí stavěcí šrouby. Není správné tvrzení, že touto lištou lze vyrovnat opotřebení; vedení se opotřebovuje nerovnoměrně a jedinou pomocí je plochy znova zaškrabat. Na mikroskopech je zpravidla vedení znázorněné na obr. 91 s přišroubovanou vodící lištou; vůli lze



válečků, na jedné straně s osami střídavě kříženými (válečky mají stejný průměr a délku) a na druhé s osami vodorovnými (obr. 98, stůl souřadnicové vrtačky). Pravítko nebo tyč kruhového průřezu lze vést i kolečky pevně uloženými (obr. 99 a 100). Na tření závisí dvojkolí, pojíždějící po výkresu (obr. 101); je to časté a dobře vyhovující vedení integrátorů. Stačí-li vedení přibližně přímkové, jsou výhodné kloubové systémy, jejichž ukázky jsou na obr. 102 až 104.

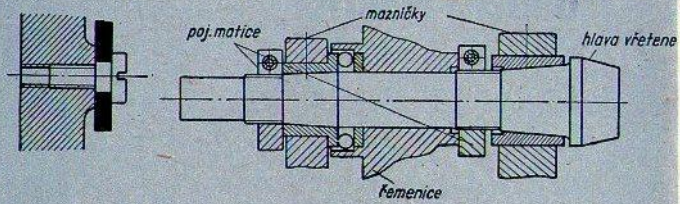
Někdy jde jen o to, aby vedená část vykonala pohyb posuvný (translační). Pro malý pohyb vystačíme s kloubovým rovnoběžníkem (obr. 105); dvěma spojenými rovnoběžníky jsou vedena pravítka kreslicích přístrojů („lizisek“). Příložník lze rovnoběžně vést dvěma řetězy vedenými přes ozubená kola (obr. 106) nebo lanovým vedením (obr. 107). Další možnosti paralelního vedení jsou dva pastorky na společném hřídeli zabírající s ozubenými tyčemi, dva rovnoběžně spřažené šrouby (jako na hoblovce), dvě táhla a dvě páky spojené hřídelem.

4 Uložení otáčivá

Uložení kluzná

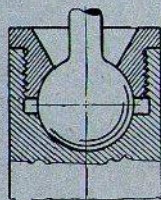
Skoro v každém přístroji najdeme nějaké otáčivé uložení. Někdy jsou nároky menší, jindy jde o vysokou přesnost nebo o minimální tření. Málokdy je třeba stálého běhu zatíženého ložiska jako ve strojnictví, zpravidla jde jen o pohyby malé, pomalé a občasné. Proto i otázka mazání je jiná; často se setkáváme s třením polosuchým a jsme odkázáni na „olejovitost“ maziva. Nepříznivé jsou poměry nejdrobnějších uložení jako v hodinkách: množství oleje je nepatrné, zato styčná plocha se vzduchem je poměrně veliká, a proto olej rychle oxyduje (velké hodinky potřebují vyčistit a namazat každé čtyři roky, náramkové každé dva roky).

Nenáročná uložení řešíme nejjednoduššími způsoby strojníky: čep necháme běžet v pouhé díře, nejvýše v zasazeném pouzdru, zkomplikovat to může jedině ohled na demontáž; malé páčky nebo kolečka se často otáčejí na pouhém osazeném šroubku (obr. 108). Přesná uložení v malých obráběcích strojích mívají čepy kuželové, jak ukazuje příklad soustružku na obr. 109; radiální vůle zde závisí na zalisování pravého pouzdra a na poloze obou matic. Jsou však uložení, kde zadní kuželový čep je na vřetení posuvný a používá se také pouzder rozřezaných a vně kuželových, známých z obráběcích strojů. Těmito způsoby lze nastavit optimální vůli, ale nelze napravit opotřebení. Díra je vždy vyběhána oválně a do strany, proto kuželový čep již nikdy nebude sedět na celé ploše; dělené pouzdro dosedne jen na třech místech a v obou případech zůstane čep vyšínut s osy. Pro velmi přesná uložení se někdy hodí částečné (parciální) ložisko, jako byla stará mlynářská kuželice (tři úzké pánve, na něž působí stavěcí klíny). Je-li třeba otáčivého pohybu kolem dvou os, použijeme známého kloubu křížového (Cardanova); otáčivý pohyb kolem tří os umožňuje kulový kloub (obr. 76 a 110). Nevadí-li jisté tření, lze použít čepů sedících v pravoúhlém žlábků a přitlačovaných pružinou; uložení je přesné a bez vůle (obr. 111, uložení aretační páky ve váhách). Někdy je tření třeba, a tu se použije kloubu staženého šroubem nebo napruženého třmenu (klouby v rýso-

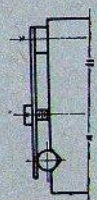


Obr. 108.

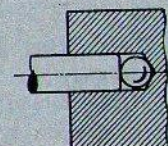
Obr. 109.



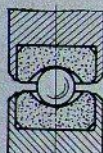
Obr. 110.



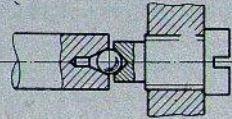
Obr. 111.



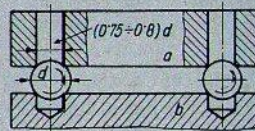
Obr. 112.



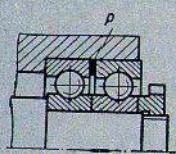
Obr. 113.



Obr. 114.

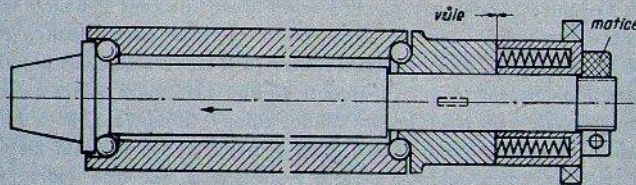


Obr. 115.

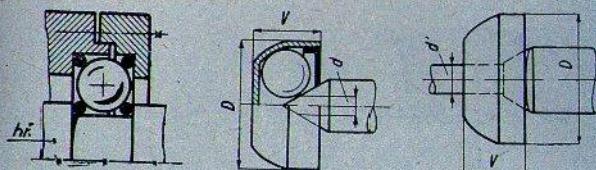


Obr. 116.

Obr. 108. Vřeteno soustružku. Obr. 109—112. Otáčivá uložení kluzná. Obr. 113—115. Otáčivá uložení kluzná. Obr. 116—117. Otáčivá uložení valivá.



Obr. 117.



Obr. 118.

Obr. 119.

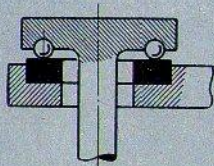
Obr. 120.

Obr. 118.—120. Otáčivá uložení valivá.

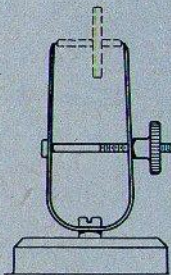
vadlech). Někdy je výhodné použít ložiskových kuliček; na obr. 112 je kuličkou opřen hřídelík, na obr. 113 je vidět ložisko elektroměru (kamenny!); uložení na obr. 114 nahrazuje robustní hrot (a je necitlivé k montážní nepřesnosti), na obr. 115 se otočného uložení dosáhlo dvěma kuličkami (snadné zhotovení, ale omezená pohyblivost).

Uložení valivá

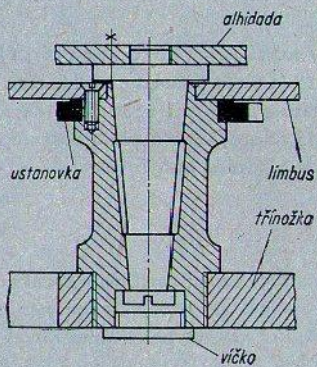
Kuličkových ložisek používáme dnes často; mají malé tření a jsou nenáročná na mazání. Koeficient tření je 0,001 až 0,002, tření není tedy větší než u robustnějších břitů. Pokud možno používáme obvyklých normalizovaných ložisek, pro něž v katalogu továrny najdeme údaje pro lícování a přípustné zatížení (ale pro ložisko, které se takřka neotáčí, počítáme jen s třetinou udané největší nosnosti!). Nepříjemné jsou pružné deformace ve styku kuliček s oběžnými kroužky; zmenšíme je tím, že ložiskům udělíme jisté předpětí (na obr. 116 způsobí předpětí tenká podložka p). Pro náročnější požadavky dodávají světové továrny za vyšší cenu vybraná ložiska větší přesnosti. Nestačí-li ani ta, lze použít ložisek integrálních, kde dráhy pro kuličky jsou přímo na hřídeli v ložiskovém tělese; na obr. 117 je vřetenou souřadnicové vrtačky, jehož ložiska jsou předpjata pružinami. Kuličková ložiska vyjdou nehorázně velká, je-li třeba větší díry, např. pro průchod světla. I zde se hodí ložiska integrální a nevádí příliš, běhají-li kuličky na mosazi nebo dokonce na hliníku; ostatně ložisko bude docela dobré, jestliže kuličky budou běhat po čtyřech kroužcích svinutých z ocelové struny (obr. 118). Pro přístroje se dnes vyrábějí miniaturní kuličková ložiska počínajíc vnějším průměrem 1 mm. Na obrázku 119 je takové ložisko pro hřídel ukončený hroty, kde tři až čtyři kuličky obíhají po kulové ploše (proto nevádí nepřesná montáž), na obr. 120 je podobné ložisko, kde hřídel prochází, aby nesl ručku. Vyrábějí se i jiné tvary, také ložiska z rezavzdorné oceli, z berylového bronzu (nemagnetická) a dnes již i ze safíru.



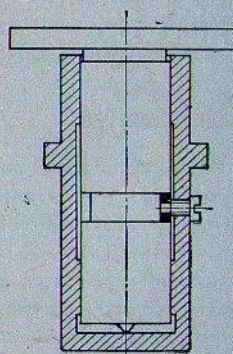
Obr. 121.



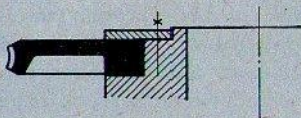
Obr. 122.



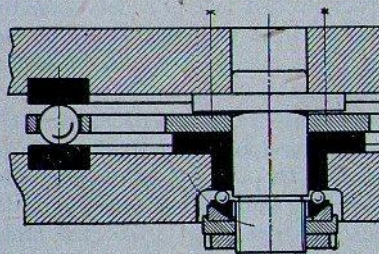
Obr. 123.



Obr. 124.



Obr. 125.



Obr. 126.

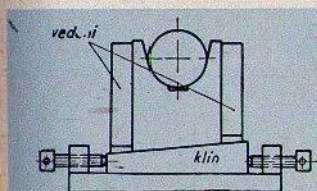
Obr. 121—122. Otáčivá uložení valivá. Obr. 123, 124. Uložení úhloměr. strojů. Obr. 125—126. Uložení úhloměr. strojů.

Na obrázku 121 je otočný závěs kyvadla vytvořen dvěma kuličkami. K valivým uložením patří také trn k vyvažování strojních součástí, spočívající na vodorovných pravítkách nebo — po starém způsobu — v úžlabí dvou kotoučů částečně se překrývajících; podobně vyvažuje hodinář setrvačku hodinek (obr. 122).

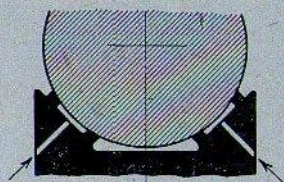
Přesná uložení úhloměrných strojů

Jsou např. uložení teodolitů, hvězdářských dalekohledů, spektrometrů a jiných optických strojů a strojů dělicích. Zde je důležitá otázka vůle a maziva. Na soustruhu, jehož vřeteno má vůli $45\ \mu$, lze dobře vysoustružit čípek průměru $100\ \mu$, protože osa vřetena je pevně určena vrstvou maziva, které by se v kapilární mezeře mohlo rychle přemísťovat jen účinkem obrovských tlakových rozdílů; zmenšením vůle bychom nezměnili přesnost, nýbrž jen viskozní odpor maziva, ložiska by hřála. U čepů, které se otáčejí jen pomalu a občas, můžeme tuto úlohu maziva usnadnit tím, že volíme vůli nepatrnou (třeba jen $5\ \mu$), a aby nevznikaly místní styky kovu s kovem, obrobíme a vyleštíme čepy co nejpřesněji.

Uložení se svislou osou (a těch je nejvíc) jsou zpravidla letmá, tj. otáčivá část je nad ložiskovým systémem. Dělala se dříve jen kuželová, neboť se dala vyrobít na primitivním soustruhu a pak ještě podstatně zlepšit zabroušením. Příkladem je uložení alhidady v teodolitu na obr. 123; strmý kužel se ovšem snadno „zakousne“, proto se odlehčoval předpjatou pružinou, lépe však opřením o čelo ložiska a nejlépe opěrným šroubem dole, kterým lze přesně nastavit vůli. Kuželových uložení dnes používáme jen pro nejnáročnější přístroje, jinak dáváme přednost čepům válcovým (obr. 124). Čep i ložisko jsou z oceli, jsou nitrovány a pečlivě lapovány; váhu nese dole tupý hrot nebo kulička nebo nahoře věnec drobných kuliček. Někdy vadí velká konstrukční výška; v tom případě použijeme uložení plochého. Kluzné uložení (obr. 125) by šlo ztuha, proto použijeme věnců vybraných kuliček běžajících mezi přes-



Obr. 127.



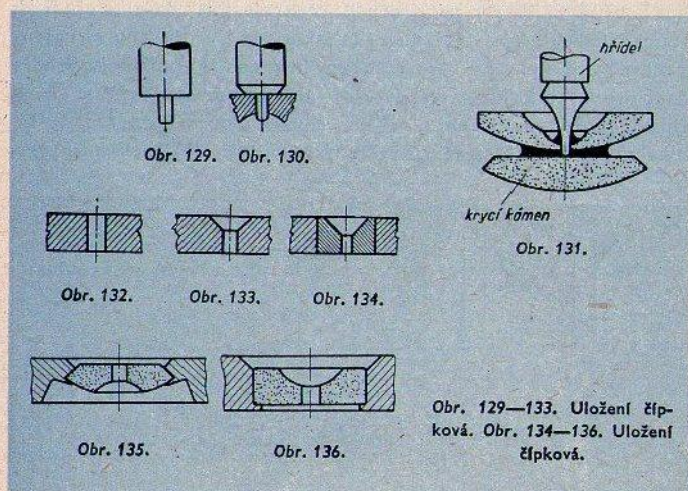
Obr. 128.

Obr. 127, 128. Uložení úhloměrných strojů.

nými rovinnými plochami a středění svěříme krátkému čepu (obr. 126) nebo předpjatému valivému ložisku. Je-li osa vodorovná, bývá otáčivá část (obvykle dalekohled) mezi ložisky; je-li vně ložisek, vyváží se na druhé straně protizávažím. Ložiska jsou často parciální, někdy jen pouhé žlábký, jak ukazují ložiska teodolitů (viz obr. 232 a 233) a jemně stavitelné ložisko pasážního stroje na obr. 127. Je-li váha veliká, jak bývá u astronomických přístrojů, zmenšujeme tření (a opotřebení) odtížením. Mohou to být zvláštní valivá ložiska zvedaná závažím a pákou, u reflektorů \varnothing 1,5 a 2,5 m na Mt. Wilson jsou to bubny plovoucí ve rtuti, kolos na Mt. Palomaru je nesen proudícím tlakovým olejem dodávaným v nadbytečném množství čerpadly (obr. 128; tření tu prakticky není).

Uložení čípková

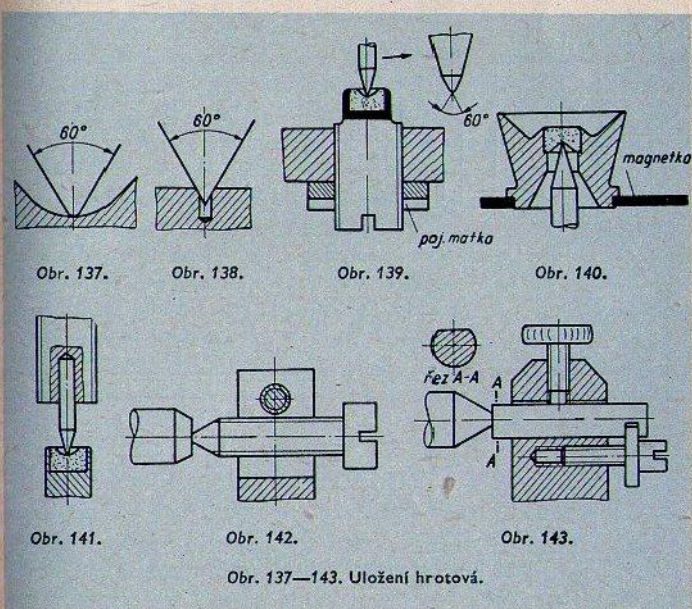
jsou typická pro hodinářství, ale běžná i v měřicích přístrojích. Čípky vzniknou osazením hřídele podle obr. 129, lépe však podle obr. 130; čípky pro setrvačky se dělají podle obr. 131; čípky bývají zakalené, do modra popuštěné a vždy vyleštěné. Ložiska mohou být pouhé díry v mosazi jako na obr. 132 nebo 133 a 134 (s jímkou pro olej). Mosaz je výborný ložiskový materiál; ještě lepší, trvanlivější a k oleji netečná jsou ložiska z rubínu a safíru, upevňovaná dříve přehybem (obr. 135), dnes již všeobecně pouhým zalisováním (obr. 136). Setrvačky lepších hodiněk jsou vždy uloženy jak znázorňuje obr. 131; čela čípků se opírají o neprovrtnané koncové kameny a tvary kamenů jsou takové, aby se



olej kapilárními silami držel v ložisku. Koeficient tření je poměrně velký (ocel v mosazi až 0,2, v kameni asi 0,1); mazáním se tření příliš nezmenší, ale podstatně se zvětší trvanlivost. Volíme průměr čípků co možno malý (u setrvaček v hodinkách běžně 0,1 mm) a délku ne větší než tři průměry. Tenké čípky setrvaček se nárazem snadno zlomí, a proto Švýcaři zavedli ochranná opatření („pare — choc“): hřídel setrvačky má jakési druhé robustní uložení s ohromnou vůlí, do něhož hřídel dolehne, když se nárazem poddalo kamenové uložení středěné předpjatou pružinkou. Ložiska hřídelíků jsou buď v obou deskách („platinách“) stroje, nebo v základní desce a v přišroubovaných můstcích; někdy je pro snazší demontáž třeba dát ložisko do šroubku. O obtížích s mazáním jsme se již zmínili; je třeba dodat, že v hodinkách, kde působí síly řádu 0,1 g, jeví se i řídký olej jako kapalina silně viskózní a lepkavá, proto se styčné plochy záměrně omezují (příklad na obr. 131).

Uložení hrotová (špičková)

Hřídelík je ukončen zakalenými a vyleštěnými hroty. Uložení hrotů se řeší dvěma zásadně odlišnými způsoby: buď jsou hroty uloženy v jamkách, které mají zaoblené dno (obr. 137), nebo hrot sedí v dírcě





Obr. 144.



Obr. 145.



Obr. 146.



Obr. 147.



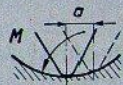
Obr. 148.



Obr. 149.



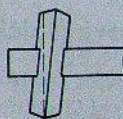
Obr. 150.



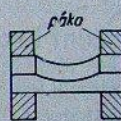
Obr. 151.



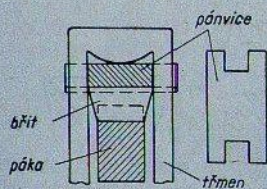
Obr. 152.



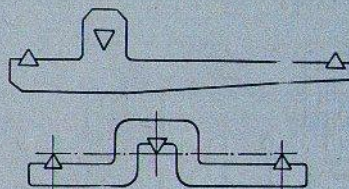
Obr. 153.



Obr. 154.



Obr. 155.



Obr. 156.

Obr. 144—156. Uložení břitová.

jako na *obr. 138* a funguje spíše jako kuželový čep malého průměru. U prvního způsobu je tření minimální, ale vlivem nevyhnutelné vůle se uložení vždy trochu viklá; je to standardní uložení pro všechny elektrické měřicí přístroje, pokud nemají závěs páskový. Nejlepší ložisko je safírové, zasazené ve šroubku, kterým lze nastavit vůli (*obr. 139*). Namáhání hrotu není daleko od meze pevnosti, proto se hroty snadno poškodí a je dobře, jsou-li snadno vyměnitelné jako na *obr. 141*. Magnetické jehly busol jsou otáčivé na jediném hrotu (*obr. 140*); těžké magnetové systémy kompasů mívají prstencový plovák a pouzdro kompasu je vyplněno kapalinou (která i potřebně tlumí). Podle jemnosti přístroje je poloměr křivosti hrotu 0,01—0,03 — 0,1, jamky 0,1 — 0,2 — 0,3 mm.

Uložení podle *obr. 138* dává přirozeně tření větší, ale je mnohem robustnější; axiálním posunutím jednoho ložiska lze vůli vymezit a dospěje se tak k nejdokonalejší realizaci otočné osy, jakou známe (přesné obrábění mezi hroty); díрка pro hrot je 0,15 — 0,3 — 1 mm. Pohyblivé ložisko může být ve šroubu (*obr. 142*), přesněji v posuvném válečku (*obr. 143*, ložisko planimetru); bývá ocelové kalené, někdy z mosazi, nejlepší je ovšem safírová vložka. Je to obvyklé uložení v planimetrech a integrátorech; dnes je můžeme nahradit miniaturními kuličkovými ložisky. Hroty mohou být též pevné (neotočné) a dírky v hřídeli.

Uložení břitové

Toto uložení je obvyklé pro váhy všech druhů; dává sice minimální tření (chyba analytických vah je řádu 10^{-8}), ale jen omezenou pohyblivost. Průřez břitu je trojúhelník (*obr. 144*) nebo válcovaný profil (*obr. 145*); přesné břity se vytvoří úzkými fasetami podle *obr. 146*. Materiálem je kalená ocel, pro přesné váhy kámen (achát, karneol); často se již používá umělých safírů a ještě lepší je prý karbid titanu. Břity jsou do vahadel nebo pák zalisovány (*obr. 147, 148*), křehké kamenné břity jsou zatmeleny do kovových držáků, které jsou pak upevněny (*obr. 149*); u analytických vah jsou držáky koncových břitů upevněny soustavou šroubků, jimiž lze pevně nastavit polohu (nepřípustné u vah podléhajících cejchovní povinnosti!), u velkých vah najdeme i jiné způsoby upevnění. Tvary vahadel a pák jsou určeny požadavkem, aby břity ležely v jedné rovině (viz *obr. 156*); jeden břit, nejčastěji prostřední, bývá delší a tvoří „břitovou osu“, uloženou v rámu. Břit spočívá na pánvičce (pánvici), která u hrubších vah bývá ocelová (*obr. 150*); poloha břitu zde není přesně určena (proto se břity dávají vždy na páky) a na vysunutý břit, který představuje vlastně váleček malého poloměru, působí proměnný otáčivý moment M (*obr. 151*), který vnáší chybu do vážení. Proto precizní váhy mají kamenné pánvičky rovinné (*obr. 152*), které lze nejpřesněji obrobit, a do správné polohy je vahadlo vždy

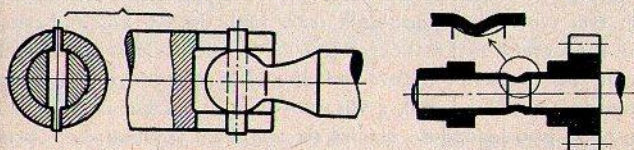
posazeno aretačním zařízením. Nepřesné (šikmé) zasazení břitů působí neurčitost v délce ramene (obr. 153), a tím citelnou chybu vah („střídání“). U starých vah se to obcházelo koncovými břity podle obr. 154 (na zaobleném břitu byla miska zavěšena pouhým hákem), u decimálních vah působí táhla („tažnice“) na pánvičku přes třmen podle obr. 155; u vah precizních dosedá pánvička rovnoměrně na břit tím, že je se závěsem misky spojena zvláštním hrotovým kloubem, jehož osa je kolmá na břit. Břítů používáme i v jiných přístrojích, zejména potřebujeme-li páku s velmi krátkým ramenem (díleňský minimetr, Martensův tenzometr).

5 Zařízení k přenosu pohybů

U přístrojů se stále setkáváme s různými převodovými mechanismy. Málokdy jde o přenos větších sil, obvykle jde jen o přenos nějakého pohybu, ale tento přenos často musí být přesný a bez vůle. Je zřejmé, že používáme všech prvků známých ze strojnictví, a to často v nejjednodušších formách, protože rozměry bývají malé. Nepřítelem přesnosti mohou být pružné deformace; proto nepočítáme pevnost součástí, ale jejich deformace, a proto jsme nejednou nuceni součásti značně předimenzovat.

Hřídele a spojky

Jako hřídel stačí často kus přesné lesklé tyče kruhového průřezu; větší tuhost při stejné váze má trubka ocelová, mosazná nebo hliníková. Hledíme, aby se hřídel otáčel jen ve dvou ložiskách; je-li jich více, je nebezpečí váznutí, a proto raději hřídel rozdělíme, kusy spojíme



Obr. 157.

Obr. 158.

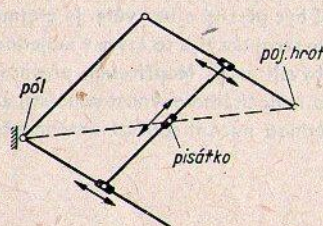
Obr. 157, 158. Spojky.

známou Hardyho spojkou, která přenáší bez vůle. Používá se dále různých forem křížových kloubů („kardanů“) v malých rozměrech jednoduchých forem jako na obr. 157. Někdy je třeba vypínací spojky zubové; je-li zubová spojka přitlačována jen pružinou a má zuby pilovité, přenáší plný moment jen v jednom smyslu (najdeme ji v natahovacím ústrojí většiny hodinek), v opačném smyslu přenáší jen určitý malý moment (řetačka v dílenském mikrometru). Časté jsou spojky kluzné, kde se

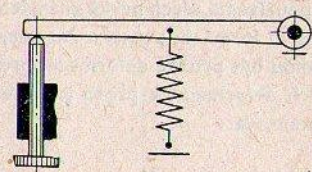
potřebné tření vyvolá předpjatou pružinou nebo jen napružením. Kluzná spojka vždy pohání ručky hodin; v hodinkách je minutová ručka zpravidla nasazena na ocelové trubičce, která je napružena promáčknutím a nasazena na minutový hřídel (obr. 158).

Páky

Pák používáme k tomu, abychom pohyb převedli nebo změnili jeho směr (úhlové páky), k zvětšení malého nebo zmenšení velkého pohybu, k sečítání pohybů, k rozdělování a vyrovnávání sil, jako součástí nej-různějších mechanismů. Pákové systémy bývá třeba vyšetřit početně nebo názorněji graficky, nedáme-li přednost rychlému a spolehlivému vyšetření na improvizovaném modelu. Z pákových soustav je významný pantograf, používaný původně k zmenšování nebo zvětšování kreseb,



Obr. 159.



Obr. 160.

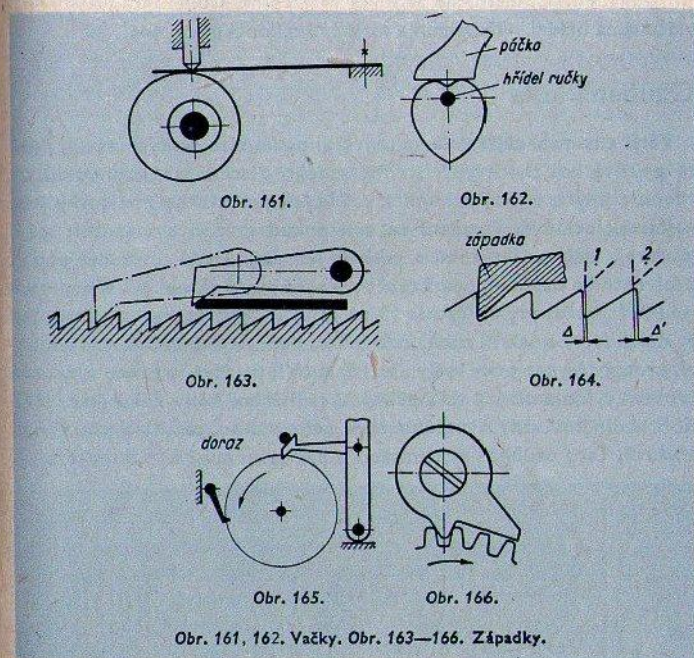
Obr. 159, 160. Pákové systémy.

dnes také k rytí nápisů a číslic, a jako součást speciálních strojů, které obrábějí podle velké ručně zhotovené šablony; je to soustava skloubených tyčí tvořících rovnoběžník (obr. 159), otáčivá kolem pevného pólu. Pantograf k rytí maličkých (0,2 mm) číslic na jemných děleních je pouhá páka otáčivá v křížovém kloubu. Malé páky se vyrábějí z plechu (hromadně vystřihováním), s vlisovaným nebo zašroubovaným nábojem, nebo jsou jednoduše otáčivé na osazeném šroubku; toto primitivní uložení leckdy vyhoví, zamezíme-li vhodně umístěnou pružinou, aby se neuplatňovala vůle uložení (obr. 160).

Vačky

Kromě vaček a výstředníků známých ze strojnictví používáme kotoučů se spirální drážkou, a vaček, které se neotáčejí, ale posunují. Vačky můžeme také použít jako dorazu stavitelného i v běhu. Člen sledující vačku může být posuvné klouzátko nebo páka; na obr. 161 je příklad vačky zvedající tyčku, kde vložená plochá pružina zachycuje tangenciální síly. Zajímavá je vačka ve tvaru srdíčka, která se vrací do

původní polohy, přitlačí-li se na ni plochý konec páčky (obr. 162, je v každých stopkách). Vačka je řešení, jehož použijeme, když nemůžeme žádané funkční souvislosti dvou pohybů dosáhnout jinak; přesné obrobění takové vačky ovšem vyžaduje speciálního strojeku nebo aspoň souřadnicového stroje.



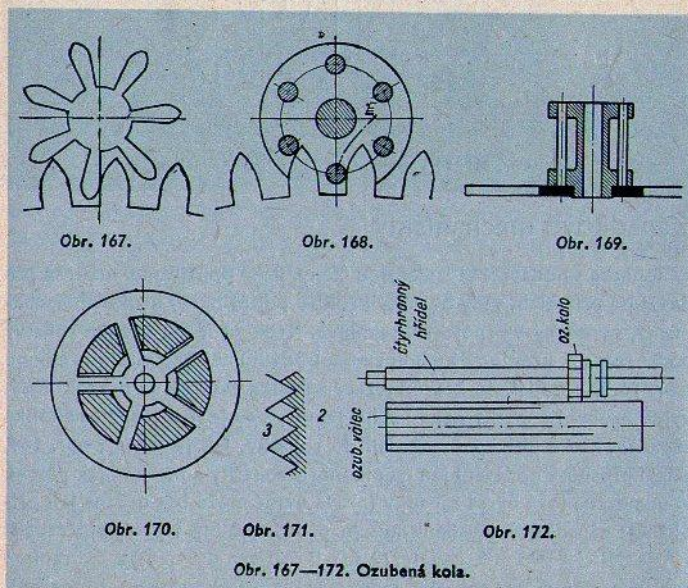
Západkové mechanismy

Rohatka a podávací zápádka jsou členy, jichž používáme, má-li se podávat po přítržích, vždy o určitý krok — odtud názvy krokové mechanismy, zavedený ve spojovací technice. Krokem může být jen celistvý počet roztečí, který se dá měnit změnou zdvihu nebo stavitelnou clonou (obr. 163), určující, do které mezery zápádka zaskočí. Je-li krok malý, vyjde ozubení rohatky někdy příliš jemné, a tu je lépe použít několika západek, které postupně zapadají do rohatky. Jak je vidět z obr. 164, záleží přesnost podávání jen na přesnosti rohatky a na tom, jak přesně je vymezena levá úvrat západky (pravá úvrat může být určena jen přibližně); západkový mechanismus je proto vhodný i pro nejpřesnější stroje dělicí a pro mikrotomy. Nejde-li rohatka dost ztuhla, zabráníme zpětným pohybům rohatky indexovací pružinkou nebo bezpečněji

druhou zádržnou západkou (obr. 165). Takovou západku najdeme v každých hodinkách; pro ochranu hnacího péra je účelné, aby tato západka připouštěla zřetelné couvnutí rohatky, a proto se obvykle dělá způsobem znázorněným na obr. 166. Západka je zpravidla přitlačována pružinou; v jemném mechanismu může funkci západky zastávat plochá pružinka. Funkci nehluché západky může plnit šroubovitá pružina navlečená na hřídel s přesahem a na jednom konci upevněná.

Ozubená kola

Větší a namáhanější kola se navrhují podle strojnických zásad, jinak se používá kol zhotovených z mosazného plechu, z textgumoidu, ze silonu a jiných umělých látek a kol litých pod tlakem; pastorky jsou nejčastěji ocelové. Ozubení se volí pokud možno evolventní; má-li pastorek malý počet zubů a přenáší jen malou sílu, můžeme použít evolventního ozubení, jehož záběrová přímka má sklon 30° . V hodinách jsou běžné převody do rychla 10 : 1 až 15 : 1 a pastorky mají často jen 6, málokdy více než 10 zubů. Zde ovšem není možné evolventní ozubení, protože by pastorky vyšly „podříznuté“; používá se proto výhradně ozubení cykloidního, a to s přímými radiálními boky zubů (obr. 167). Kola hodin jsou vždy z tvrdého mosazného plechu, pastorky jsou tvrdé, ocelové. Tato ozubení se nemažou a pastorky musí být dokonale vy-



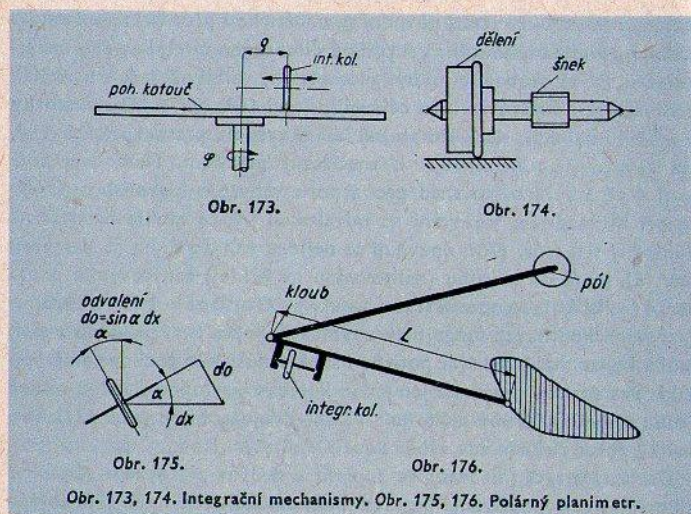
Obr. 167—172. Ozubená kola.

leštěny i za cenu, že ztratí původní geometrickou přesnost; nepřesnost pastorků hodinám nevadí na rozdíl od dílenského číselníkového úchylkoměru, jehož ozubení musí být geometricky velmi přesné. V hrubších hodinách se používá ozubení cévového (obr. 168, 169 a 14) s pastorky o 6 až 10 zubech; dnes lze stejně levně vyrobit pastorky frézované, ale cévové jsou necitlivější k znečištění prachem. Hodinová kola mají 4 až 5 ramen, ne snad pro úsporu váhy, ale hlavně proto, aby se při hromadném frézování na odvalovací frézce mohla nastrčit na důkladný trn (obr. 170); upevňují se nejlépe nanýtováním na pastorek (obr. 5), jinak na přírubu (nalisovanou na hřídel) zanýtováním podle obr. 4 (velká kola se upevní třemi šroubky). Ozubená kolečka v chronografických hodinkách fungují jako vypínací spojka tím, že jedno z nich může konat malý radiální pohyb; zoubky musí být pochopitelně špičaté. Pro úsporu práce má jen jedno kolečko potřebnou malou rozteč (řádu 0,1 mm), druhé může mít rozteč dvojnásobnou (obr. 171). Pro veliký počet zubů je zde záběr docela dobrý.

Ozubených tyčí (hřebenů) ve spojení s malým pastorkem (často se šikmými zuby) používáme k zaostřování dalekohledů nebo k hrubému zaostření mikroskopů. Důležitý je šnekový převod, kterým lze jemně nastavit i měřit úhlové polohy s přesností, která je omezena jen dokonalostí šneku a šnekového kola. Má-li kolo např. 180 zubů a na hřídeli šneku (zpravidla jednochodého) je bubínek rozdělený na 120 dílků, můžeme číst minuty a odhadovat jejich desetiny. Přesný šnek zabírající s přesným velikým kolem (např. \varnothing 1000 mm, 720 zubů) je základem kruhových dělicích strojů. Ozubená kola neokrouhlá dávají převod proměnný; jejich výroba je ovšem velmi nesnadná, a proto se je snažíme nahradit jiným vhodným mechanismem. Naproti tomu ve většině kancelářských počítacích strojů je několikrát ozubení částečné, tj. ozubený segment, s počtem zubů měnícím se od nuly do devíti. Nejobvyklejší konstrukce (kterou vynalezl již Leibniz) je patrná z obr. 172: hnací člen je válec, na němž je devět zubů odstupňované šířky, který jednou otáčkou pootočí počítací kolečko o 0 až 9 roztečí (podle jeho polohy). Vůle v zubech se nedá odstranit ani nejpřesnější výrobou; jde-li o pouhé střídavé pohyby, pomůžeme si pružinou, která působí na poháněné kolo, a tím drží ozubení v jednostranném záběru; někdy jsou vhodná jemně ozubená kola (jako na obr. 171) radiálně přitlačovaná do záběru vahou nebo pružinou.

Převody třecí

Třecí převod (nahrazující hřeben a pastorek) najdeme v každém fotografickém „zvětšováku“. Třením mezi poháněcím a přitlačovacím válečkem je posunován papír v psacím stroji nebo pás papíru v chrono-



graech a jiných zapisujících měřicích přístrojích. Měnitelný třecí převod je kolečko, kterému udílí pohyb kužel, rovinný kotouč (obr. 173), kulový vrchlík; převodový poměr se mění s polohou tohoto kolečka. Takové třecí soukolí se vyskytuje např. v některých navíjecích strojích v elektrotechnice a v brousicích strojích optických. Jsou-li působící síly nepatrné (pouhé ložiskové tření), je přenos velmi přesný (relativní chyba může být jen řádu 10^{-5}). Takové soukolí se hodí za vypínací spojku, za ústrojí diferenční a zejména za ústrojí integrační.

Mechanismy integrační

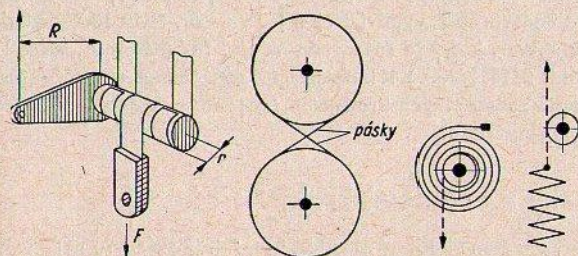
Integrace v měřicí technice je dvojího druhu. Integrujeme věc danou, obyčejně nakreslený obrazec, jestliže potřebujeme znát jeho plochu, jeho statický moment nebo moment setrvačnosti. Nebo jde o souběžnou integraci veličiny stále měřené; tak např. v inerční navigaci řízených střel se akcelerometrem měří zrychlení, které se dvakrát integruje podle času, aby se zjistila dráha, kterou střela ulétla. Jestliže se integruje mechanicky (ne např. elektricky), použije se třecího převodu plynule proměnného.

K integraci se dá použít třecího převodu známého z obr. 173. Jestliže se kotouč pootočí o $d\varphi$, odvalí se poháněné kolečko o q d φ a měří tedy integrál $\int q d\varphi$. Integrovat lze různé funkce, tak např. je-li kotouč poháněn časovým hodinovým strojem a poloha kolečka určována akcelerometrem, měří kolečko rychlost. Integrační kolečko je z tvrdé oceli, uložené hroty (obr. 174), a nese celuloidový bubínek rozdělený

na 100 dílků; celé otáčky se počítají drobným šnekovým převodem. Zde se kolečko po kotouči odvalovalo, ale kolečko se může po podložce pohybovat obecně, tj. odvalovat i smýkat. Kolečko reaguje jen na složku pohybu kolmou k ose (obr. 175). Takové kolečko je otáčivě uloženo na pojezdném rameni obyčejného polárního planimetru (obr. 176) a spočívá přímo na výkresu; rameno je skloubeno s tyčí, která se otáčí kolem pevného pólu. Lze dokázat, že hrotem objetá plocha je rovna součinu z odvalení kolečka a délky L . Obvykle je obvod kolečka 6 cm, a má-li jeho otáčka znamenat 100 cm^2 , bude délka ramene $100 : 6 = 16,67 \text{ cm}$. Zkrácením ramene na polovinu dostaneme dvojnásobné čtení a tedy větší přesnost. Kloub pojezdného ramena může být veden též v přísmce (např. dvojkolím, obr. 101), takže vznikne lineární planimetr k vyměřování dlouhých obrazců. Obyčejný planimetr změří plochu 100 až 200 cm^2 s chybou 0,1%; známe planimetry přesnější, ale mnohem složitější a dražší.

Přenos ohebnými členy

Jsou to jemné řetízky, pásy a vlákna. Na obrázku 177 je příklad, jak pomocí kovových pásků dostaneme krátkou páku otáčivou bez tření; ještě lepší příklad je kyvadlový systém automatických vah typu „Toledo“ na nádražích. Na obrázku 178 jsou spolu bez vůle spřaženy dva kotouče, obvykle se však pásek odvíjí z kotouče proti síle vratné pružiny; je-li kotouč nekruhový, je převod nelineární. Jde-li o nepatrné síly (převod na ručku), může vadit ohybová tuhost kovových pásků, a tu lze použít hedvábné nitky nebo jen vlákna, které se z kladičky odvíjí proti momentu vlásku (obr. 179), nebo je kladička vláknem ovínutá (obr. 180); vlákna ovšem nejsou příliš stálá, a proto jejich délku omezíme na nutné minimum. Nitky a vlákna jsou leckdy velmi vhodné pro různé laboratorní improvizace, ovšem méně vhodné pro robustní provozní přístroje.



Obr. 177.

Obr. 178.

Obr. 179.

Obr. 180.

Obr. 177—180. Užití pásků a vláken.

6 Zařízení k ovládní pohybů

Pohyb se často omezuje různými *dorazy*. Pevným dorazem může být zalisovaný kolík (viz *obr. 191*) nebo jen nějaká hrana nebo výstupek. Dorazem stavitelným je obvykle šroub, dobře zajištěný přítužnou maticí, tlačným šroubem (*obr. 181*), nejlépe však sevřením rozříznuté matice (*obr. 182*). Pro velký rozsah nastavování je šroub ve stojánku, který se dá přestavovat v drážce (*obr. 182*); pro nepatrný rozsah nastavování se v hodinářství používá ztuha zavrtnutých šroubků, které mají výstřednou hlavu. Složitější je omezit otáčivý pohyb, je-li větší než 360° . Z mnoha možných způsobů je na *obr. 183* znázorněno soukolí k jemnému zaostřování mikroskopu. Otáčivý pohyb hřídele 1 (na němž jsou točítka) je omezen ozubem 5, který se po určitém počtu otáček setká s ozubem 6 hřídele 4 poháněného trojím převodem do pomalu. Jiný princip je znázorněn na *obr. 184*: na hřídeli se volně otáčí kotouč 2 s kolíkem, o který se opře nos 1 spojený s hřídelem. O západkách, které zabraňují zpětnému pohybu, byla zmínka v předešlé kapitole.

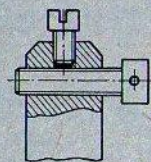
Je-li třeba určit a zabezpečit předepsané polohy nějaké otáčivé nebo posuvné součásti, použije se zařízení *indexovacího*. K lehkému zajištění stačí pouhá pružina (*obr. 185*), zapadající do zářezů, k pevnějšímu zajištění se použije páčky nebo posuvné závory (*obr. 186*). Pokud se nevyžaduje samosvornost, vyhoví drážky jako na *obr. 185* a *186*; jinak drážky dostanou tvar, který je znázorněn na *obr. 187* (páčka v „izisce“ indexující úhly $0, 15, 30^\circ \dots$). K indexovacím zařízením patří i dělicí kotouče s dírkami v soustředných kružnicích, jak je známe z dělicích hlav a hodinářských soustruhů.

Zarážky a hodinové kroky

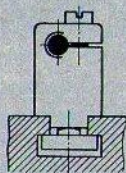
Zarážka je člen podobný západce, který drží v záchytu nějaký pohyblivý člen, dokud není dán povel k pohybu zdvižením zarážky. Najdeme ji v každé fotografické závěrce, v bicím stroji hodin, zarážka je i spouště střelné zbraně. Krok lodních chronometrů je v podstatě pouhá za-

rážka; zářkové ústrojí řídí pohyb vozíku v psacím stroji. Zářka na obr. 188 je dvojitá a pohybem sem a tam dovolí rohatce postup o jednu rozteč; je to tím, že dříve než zářka vypustí jeden zub (např. 1), je druhé její rameno připraveno zachytit jiný zub (např. 2).

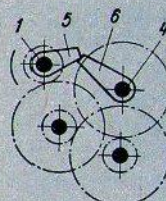
Dáme-li zubům zářky tvar jako na obr. 189, vznikne *kovový krok*. Místo záchytných ploch má nyní kotva šikmé plochy impulsní a tlakem stoupacího kola kmitá tím rychleji, čím je lehčí a čím větší je síla na obvodu kola. Není to ještě přesný časoměr, stačí však k odměřování časů v sektorové závěrce a v samospoušti (a tím spíše k zvonění v budíku). Spojíme-li však s tímto krokem dobré kyvadlo, dostaneme hodiny, jejichž odchylka bude jen několik vteřin za den. Tento krok je „vratný“, tj. stoupací kolo poněkud couvne, když kyvadlo dokončuje svůj kyv; proto má hodinový stroj vliv na kyvy kyvadla. To odstranil Graham tím, že kromě šikmých impulsních ploch dal kotvě ještě záchytné (klidové) plochy válcové (obr. 190); krok je „klidový“, tj. stoupací kolo je v klidu, když kyvadlo dokončuje kyv. Grahamův krok byl 150 let



Obr. 181.

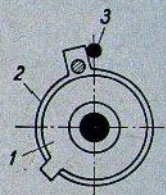


Obr. 182.

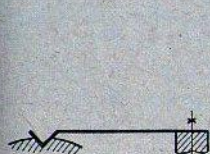


Obr. 183.

Obr. 181—184. Dorazy. Obr. 185—187. Indexovací zařízení.



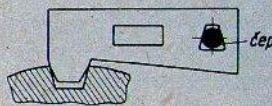
Obr. 184.



Obr. 185.



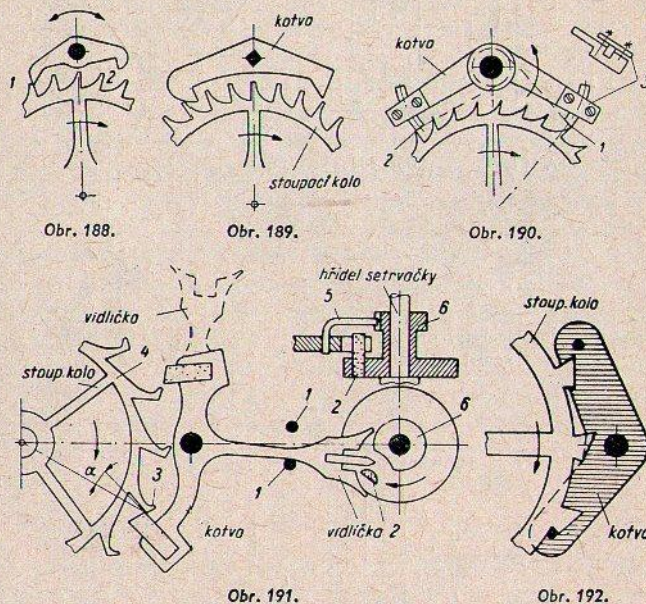
Obr. 186.



Obr. 187.

nejlepší pro precizní hodiny (s průměrnou chybou $\pm 0,1$ s za den) a je dodnes běžný u dobrých hodin. Stoupací kolo je mosazné, kotva je z oceli, nebo lépe mosazná se zasazenými zuby z oceli nebo kamene (obr. 190). Malé a levné hodiny mají starý kotvový krok a kotvu zpravidla ohnutou z ocelového pásku (obr. 8).

Popsané kroky jsou vhodné pro malé amplitudy kyvadla ($\pm 1 - 5\%$), nehodí se však pro velkou amplitudu setrvačky v hodinách. Rozpor vyřešil geniálním trikem Mudge: setrvačka je volná a jen na okamžik, kdy probíhá svou střední polohou, je spřažena se strojem pomocí impulsního kolíku na setrvačce a vidličky spojené s kotvou; obvyklou konstrukci vidíme na obr. 191. Vběhne-li kámen 2 do vidličky, strhne s sebou kotvu, která uvolní stoupací kolo a dostane od něho impuls; po impulsu je kolo zachyceno druhým zubem kotvy, která je pak zadržena dorazem 1. Záchytné plochy kotvy jsou nakloněny o „tažný“ úhel α , takže zub kotvy je stoupacím kolem přitahován. V klidu doléhá tedy vidlička na kolíky 1, připravena zachytit kámen 2; toho zajištění není dost bezpečné, proto je na vidličce ještě pojistný prstík 5 a na setrvačce kotouček 6 s výřezem. Stoupací kolo je z oceli, zuby kotvy z rubínů. Pohyb kotvy je asi 10° , pohyb setrvačky mezi úvratěmi asi 450° .



Obr. 188—190. Kotvové kroky pro kyvadlo. Obr. 191, 192. Kotvové kroky pro setrvačku.

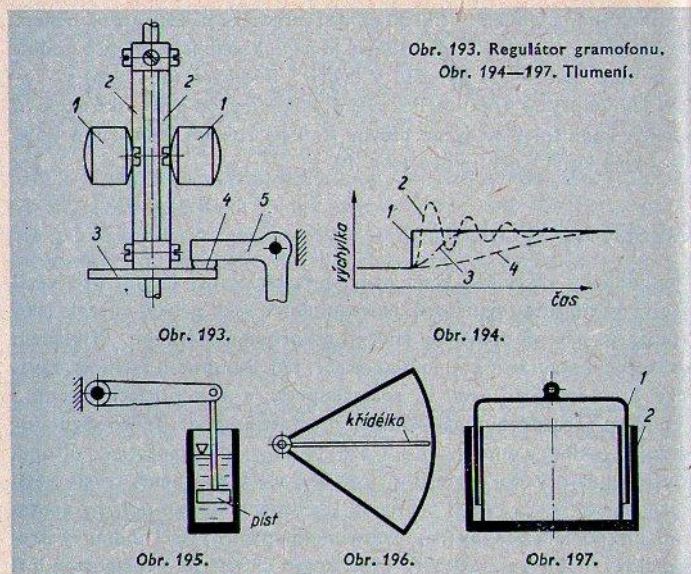
z toho záběr s vidličkou činí 30 až 40°; setrvačka je tedy aspoň během 90 % času volná. Volný krok kotvový je nejdokonalejší krok pro hodinky, je však náročný na výrobu. V levných hodinách (budících) se používá jednoduššího kroku kolíčkového; kotva má jen dva tenké ocelové kolíčky, impulsní i záchytné plochy jsou na zubech stoupacího kola, dorazných kolíků není třeba (obr. 192).

Regulátory rychlosti

Jednoduchý větrníček stačí např. pro bicí stroj hodin, pro větší nároky používáme regulátorů. Neregulujeme však přívod energie jako u motorů, ale přebytečnou energii absorbujeme třením. Příkladem je absorpční regulátor gramofonu na obr. 193. Stoupne-li rychlost, závažíčka 1 nesená pružinami se rozestoupnou, a tím přitlačí kotouč 3 k podušce 4; natočením páky 5 se dá rychlost nastavit. Tento regulátor udržuje rychlost v mezích asi $\pm 0,5\%$; to odpovídá dvanáctině půltónu. Jsou i regulátory dokonalejší a složitější, ale žádný nemá trvale větší přesnost než 0,1 %. Větší přesnosti lze dosáhnout jen pohyby *kmitavými*. Pro pomalé pohyby (např. záznamního papíru) stačí hodinový stroj kyvadlový nebo setrvačkový. Přetržitost chodu je nepřipustná při větších rychlostech, a proto dnes běžně používáme pohonu synchronním motorkem. Napájením motorku ze sítě snadno vznikne chyba $\pm 1\%$. Přesnosti řádu až 10^{-6} dosáhneme napájecím okruhem, který je řízen ladičkou buzenou elektricky. Ještě větší je přesnost obvodů řízených kmitajícím tělískem (tyčkou, prstenem) vybroušeným z krystalického křemene. Synchronní motorek takto napájený tvoří křemenné hodiny, které udržují čas a dávají časové signály po celém světě. Regulátor absorpční a zároveň kmitající je Hippovo péro, pouhá plochá pružina brousící svým koncem po ozubeném kole; je to mechanismus konstrukčně jednoduchý, zato tím složitější v teorii.

Zařízení tlumicí

Každý měřicí systém, který pracuje výchylkovou metodou, je vlastně mechanický oscilátor, protože v něm působí nějaká směrná síla a jeho součásti mají jistou hmotu. Takový systém reaguje na náhlé zvětšení měřené hodnoty (čára 1 na obr. 194) zakmitáním, je-li útlum malý (čára 2); je-li tlumení aperiodické (kritické), vzroste výchylka systému podle čáry 3, a je-li tlumení nadbytečné, podle čáry 4. Veličinu rychle se měnící může sledovat (zapisovat) jen systém s dostatečně vysokou vlastní frekvencí. Takový systém mívá tlumení (odporem vzduchu, třením) dostatečné; u systémů s nízkou vlastní frekvencí jsme často nuceni použít tlumení umělého, i když jen proto, abychom nemusili

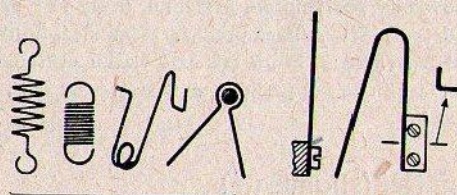


dlouho čekat, než se ručka ustálí (váhy). Tření není obecně vhodná tlumicí síla, protože do měřicího systému vnáší vždy neurčitost. Tlumení musí být progresivní, tj. musí být nulové při nulové rychlosti.

Mechanické tlumení větrníčkem poháněným ozubeným soukolím je možné jen u přístrojů, které se chvějí (tachometry) — chvěním se tření vždy zmenší. Je-li třeba velkých tlumicích sil, vyhoví netěsný píst ve válci naplněném olejem (obr. 195, tlumič automatických krámských vah). Pro malé síly stačí čistotnější tlumič vzduchový, např. křídélko, které se s malou vůlí pohybuje v pouzdře (obr. 196, elektrické přístroje); analytické váhy mají vzduchové tlumiče podle obr. 197. Pro torzní vážky se hodí hliníková deska nebo segment, které se otáčejí mezi póly magnetu (tlumení vířivými proudy). Někdy je možno pohyblivý systém uložit do tlumicí kapaliny (smyčka oscilografu, magnetický systém kompasu). Jsou však přístroje, které mají vlastní tlumení: Galvanometry s pohyblivou cívkou jsou tlumeny proudem indukovaným ve vinutí cívky a v jejím hliníkovém rámečku, hydraulické siloměrné systémy (Amslerovy zkoušecí stroje) mohou být libovolně tlumeny zaškrcením průtoků. Velikost tlumení u zapisujících přístrojů je věc kompromisu: kmity zkreslují průběh a diagram může být až nečitelný, silné tlumení rovněž zkresluje. U ukazujících přístrojů se snažíme o tlumení skoro aperiodické tak, aby ručka jen jednou trochu přeběhla (a máme jakousi kontrolu, že přístroj je v pořádku).

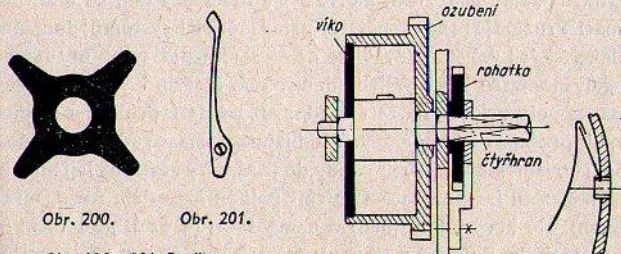
7 Pružiny

Pružin používáme, je-li třeba vyvozovat trvale sílu (v kluzné spojce), vracet nějakou součást do původní polohy (pružiny vratné), akumulovat práci (hnací péro hodin), měřit síly (pružiny siloměrné, tlakoměrné), dosáhnout pohyblivosti bez tření (pružinové klouby), odstranit vůli v převodu, dosáhnout jisté poddajnosti (elektrické kontakty). Materiálem je nejčastěji ocel, někdy bronz fosforový nebo berylový a speciální slitiny. Z velké části jsou to pružiny vinuté z drátu (ukázky na obr. 198) nebo vystřížené z tenkého plechu (obr. 199, 200; pružina pro kluznou spojku), ale také pružiny masívní, v hodinářství např. podle obr. 201. Podle možnosti dáváme přednost pružinám vinutým z drátu; jsou levné a dají se vyrobit jednoduchými prostředky.



Obr. 198.

Obr. 199.



Obr. 200.

Obr. 201.

Obr. 198—201. Pružiny.
Obr. 202, 203. Hodinová péra.

Obr. 202.

Obr. 203.

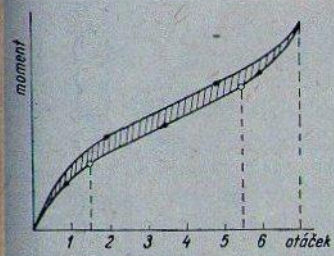
Hodinová péra a vlásky

Hnací péro hodin a hodinek je ocelový, zakalený a vyleštěný pásek, který se navinuje na trn. V budíku je péro nekryté, v lepších hodinách a v hodinkách je uzavřeno v pérovníku (obr. 202); vnitřní konec je otvorem zachycen na ozubu trnu, vnější konec je zaklesnut (např. „uzdou“ podle obr. 203) do zubu pérovníku. Při natahování ozubení pérovníku stále pohání stroj. Průběh hnacího momentu při navíjení a rozvíjení je nestejný působením tření (obr. 204). Natahování bývalo dříve omezeno dorazovým ústrojím („stavítkem“), dnes se spokojíme západkou podle obr. 166. Namáhání materiálu je obrovské, proto ocelová péra tak často praskají; v tom jsou mnohem lepší péra z moderních slitin („ressort incassable“). Pro hodiny nepřenosné je ovšem spolehlivější a stálejší pohon závažím.

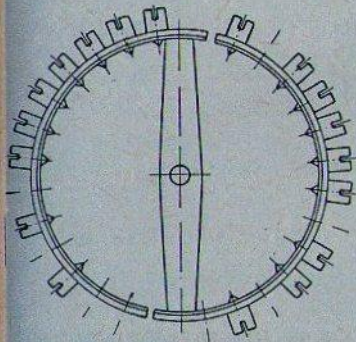
Pro chronometrii je neméně důležitý vlásek, jemná pružinka, která ve spojení se setrvačkou (obr. 205) tvoří mechanický oscilátor. Jeho kmity počítá hodinový stroj a stále mu dodává energii ztracenou odpory. Je to pásek vyrobený rozválcováním drátku z oceli nebo nivaroxu, pro budík většinou z bronzu. Má tvar Archimédovy spirály; v kvalitních hodinkách najdeme vlásek Bréguetův (obr. 206), jehož vnější konec je vyhnut nahoru a přechází v kus kruhového oblouku (takový vlásek pěkně koncentricky „dýchá“). Vnější konec vlásku je uklínován (obr. 26), vnitřní konec je tímž způsobem (v budíku jen zásekem) upevněn v rozříznutém prstýnku, který je s přesahem nastrčen na hřídel setrvačky. Vlasek prochází těsně mezi kolíky 2 upevněnými v regulační ručce 3, která tak část vlásku vyřazuje z činnosti (obr. 207); zkrácením vlásku (pohyb ručky ke značce A) se chod hodin zrychlí a naopak.

Pružiny měřicí (siloměrné)

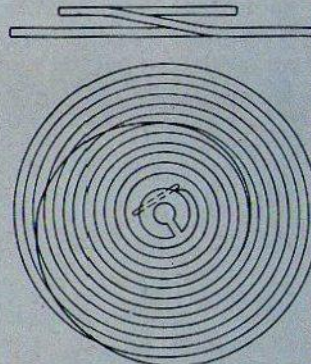
Protože je jednoznačný vztah mezi namáháním a deformací (Hookův zákon), můžeme pružinami měřit síly a momenty tak, že měříme deformaci. Pružina je proto součástí většiny měřicích systémů; dnes mnoho neelektrických veličin převádíme na měření napětí nebo proudu a vlasek galvanometru bývá posledním článkem řetězu. Přesnost měření je omezena elastickou hysterézí (dopružováním) pružin; ocejchování obvykle probíhá podle obr. 208. Reziduální deformace mizí teprve po jisté době; chování měřicí pružiny tedy do jisté míry závisí na její minulosti. Tuto nejistotu lze podstatně zmírnit volbou materiálu (ocel, nivarox, křemen), ale hlavně jeho malým namáháním (u oceli pod 10 kg/mm^2 v kroucení, 15 kg/mm^2 v obybu); lze tak dosáhnout přesnosti 0,1% i větší. Změna modulu pružnosti s teplotou (str. 11) nevádí u přístrojů



Obr. 204.

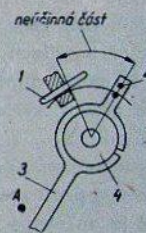


Obr. 205.

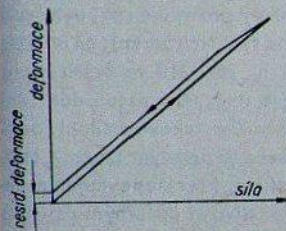


Obr. 206.

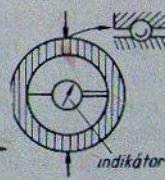
Obr. 204. Hodinové péro. Obr. 205—207. Vlasek.
Obr. 208—210. Pružiny siloměrné.



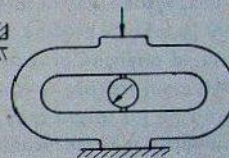
Obr. 207.



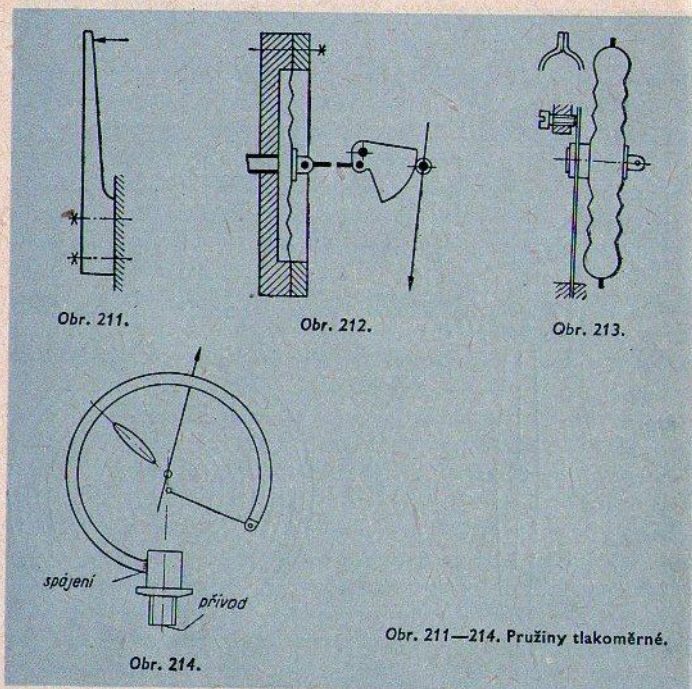
Obr. 208.



Obr. 209.



Obr. 210.



hrubších, vadí však u přístrojů přesných a tam, kde je velké rozpětí teplot (v letadlech $100\text{ }^{\circ}\text{C}$!); tu si pomáháme nějakou kompenzací (str. 63), nebo volíme pružiny z nivaroxu. Nepříjemný je creep materiálu u pružin trvale zatížených; vzniká tím tzv. „drift“, tj. mění se nulová poloha.

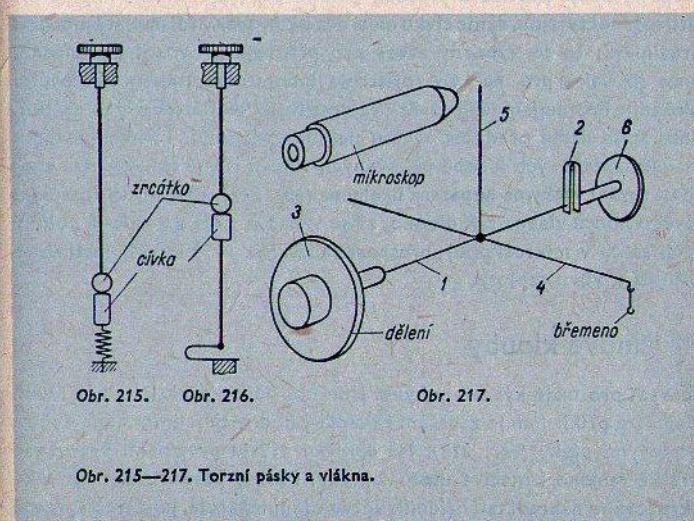
Z rozmanitých tvarů měřicích pružin výborně vyhovuje šroubovitá natahovaná pružina ukončená háky; méně dobrá je pružina stlačovaná, i když je opřena o lehce otáčivý talíř. Páskových pružin se používá málo. Častěji se použije masivní tuhé pružiny pro velké síly, nebo je-li třeba, vysoké vlastní frekvence (k záznamu rychlých změn); na obrázku 209 je taková pružina ve tvaru prstenu, na obr. 210 ve tvaru rámu. Příklad ohýbané pružiny je na obr. 211; je upevněna patou důkladně zesílenou, protože dokonalé vetknutí je nemožné (takové zesílení konců je nutné i u torzní tyče nebo u tyče namáhané prostým tahem). Malé momenty měříme pružinou spirální, vláskem, který upevňujeme kolíčky, ale v elektrických přístrojích kvůli vodivosti opatrným pájením. Výpočet pružin není valně přesný; v praxi to nevádí, pružiny se musí beztak cejchovat.

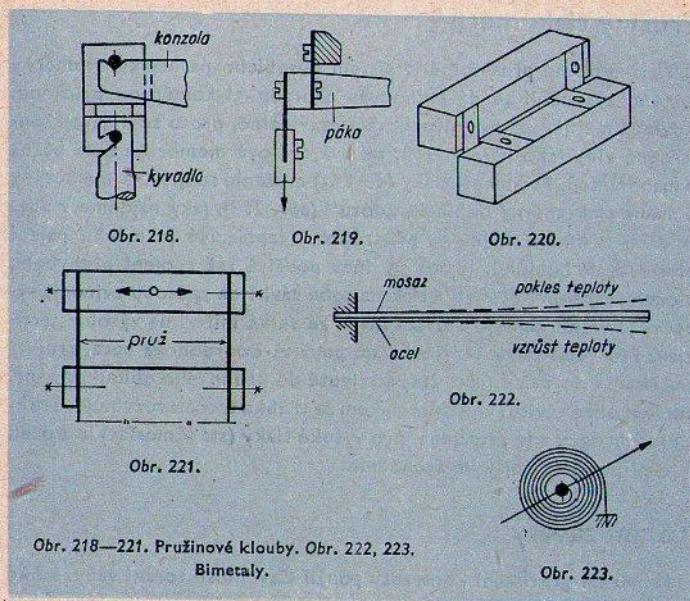
Pružiny tlakoměrné

Tlak můžeme přesně měřit pístem působícím na nějaký siloměrný systém, ale obojí se dá jednoduše nahradit tlakoměrnou pružinou. Rovinná membrána by se nechovala pravidelně, proto se jí dávají soustředné vlny jako na obr. 212; taková ocelová membrána byla běžná u manometrů. Pro menší tlaky (do 1 at) můžeme spojit dvě membrány a máme tlakoměrný bubínek, „dózu“ (obr. 213), jaký najdeme v aneroidech a mnohých jiných přístrojích. Nepříznivé je měkké pájení bronzových bubínků, proto se dnes používá též spojení přehybem, u oceli svařením. Průhyb a tlak na sobě závisí na způsobu zvlnění; výpočet je velmi nejistý, chování závisí ve velké míře i na výrobní technice. Pro větší tlaky se všeobecně používá Bourdonova péra, trubky smačknuté do oválu (obr. 214) a svinuté do kruhového oblouku, popř. i do několika závitů; vnitřním tlakem se trubka trochu rozvinuje. Trubka je z bronzu a je připájena, pro vysoké tlaky (sta atmosfér) je z oceli a je připevněna nějakým šroubením.

Torzní závěsy

K měření gravitační konstanty použil Cavendish torzní váhy, lehké příčky zavěšené na dlouhém drátku; drátek tvořil otáčivé uložení bez tření a zároveň citlivou měřicí pružinu. Dnes dáváme přednost páskům (bronzovým), které jsou při stejné nosnosti nejméně desetkrát citli-





vější. To je obvyklý závěs v zrcátkovém galvanometru (obr. 215); pásek tvoří jeden přívod proudu, jemná pružinka dole přívod druhý. Takový závěs vyžaduje pevnou a přesnou polohu přístroje. Smíme-li zmenšit citlivost na čtvrtinu, dáme cívku mezi dva pásy (obr. 216) napjaté plochou pružinkou; to je výborný závěs pro přístroje provozní a přenosné, dnes již také pro některé přístroje laboratorní (místo hrotového uložení). Pro nejjemnější závěsy se používalo wollastonových drátků, dnes spíše dáme přednost závěsu nejdokonalejšímu, křemeninovému vlákně. Z takových k sobě přitavených vláken různé tloušťky lze zhotovit torzní vážky na nepatrná břemena (obr. 217). Váží se zkrucováním levého konce vlákna tak dlouho, až se vahadlo vrátí do nulové polohy (vidí se to v mikroskopu); přesnost může být 10^{-4} i vyšší, jestliže se přihlíží k vlivu teploty.

Pružinové klouby

se hodí pro malé kývavé pohyby, jsou bez vůle a prakticky bez tření. Známým příkladem je zavěšení kyvadla v hodinách jedním, lépe dvěma ocelovými pásy (obr. 218). Na obrázku 219 je pružinami vytvořeno krátké rameno i otáčivé uložení páčky. Pružný pásek může být také zkrucován a nahradí tak hřídelík kotvy v jemném relé. Je-li třeba přesně

určit otočnou osu, hodí se kloub s pružinami zkříženými (obr. 220). Obrázek 221 je obdobou obr. 105, ale místo skloubených tyčí jsou páskové pružiny; vedení je rovnoběžné proto, že stejné pružiny mají také stejnou ohybovou čáru. Jde-li o nepatrné pohyby, postačí mnohdy součást místně zeslabit profrézováním, aby trochu pružila.

Dvojkovy (bimetalý)

Pásek složený ze dvou kovů nestejně teplotní roztažnosti mění své zakřivení s teplotou (obr. 222). Spojení musí být dokonalé: kombinace železo — mosaz je tvrdě spájena, citlivější moderní feronikly jsou svařeny válcováním. Napětí ve spoji jsou značná, dvojkovy jeví citelnou hysterézi. Proto jako měřicí orgán se hodí dvojkovy pro známý ručkový teploměr (obr. 223), ne však pro přístroje přesné. Zato se dobře hodí pro hrubší regulaci teploty a hlavně pro různé kompenzace.

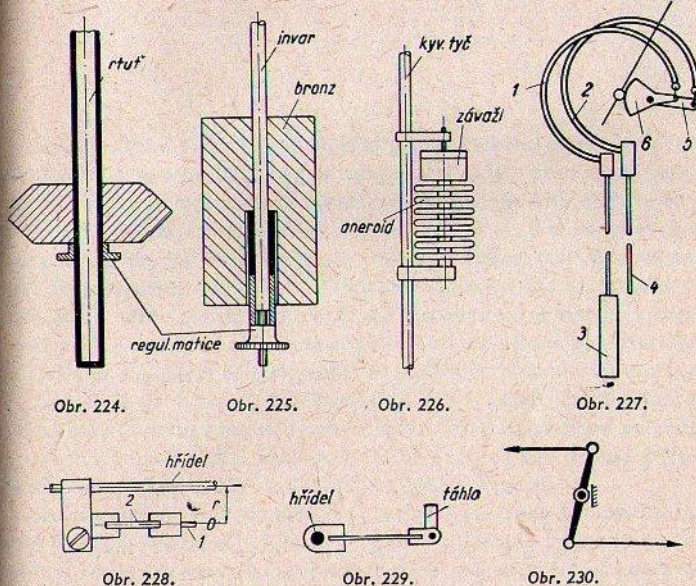
8 Zařízení kompenzační

Vnější vlivy mohou způsobit chybu v údajích přístroje; lze ji někdy odstranit početní opravou (je-li ovšem přesně známo chování přístroje), jindy by to bylo obtížné a nepohodlné; v praxi se pochopitelně žádá, aby přístroj přímo udával správné hodnoty. Proto hledíme účinek vnějšího vlivu vyrovnat čili kompenzovat nějakým opačným účinkem téhož vnějšího vlivu.

Nejčastěji jde o vliv teploty: změny rozměrů, modulu pružnosti, vodivosti, magnetické indukce.

Velkou teplotní chybu hodinek (11 s/d na 1 °C) odstraňujeme bimetallickou setrvačkou (obr. 205), jejíž prořiznutý věnec se oteplením ohne dovnitř, a tím se zmenší jeho moment setrvačnosti; při reglážu lze stupeň kompenzace snížit přemísťováním zatěžovacích šroubků k ramenům (na obrázku vlevo) a zvýšit odsouváním od ramen (vpravo). V dokonalejší setrvačce Guillaumově je ocel nahrazena feroniklem (str. 13). Je-li vlásek nivaroxový, vyhoví i pro dobré hodinky jednoduchá a laciná setrvačka monometalická, a jen chronometr dostane celistvou setrvačku Voletovu, která má věnec z nerezavějící oceli a ramena z invaru (a tedy je kruhová jen při jedné teplotě). Menší je vliv teploty na kyvadlo: ocelové kyvadlo oteplené o 1 °C se zpožďuje denně o 0,5 s, mosazné o 0,8 s. To lze kompenzovat jen tak, že kyvadlo uděláme ze dvou materiálů různě roztažných. Graham zavedl kombinaci oceli a rtuť: ocelová tyč nese místo čočky nádobu se rtutí; ještě lepší je Rieflerovo kyvadlo (obr. 224), jehož tyč z tenkostěnné ocelové trubky je naplněna do dvou třetin rtutí. Dnes používáme kyvadla invarových; v konstrukci Rieflerově (obr. 225) je čočka podepřena trubkou sestavenou z úseku ocelového a mosazného, jejichž poměrné délky se určí podle zjištěné roztažnosti invarové tyče. Při zvýšení barometrického tlaku o 1 mm Hg se hodiny zpožďují asi o 0,018 s/d. Tento vliv lze odstranit tím, že se hodiny dají do vzduchotěsného pouzdra, nebo kompenzovat aneroidovými bubínky, které jsou zatíženy závažím a namontovány co nejvýše na kyvadlové tyči (obr. 226).

Oteplením o 1°C se modul pružnosti měřicích pružin zmenší o 0,02—0,03%. Tím se změní konstanta přístroje a jedinou pomocí je příslušně změnit převod na ručku, a to změnou ramena některé převodní páčky. Na obrázku 228 je čípek 1, na který účinkuje táhlo, nesen dvojkovovým páskem 2 a změnami teploty se mění rameno r ; stupeň kompenzace lze měnit natáčením pásku kolem osy o . Je-li třeba opravy aditivní, tj. posunu nulové polohy, užije se páčky podle obr. 229; zde



Obr. 224—230. Kompenzace.

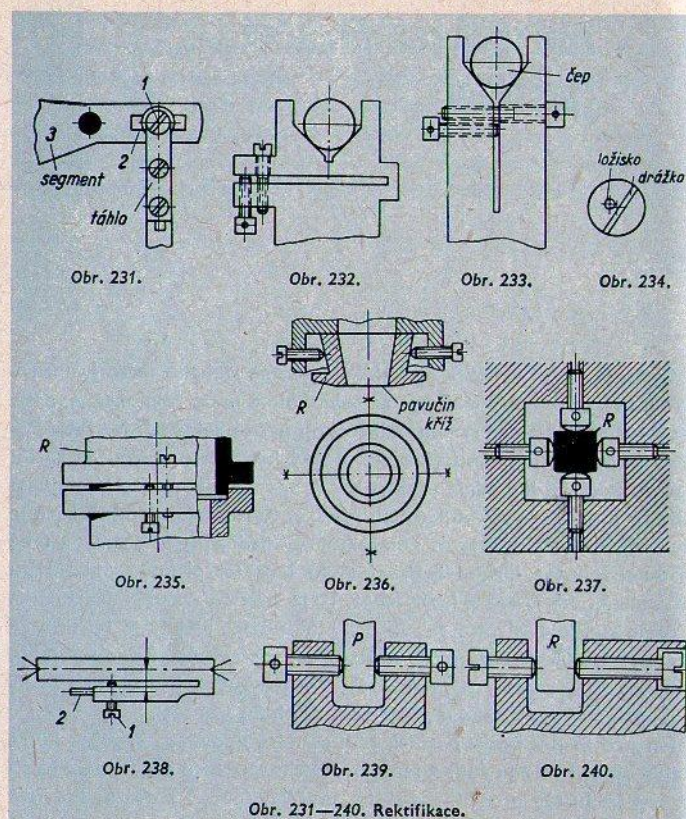
dvojkov působí tak, jako by se měnila délka táhla, rameno páky se prakticky nemění. V dálkovém rtuťovém teploměru na obr. 227 má ručka reagovat jen na dilataci rtuti v nádobce 3; dilatace rtuti ve spojovací trubičce je kompenzována druhou souběžnou trubičkou 4, spojenou s Bourdonovým pérem 2, jehož pohyby se pákovým převodem odečítají od pohybů Bourdonova péra 1. Tlakoměrné bubínky obyčejného aneroidu nejsou úplně vzduchoprázdné a mění se tlak zbylého plynu stačí k uspokojivé kompenzaci. U velkých přesných libel se délka bubliny značně mění s teplotou; to lze zamezit tím, že větší část prostoru libely se vyplní křemeninovou tyčkou. Přenos dlouhým táhlem nebude rušen dilatacemi, jestliže vložíme (doprostřed) páku jako na obr. 230.

Účinnost kompenzací není vždy uspokojivá. Vlivy teploty bývají složité a těžko počítatelné, někdy ani přesně nevíme, jak velkou chybu je třeba kompenzovat. Součásti stroje přijímají novou teplotu nesterjně rychle, proto hledíme, aby změny teploty byly pomalé (nejlepší je ovšem termostat). Rádi použijeme invaru nebo křemeniny; čím menší chybu kompenzujeme, tím méně vadí nedokonalost kompenzace (kombinace ocel-rtuť bývá nevýhodnější než invar-bronz).

9 Zařízení rektifikační (justážní)

Často je třeba vyhovět podmínkám geometrického nebo kvantitativního rázu: dvě osy mají být na sebe kolmé nebo rovnoběžné, páka má mít určitý poměr ramen, mikroskop určité zvětšení; je třeba do- držet určitou vzájemnou závislost, určitý kmitočet, převod na ručku upravit tak, aby její údaje souhlasily s předem zhotoveným číselníkem atd. To je úkolem rektifikace čili justáže. Každá taková rektifikace je více méně nutné zlo. Je to komplikace a snadná justáž znamená také snadnou dejustáž. Ideální by bylo provést stroj tak přesně a z materiálu tak stálého, aby justáž byla zbytečná. To je dnes do značné míry možné, k tomu směřuje vývoj a rektifikací silně ubylo. Někdy je rektifikace přece nevyhnutelná tam, kde nelze předem stanovit přesnou polohu, u unikátů (a pokusných předmětů) zhotovovaných bez pomoci přes- ných přípravků, ale také u přístrojů vrcholné přesnosti.

Jen pro hrubé účely postačí, je-li součást upevněna šrouby, které mají v děrách velkou vůli. A jen u hrubších přístrojů a v hrubém hodi- nářství se justáž provádí ohýbáním součástí (páček z drátu, kotvové vidličky aj.). Jinak používáme způsobů jemnějších a lépe ovladatelných, především šroubků, občas výstředníků nebo podložky z papíru či sta- niolu. Rektifikací může být posunutí, pootočení, malé ohnutí. Příklad hrubé rektifikace je detail převodu v manometru na obr. 231, kde lze seřídít délku táhla i rameno páčky. Na obrázcích 232 a 233 je výšková rektifikace ložisek starších teodolitů. Hloubku nějakého záběru lze seřídít, je-li ložisko vrtané výstředně v kótoučku, který je ztuha za- vrtán nebo lehce zanýtován v platině (obr. 234). Přírubový spoj na obr. 235 připouští nastavení polohy tím, že jsou tu tři tažné a tři tlačné šroubky; podobně lze nastavit součást drženou třemi šroubky a odtla- čovanou uprostřed šroubkem čtvrtým (nebo naopak). Na obrázku 236 je justáž prstenu (nesoucího záměrný obrazec v dalekohledu) čtyřmi tlačnými šroubky, které prsten zároveň přitlačují k rovinné dosedací ploše. Zásadně by stačily tři šroubky, čtyřem dáváme přednost proto, že lze rektifikovat systematicky (v jednom, pak v druhém směru);

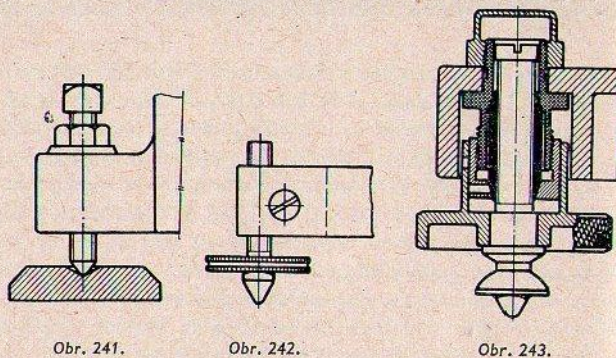


taková je též rektifikace konce vestavěné libely na obr. 237. Rameno převodové páčky lze trochu měnit ohýbáním podle obr. 238. Zpravidla se rektifikuje dvěma šroubky (málokdy matickami), které působí proti sobě a které lze utáhnout; méně spolehlivý je šroubek (matička), proti kterému působí pouhá pružina, dostatečný je však účinek velké váhy (regulace kyvadla na obr. 224, 225). Do rektifikací můžeme zařadit také dorazy jednou provždy nastavené, nebo nožní šrouby strojů, které se nepřenášejí, táhla, jejichž délku lze nastavit závitem, závažíčka ve tvaru matic (obr. 77) k úpravě nulové polohy vah nebo momentu setrvačnosti (setrvačky v lodním chronometru), regulační ručku v hodinkách, šroubek tlačící na membránu k malé úpravě prostoru pro kapalinu atd. Téma je skoro nevycerpitelné. Jemnost rektifikací má své meze. Šroubek se stoupáním 0,35 mm pootočením o pouhý 1° vyvolá posun o 1 μ .

případě jako na obr. 239 se odehne každá část se závitem o $0,5 \mu$ a rektifikovaná část R se pohne o $0,5 \mu$. Na obrázku 240 však uložení šroubků je nestejně tuhé, a proto posun pravého šroubku se na část R přenesl skoro úplně (levý šroubek se poddává), kdežto posun levého šroubku se přenesl jen z malé části. Z obou příkladů plyne, že pružné deformace obecně zjemňují rektifikaci, že je třeba opatrnosti při konečném utahování šroubků (přitažení jednoho z nich pohne součástí R), že jsou výhodné šroubky s dírkou pro kolík (vidíme, oč jsme potočili).

10 Zařízení ustavovací a mikrometrická

Často je třeba vyvodit malé, jemné nebo přesné pohyby; zacílit dalekohledem, zaostřit obraz, nastavovat souřadnice, dostat osu do svislice. Malé pohyby vyvozujeme nejčastěji šroubkem. Zde není třeba zvláštní přesnosti šroubu, spíše měkkého, „vláčného“ chodu, kterého lze dosáhnout vyhlazením šroubu a vhodným mazivem. Podle situace působí šroub (nebo matice) tahem nebo tlakem, ale vždy jednosměrně proti nějaké vratné pružině (někdy proti váze). Mnoho přístrojů je třeba přesně ustavit do svislé, resp. vodorovné polohy (podle libely), a proto je stavíme na tři nožní šrouby. Tyto šrouby se pro těžký stroj konstruují po strojnicku (obr. 241), pro lehčí stroje podle obr. 242 (noha stroje je rozříznuta a stažena šroubkem), pro stroje geodetické se dnes používá konstrukce kryté (obr. 243, vyčerněná matice je z obou stran střídavě prořezána, aby se dala sevřít). Konec šroubu obvykle spočívá na podkladné destičce, volně jako na obr. 241 nebo spojeně

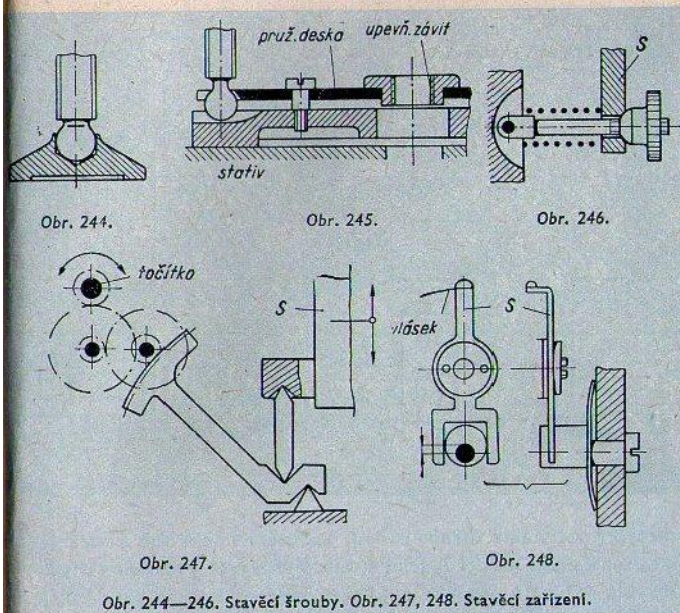


Obr. 241.

Obr. 242.

Obr. 243.

Obr. 241—243, Nožní šrouby.

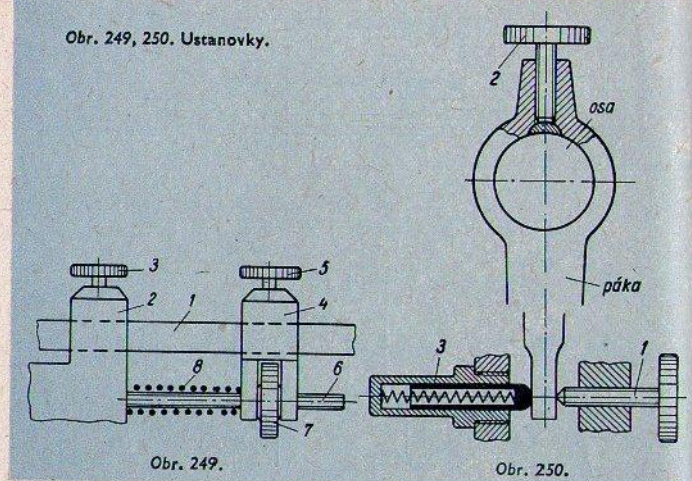


otáčivě se šroubem, jako na obr. 244. Vůle v nožních šroubech příliš ne-
vadí, je-li stroj dost těžký nebo přitlačovaný pružinou k podložce.
Šrouby dnešních teodolitů a nivelačních strojů spočívají trvale ve třech
radiálních drážkách podkladné desky, k níž jsou přitlačovány pružnou
deskou (obr. 245) a nesmějí se v závitu viklat; zde je běžné drahé pro-
vedení jako na obr. 243. Na obrázku 246 je součást S ustavována maticí
proti tlaku pružiny. Obrázek 247 znázorňuje jemné zaostřování mikro-
skopu; ozubeným převodem do pomala je natáčena páčka, na níž
vzpěrkou spočívají svislé sáně tubusu. Elektrické měřicí přístroje po-
třebují často opravit nulovou polohu; dělá se to výstředníkem (obr.
248) natácejícím páčku, k níž je pájením připojen jeden z vlásků. Po-
dobných zařízení je mnoho; někdy se použije spirálové vačky, pro
zvlášť jemné stavění necháme působit šroub přes nerovnoramennou
páku nebo přes klín (jako na obr. 126).

Ustanovky

Ustanovky se použije, je-li rozsah posuvného nebo úhlového pohybu
veliký; umožňuje rychlé hrubé nastavení rukou a pak jemné nastavení
šroubem. Na obrázku 249 je délková ustanovka planimetru; čtyřhran-

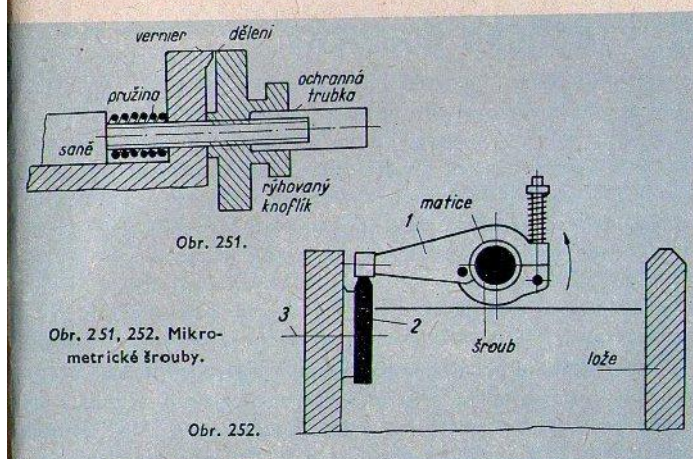
Obr. 249, 250. Ustanovky.



nou tyč 1 posuneme zhruba rukou, pak utáhneme šroub 5 a manipulujeme rýhovanou maticí 7, jejíž šroub 6 je zavrtán do rámu strojku 2. Obvyklá úhlová ustanovka úhломěrných strojů je na obr. 250. Je to páka, volně otáčivá na ose, dokud není blokována utažením šroubu 2; další jemný pohyb je možný stavěcím šroubem 1, proti němuž působí píst 3 vytlačovaný pružinou. Uspořádání může být i jiné, např. páka objímající pevné ložisko a stavěcí šroub na otáčivé části (alhidadě) nebo na páce stavěcí šroub i vratná pružina opírající se o zub na rámu. V moderním teodolitu s malými děleními kruhy vyjde rameno ustanovky příliš krátké a tu pohyb šroubu zmenšíme asi na třetinu vloženou páčkou. Jiná možnost je místo svěracího šroubu použít kluzné spojky, která nebrání hrubému nastavování, také lze páku nahradit kolem, do něhož zabírá šnek, anebo je kolo připevněné a šnek vysouvatelny ze záběru (jako v některých pilotovacích teodolitech a sextantech).

Mikrometrické šrouby

Mikrometrických šroubů používáme k přesným posunům a k měření. Takový šroub může konat šroubovitý pohyb jako v dílenském mikrometru, může se otáčet a posunovat sáně jako u strojů obráběcích a dělicích, nebo se otáčí jeho matice s děleným bubínkem (obr. 251). Požadavky na přesnost jsou vysoké (chyba obyčejného mikrometru bývá jen $2\ \mu$), výroba není snadná. Poměrně snadno se lze vyvarovat chyby cyklické (periodické) projevující se během každé otáčky, ale podobnou chybu lze snadno způsobit nepřesnými ložisky šroubu, nebo jeho ne-



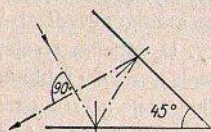
vhodným stykem se sáněmi. Skoro nevyhnutelná je však chyba postupná, která se projevuje v celém zdvihu sání. Pomáháme si dlouhou vačkou (šablonou) upevněnou na sáních, která podle chyby natáčí odčítací vernier. U automatických dělicích strojů je šablona pevná a vynucuje nějaký relativní pohyb mezi maticí a sáněmi. Matice tlačící před sebou stůl dělicího stroje (na obr. 252) sleduje ramenem 1 šablonu 2 a malé otáčivé pohyby matice opravují chyby. Šroub je ocelový, někdy zakalený a vždy pečlivě stabilizovaný. Při stoupání 0,5 — 2 mm je závit ostrý, při stoupání 5—6,35 mm lichoběžníkový, vyrobený přímo broušením nebo přebroušený. Vinou teplotních dilatací je prakticky nemožné přesně dodržet stoupání. U mikrometru to mnoho nevadí a lze to ostatně vyrovnat nakloněním odečítací rysky. U dělicího stroje, jehož šroub má velké stoupání, stačí trochu naklonit korekční šablonu (na obr. 252 kolem osy 3); šroub precizního dělicího stroje má stoupání 1—2 mm a k opravě stoupání je třeba druhého nakláněcího pravítka a ovšem i složitějšího korekčního ústrojí. Tato zařízení se též uplatní, má-li se udělat dělení barometru správné při 0°, nebo dělit skleněné měřítko (které má menší roztažnost než šroub) při teplotě jiné než 20 °C. Největší požadavky na šroub klade stroj k rytí ohybových mřížek; obvykle se ryje asi 600 čárek na 1 mm a chyby mají být menší než $\pm 0,02 \mu$. Takovou pravidelnost může šroubu dát jen pomalé zabrušování s dlouhou a podélně rozříznutou maticí. Vůle matice a v ložiskách mikrometrického šroubu se nedá úplně odstranit, proto platí staré pravidlo: sáněmi najíždět vždy v témž směru. U malých sáněk s nevelkým zdvihem můžeme vůle vymezit vratnou pružinou nebo závažím.

11 Optické pomůcky

Optických prvků používáme přirozeně v přístrojích, jejichž účel je ryze optický (fotografický přístroj, spektrometr), ale dnes také v přístrojích prvotně mechanických (teodolit, souřadnicový stroj), protože optikou bylo možno zvětšit přesnost a často i usnadnit manipulaci. Proto zde ve stručné zkratce uvedeme optické prvky a soustavy, s nimiž se v přístrojích neustále setkáváme.

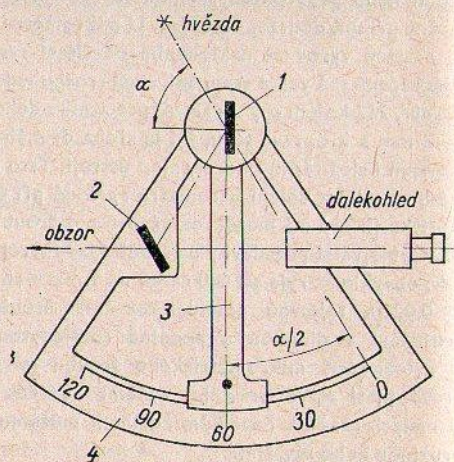
Zrcadla

Ze známého zákona o rovnosti úhlů dopadu a odrazu vyplývají tyto tři užitečné důsledky: otočí-li se zrcadlo o nějaký úhel, otočí se odražený paprsek o úhel dvojnásobný; obraz je k rovině zrcadla souměrný (odtud název „zrcadlový obraz“ na výkresech); obraz je dokonalý (zrcadlo je vlastně jediný optický přístroj zobrazující bez vad). Další



Obr. 253.

Obr. 253. Uhlová zrcadla.
Obr. 254. Sextant.



Obr. 254.

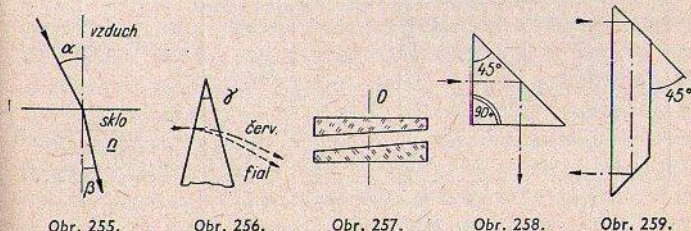
důsledky: zrcadlo nakloněné o 45° používané ve fotografii (zrcadlovky); dvě zrcadla svírající úhel 45° a odchyľující paprsek dvojným odrazem o 90° (obr. 253); dvě zrcadla svírající úhel 90° , v nichž se vidíme tak, jak nás vidí druhý. Prakticky rovinné a vodorovné zrcadlo je hladina kapaliny. Důležitou aplikací zrcadel je sextant, jímž se na moři měří výška hvězd a slunce (obr. 254); sextant se drží v ruce a alhidada se zrcadlem 1 se natočí tak, aby splynul obraz hvězdy a horizont. Cirkumzenitál Nušlův-Fričův, který dosahuje stejné přesnosti jako velké pasážní stroje, je v podstatě přesný sextant nastavený na výškový úhel 60° . Přesná zrcadla jsou skleněná, opticky dokonale broušená a postříbřená, lépe pohliníkovaná; upevní se tak, aby nevznikla pnutí a deformace. Kromě rovinných setkáme se se zrcadly kulovými a parabolickými v dalekohledech, zejména ve velkých hvězdářských reflektorech.

Hranoly

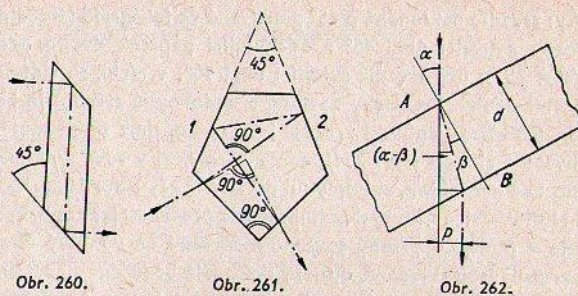
Světlo vstupující ze vzduchu do skla (obecně do prostředí opticky hustšího, charakterizovaného indexem lomu n) láme se podle Snellovy rovnice (obr. 255)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

Na věci se nic nezmění, jde-li světlo opačným směrem. Překročí-li se mezní úhel β , pro nějž $\sin \alpha = 1$, nedostanou se paprsky ze skla, ale úplně se odrazí. Pro obvyklá korunová skla ($n = 1,5$) je mezní úhel 41° , pro těžký flint 34° , pro vodu a plexisklo ($n = 1,33$) asi 49° . Hranol je omezen dvěma rovinami svírajícími lámavý úhel γ a dvojným lomem odchyľí paprsky, jak vidíme na obr. 256. Hranol neláme paprsky různých barev stejně; to se hodí, je-li třeba světlo rozložit ve spektrum (ve spektrální analýze). V přístrojích používáme většinou hranolů s velmi malým lámavým úhlem čili optických klínů; paprsek vstupující kolmo do hranolu se uchýlí zhruba o úhel $\gamma/2$. Někdy potřebujeme lámavost proměnnou, a tu použijeme dvou klínů navzájem pohyblivých; v diaspora-



Obr. 255—259. Hranoly.



Obr. 260.

Obr. 261.

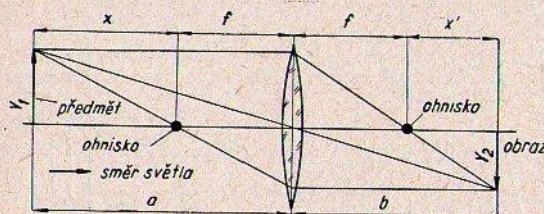
Obr. 262.

Obr. 260—262. Hranoly.

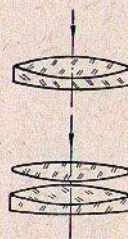
metru na obr. 257 se klíny otáčejí o stejné úhly proti sobě kolem osy O . Hranolů používáme nejčastěji k odrazu paprsků. Jejich tvary jsou rozmanité, ale světlo vždy vstupuje a po odrazu (odrazech) vystupuje kolmo na stěnu hranolu; tři jednoduché příklady jsou na obr. 258 až 260. Pentagonální hranol na obr. 261 působí stejně jako zrcadlo na obr. 253; zde však nenastává úplný odraz a plochy 1 a 2 jsou proto postříbřeny. — Důležitý je hranol s nulovým úhlem lomu, *planparalelní deska* (obr. 262). Úhly jsou stejné při vstupu i výstupu, paprsky nejsou odchýleny, ale jen stranou posunuty o hodnotu $\delta = 0,382 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \alpha$ (je-li index lomu skla 1,62). Planparalelní desky používáme, kdykoli je třeba posunout svazek paprsků o přesně známou hodnotu.

Čočky

Spojná čočka má pro nás základní význam, protože je schopna vytvořit reálný (skutečný) obraz, který lze zachytit na citlivou vrstvu, nebo zobrazit další čočkou. Konstrukce obrazu je patrná z obr. 263. Vzdálenosti předmětu a jeho obrazu od ohniskových rovin jsou vázány vztahem $x \cdot x' = -f^2$, poměr jejich velikosti — zvětšení — je x'/f nebo f/x . Jednoduchých spojek (optických) ovšem nepoužíváme, nýbrž spoj-

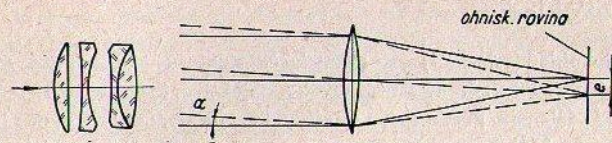


Obr. 263.



Obr. 264.

Obr. 263, 264. Čočky.



Obr. 265.

Obr. 266.

Obr. 265, 266. Spojné systémy.

ných soustav (obr. 264, 265) složených nejméně ze dvou, někdy i z deseti čoček, stmelných i volných; tím se více nebo méně (podle nároků) omezují vady jednoduché spojky. Navenek se taková soustava jeví jako dokonalá spojka, má svá ohniska a ohniskovou délku a platí pro ni hořejší vztahy. Čočka rozptylná (rozptylka) není sama schopna vytvořit reálný obraz, ale je nezbytná jako součást čočkových systémů a k některým speciálním účelům (viz obr. 272). Malé čočky se upevňují lehkým přehybem, větší šroubením, veliké čočky vždy pružně (aby nevznikla pnutí, která mohou čočku opticky znehodnotit). Někdy volíme montáž takovou, která připouští rektifikaci malými axiálními posuny.

Lidské oko

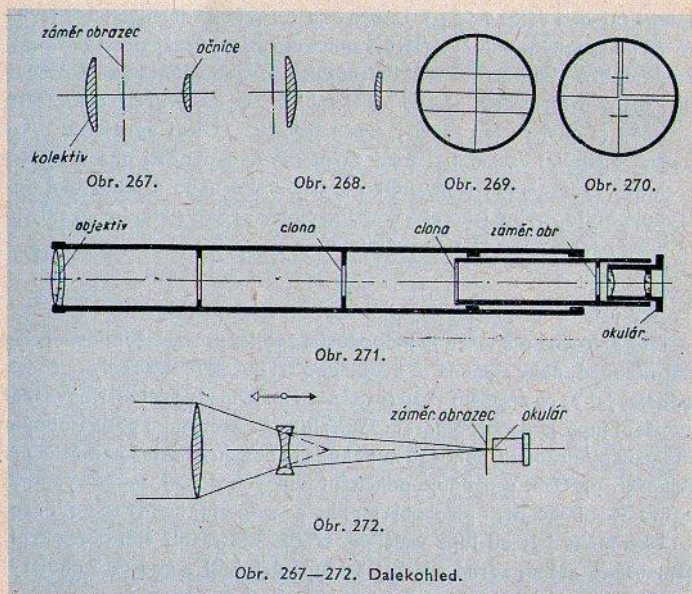
Oko bývá často posledním členem optického systému, proto nás zajímají jeho schopnosti. Oko má ohromné zorné pole, ale ostře vidí jen v úhlu $1-1,5^\circ$. Má nestejnou citlivost k barvám, největší k žlutozelené (vlnová délka $0,55 \mu$). Dobré oko rozliší od sebe dva body jevící se mu pod zorným úhlem $1'$ (asi $0,1 \text{ mm}$ v normální vzdálenosti 250 mm), méně dobré oko potřebuje $2'$ i více. Oko dovede velmi přesně posoudit, zda dvě čárky leží přesně proti sobě (schopnost vernierová), ještě přesněji (s chybou jen asi $5''$), zda nějaká čárka leží uprostřed mezi dvěma blízkými čárkami. Této i vernierové schopnosti oka v měřicí technice vydatně využíváme. Oko krátkozraké nebo dalekozraké potřebuje brýle, stejně jako oko staršího člověka; oko s vhodnými skly je opticky rovnocenné oku normálnímu.

Lupa

Tato užitečná pomůcka je jednoduchá spojka pro zvětšení nanejvýše pětinasobné, nebo slepená ze dvou nebo tří čoček (nebo ze dvou čoček oddělených) pro zvětšení až 20 (pro speciální případy i větší). Konvenční zvětšení lupy je dáno poměrem $250/f$; lupa se zvětšením pětinasobným má tedy ohniskovou délku 50 mm . Lupa je nenahraditelná pomůcka při jemných pracích, usnadňuje odečítání jemných dělení, může výhodně nahradit snímací hrot planimetru nebo pantografu; někdy se hodí i to, že oko může být od lupy vzdáleno třebaš metr, aniž tím obraz trpí, (zmenší se ovšem zorné pole). Jako lupa účinkují v podstatě okuláry.

Dalekohled

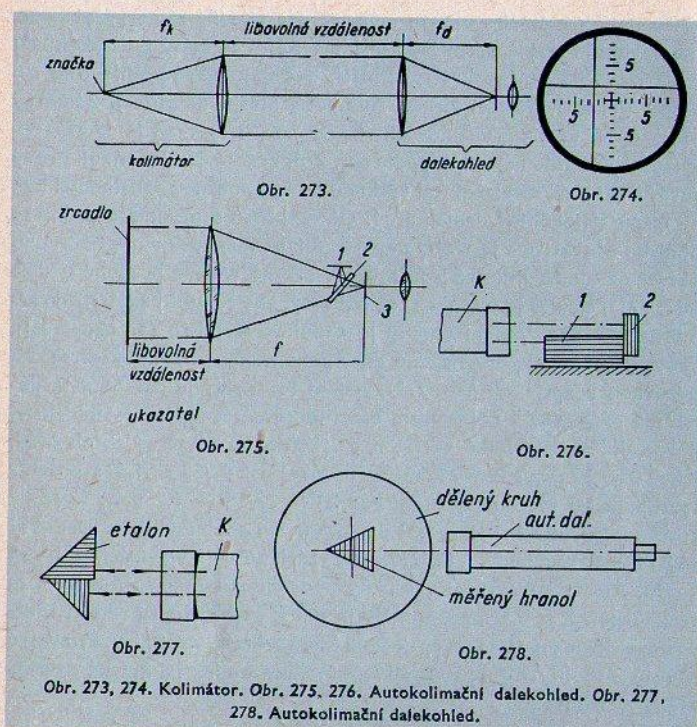
Dalekohled (teleskop) astronomický čili Keplerův je kombinace dvou spojných soustav: dlouhoohniskového objektivu, který vytvoří reálný obraz vzdáleného předmětu, a okuláru, kterým obraz pozorujeme jako lupou (obr. 271). Rovnoběžný svazek paprsků, přicházející ze vzdáleného bodu předmětu, se zobrazí v ohniskové rovině opět jako bod, jehož vzdálenost od osy je $e = f \cdot \tan \alpha \approx f \cdot \alpha$ (obr. 266); objektiv s $f = 750$ mm zobrazí Měsíc (zorný úhel $30'$) jako kotouček průměru $750 \cdot 0,00873 = 6,6$ mm. Zvětšení (úhlové) je dáno poměrem ohniskových délek objektivu a okuláru $Z = F/f$. Vstupující svazek paprsků, který měl průměr objektivu D , vychází z okuláru s průměrem jen D/Z . Zorný úhel je malý, zhruba ve stupních $30/Z$ až $80/Z$. Předmět vidíme převrácený; většinou to nevadí, ostatně lze obraz vzpřímit vhodným systémem odrazných hranolů (triedry). Jako objektiv stačí většinou achromatická čočka, pro vysoké nároky se použije tří čoček. Okulár je vždy složený. Pro měřicí účely vystačíme s „negativním“ okulárem Huygensovým (obr. 267), nepohodlným ovšem tím, že reálný obraz je mezi čočkami; proto dnes dáváme přednost „pozitivnímu“ okuláru Ramsdenovu (obr. 268) nebo jeho modifikaci, pro speciální nároky i systémům složitějším. Cestu paprsků je možno libovolně zlomit vložím zrcadel nebo odrazných hranolů.



Do roviny reálného obrazu můžeme dát vhodný záměrný obrazec, který vidíme stejně ostře jako předmět. Tím se stává z dalekohledu zaměřovací zařízení stokrát přesnější, než bylo staré průhledítko čili dioptr (jehož nejhrubší formou je hledí a muška na pušce). Záměrný obraz býval kříž z pavučinových vláken (*obr. 269*), dnes je to obrazec vyleptaný na skle nejčastěji podle *obr. 270*; krátké čárky definují určitý zorný úhel a na nivelační lati vytknou délku úměrnou vzdálenosti latě — máme dalekohled dálkoměrný. Obraz bližšího předmětu padne za ohnisko objektivu a je třeba zaostřit (fokusovat) posunem záměrného obrazce a okuláru, které jsou proto v přesně vedené posuvné trubce (*obr. 271*); okulár je v trubce též posuvný, aby se mohl zaostřit na záměrný obrazec. Vedení trubky je choulostivé místo (prach, voda!), proto u geodetických přístrojů dnes používáme vnitřního zaostřování posuvnou rozptylkou (*obr. 272*); vedení rozptylky je chráněné, a poněvadž rozptylka s objektivem tvoří fotografům známý teleobjektiv, máme též velmi vítané zkrácení dalekohledu. Záměrný dalekohled, jehož $D = 30$ mm a $Z = 25$, má zorný úhel asi $40/25 = 1,6^\circ$ a průměr vystupujícího svazku (výstupní pupila) je $30/25 = 1,2$ mm; to je již trochu málo, lépe je néjt pod 1,5 mm. Vlivem ohybu světla může dobrý objektiv rozlišit body, jejichž úhlová vzdálenost ve vteřinách je aspoň $150/D$. Aby oko rozeznalo všechny podrobnosti reálného obrazu, je třeba aspoň $Z = 0,5D$, pohodlnější je mít $Z = 1$ až $1,5 D$; větším zvětšením se již nic nezíská, naopak silně klesá světelnost obrazu. Pro velké přesné teodolity se dnes zavádějí velmi výkonné a přitom krátké dalekohledy zrcadlové.

Kolimátor

Kolimátor je objektiv, v jehož ohniskové rovině je vhodně osvětlený obrazec (značka, stupnice, štěrbina). Podle *obr. 266* se tento obrazec zobrazí v nekonečnu a totéž se v opačném směru stane v dalekohledu postaveném do cesty paprskům (*obr. 273*); vznikne tak reálný obraz značky, zvětšený (zmenšený) v poměru ohniskových délek kolimátoru a dalekohledu. Velikost obrazu lze snadno změřit, a tak je možno oceňovaným kolimátorem měřit ohniskové délky spojených systémů. Protože se obraz přenáší rovnoběžnými svazky paprsků, nezáleží na vzdálenosti obou přístrojů. Nakloní-li se maličko kolimátor, obraz v dalekohledu se posune (*obr. 266*). Tím je možno kontrolovat přímocílost dlouhého vedení nebo souosost dlouhého soustrojí. V kolimátoru, který pojíždí po vedení, jsou zkřížené stupnice, v dalekohledu pak záměrný kříž, podle něhož se odečítá (*obr. 274*). Jsou-li ohniskové délky 400 mm, způsobí výchylka $4''$ posun obrazu o 8μ , a ten je silným okulárem dobře vidět. Kolimátor nahrazuje předmět nekonečně vzdá-



lený a je proto vhodný pro různé justáže a jako součást některých přístrojů (např. goniometrů, spektrometrů).

Dalekohled může sám sobě dělat kolimátor, jestliže vhodně osvětlíme jeho záměrný obrazec; ten je objektivem promítnut do nekonečna, ale rovinné zrcadlo odrazí paprsky zpět a obrazec se vrátí do ohniskové roviny. V příkladě na obr. 275 je křížová stupnice 1 umístěna po straně a objektivem zobrazena přes poloprůhledné zrcadlo 2, její vrácený obraz padne do roviny záměrného kříže 3. Takový autokolimační dalekohled je zařízení ještě přesnější, než bylo předešlé (zrcadlo úhlovou výchytku zdvojnásobí!), a mnohem univerzálnější. Místo jednoho zrcadla mohou být dvě menší v různých vzdálenostech a jejich nerovnoběžnost se projeví zdvojením vráceného obrazu; tak se kontroluje rovnoběžnost základní měrky rovnoběžné na obr. 276 a pravoúhlost hranolu na obr. 277 (místo etalonového hranolu lze použít též dvou autokolimátorů nastavených v přesně pravém úhlu). Nerovnost plochy se projeví rozmazaným obrazem. V autokolimačním dalekohledu je přesně vidět, zda zrcadlicí plocha byla nastavena kolmo na jeho osu. V goniometru na

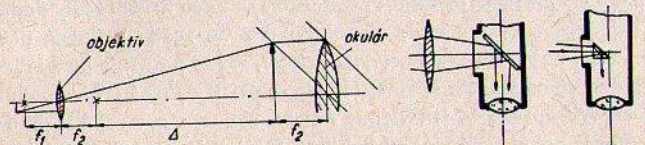
obr. 278 takto nastavíme jednu, pak druhou plochu měřeného hranolu; rozdíl odečtených úhlů je doplněk úhlu sevřeného oběma plochami.

Mikroskop

Mikroskop se skládá ze dvou spojných soustav; krátkoohniskového objektivu, který vytvoří zvětšený obraz (obr. 279), a okuláru, kterým se obraz pozoruje a znovu zvětšuje. Celkové zvětšení je dáno součinem ze zvětšení obou složek čili

$$Z = \frac{\Delta}{f_1} \cdot \frac{250}{f_2}$$

Pro malé zvětšení v měřicí technice (20 až 60, nejvýše 100) stačí většinou jako objektiv pouhá achromatická čočka; okulár je zpravidla pozitivní. Pro veliká zvětšení v přírodních vědách a v metalografii je třeba objektivů složitějších i speciálních okulárů. V okuláru je nějaký záměrný obrazec, ryska, značka, jemná stupnice. Rozlišovací mez, v podstatě opět závislá na otvoru objektivu, nás zpravidla nezajímá, protože jde jen o posouzení koincidence, ne o rozlišení jemných struktur. Dráhu paprsků můžeme zlomit odraznými hranoly. To se děje často; mikroskop nemívá vlastní tubus, ale jeho optický systém bývá zabudován do měřicího stroje a dráha světla se volí podle situace a pro pohodlí pozorovatele. Povytáhneme-li okulár, vytvoří druhý reálný obraz — máme mikroskop projekční, kterého často používáme místo ostřejšího, ale méně pohodlného mikroskopu vizuálního (pro malá zvětšení v projektorech místo mikroskopu často stačí pouhý krátkoohniskový



Obr. 279.

Obr. 280.

Obr. 281.

Obr. 279—281. Mikroskop.

objektiv). Osvětlení průhledných dělení na skle nečiní obtíže a použitím malé nízkovoltové žárovky jsme nezávislí na denním světle. Zrcadlíci dělení se osvětlí vhodně usměrněným světlem. Předměty neprůhledné vyžadují při velkých zvětšeních vertikální iluminátor. Světlo se přivede ze strany a odrazí se do objektivu šikmou skleněnou deskou (obr. 280) nebo malým hranolem (obr. 281). Pro malá zvětšení (řádu 100) je příhodný dvojitý mikroskop (Greenough), dva sbíhající se tubusy se vzpřimujícími hranoly; obraz je přímý a pěkně plastický, přístroj se výborně hodí pro nejjemnější práce, na něž nestačí lupa.

12 Olovnice a libely

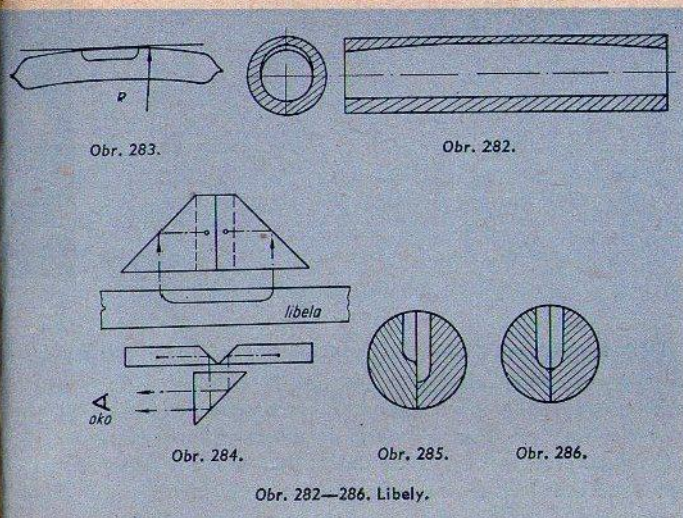
Olovnici a libelou stanovíme svislou a vodorovnou polohu; na tom závisí všechna měření v geodezii a mnoho měření astronomických i jiných. Pro orientaci uvedeme, že

$$\text{arc } 1' = 0,000291 = 1/3438 \text{ čili } 0,291 \text{ mm na } 1 \text{ m}$$

$$\text{arc } 1'' = 0,00000485 = 1/206270 \text{ čili } 0,00485 \text{ mm/m}$$

Olovnici lze dosáhnout přesnosti až $20''$. Pokud posuzujeme svislý směr podle šňůry, je lhostejné, co je na šňůře zavěšeno. Má-li se olovnici promítat (např. „centrovat“ teodolit nad bodem, vyměřovat velké montážní přípravky v továrně na letadla), musí být závaží přesně osoustružené a dole zahrocené. Olovnice je nepohodlná věčným kýváním; pohodlnější je olovnice optická, lomený dalekohled dávající svislou vizuru.

Mnohem přesnější je *libela*. Původně to byla a pro hrubší účely dodnes je skleněná trubka ohnutá do oblouku a ne zcela naplněná líhem (obr. 282). Bublina zaujme nejvyšší polohu, což se posuzuje podle čárek vyleptaných na trubce. Přesnější libely se dělají z přímé trubky, uvnitř trnem vybroušené — jak vidíme na obr. 283 — a zatavené. Náplň je líh, éteraj. pohyblivé kapaliny, bublinu tvoří jejich páry. Citlivost libely, vyjádřená úhlovou výchylkou pro posun bubliny o 2 mm, je v sekundách 412/R, u hrubých libel bývá 60—120'', v geodezii až 5'', v astronomii až 1''. Přesné libely jsou drahé ve výrobě, velkých rozměrů, bublina se pohybuje zdoluhavě. Proto dnes dáváme přednost libelám méně citlivým a výchylku pozorujeme odraznými hranoly (obr. 284); v zorném poli se konce bubliny pohybují proti sobě (obr. 285), urovnání se projeví koincencí obrazů (obr. 286), kterou lze přesně posoudit a dosáhnout tak přesnosti až 0,1'. Libela je často zamontována v měřicích strojích, a to vždy tak, aby byla možná rektifikace. Má-li se horizontovat ve dvou směrech, použije se dvou malých, k sobě kolmých libel, nebo hrubší a méně pohodlné libely kulové (krabicové), válcové nádoby s vyklenutým skleněným stropem. Jako samostatný přístroj je libela



zatmelena do litinového pouzdra vespod obrobeného nebo do univerzálnějšího čtvercového rámu obrobeného na všech stranách. Libelu kontrolujeme tím, že ji urovnáme náklonem podložky a pak otočíme o 180° ; rektifikací odstraníme polovinu event. výchyly.

13 Dělení

Dělení používáme k odečítání hodnot nebo k nastavení určité polohy. Může to být dělení absolutní (mm, stupně), předem zhotovené na dělicím stroji, nebo dělení empirické, které se narýsuje nebo namaluje po ocejchování přístroje. Absolutní dělení, obvykle rovnoměrné, může mít velkou přesnost; empirické dělení (říká se též stupnice, škála) — ručně zhotovené a často nerovnoměrné — má ovšem přesnost nesrovnatelně menší, která je však v souladu s omezenou přesností měřicího ústrojí. Podkladem stupnic je papír (často nalepený na plech), plech, sklo; hotovení je pracné, proto se pro hrubší přístroje hotoví stupnice někdy předem (často jen tiskem) a justáží se uvede v soulad s údaji přístroje. Přesná dělení jsou ryta nebo vyleptána do kovu (matně niklovaná mosaz, pakfong, stříbrný pásek, pochromovaná ocel) nebo vyleptána do skla (ryje se do ochranné vrstvy vosku nebo laku, sklo se pak leptá fluorovodíkem). Nejpresnější měřítka jsou diamantem ryta do feroniklu uvedeného na str. 13 nebo vyleptána do speciálního skla téže roztažnosti. Přesná dělení úhlová se dříve ryla do zapuštěného stříbrného pásku. Dnes dáváme přednost dělením vyleptaným do skla, poněvadž se dobře čtou a dají se nejpresněji zhotovit (rytí do vosku je lehoučká, a tím i přesná práce). Skleněné dělení je buď průhledné, nebo je postříbřené a odečítá se mikroskopem v odrazu; oba způsoby jsou rovnocenné a volba se řídí danou situací. Slibnou budoucnost mají skleněné kruhy zhotovené fotograficky okopírováním přesného kruhu mateřského. Pro nenáročná dělení je vhodný bílý celuloid (bubínek planimetru) a průhledné plexisklo (rýsovací měřítka).

Dělení je charakterizováno intervalem, tj. vzdáleností čárek a její hodnotou. Odečítá-li se pouhým okem, je interval 0,6 mm na planimetru nejnižší mez, lépe je nejít pod 1 mm. Optické odečítání dává volnost větší, s intervalem lze jít pod 0,1 mm. Pro přehlednost se čárky odlišují délkou a tloušťkou, na přesných děleních jen délkou; nepoužíváme čárek dlouhých, ale krátkých, ne delších než interval (obr. 287). Vzory dělení a očíslování volíme přehledné, jak ukazují příklady na



obr. 288, na rozdíl od obr. 289. Tloušťka čárek je několik milimetrů u přístrojů provozních, 0,1 až 0,2 mm na běžných děleních, kolem 0,01 mm na děleních přesných.

Dělicí stroje

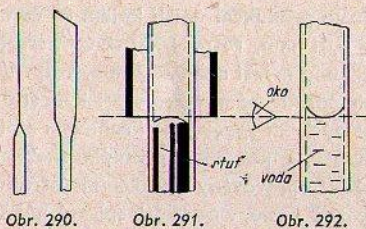
Dělicí stroje, dnes většinou automatické, ryjí dělení délková (lineární) nebo úhlová (kruhová). Stroje produkční dělají kolem 80 čárek za minutu s chybou v mezích $\pm 0,01$ mm, resp. ± 30 až $60''$, stroje precizní jen asi 10 čárek, ale s chybou menší než 0,002 mm, resp. $1''$. Měřítka spočívá na dlouhém stole posouvaném mikrometrickým šroubem a západkovým ústrojím; dělený kruh spočívá na kruhovém stole (platformě) ozubeném na obvodu a je pootáčen přesným šnekem. Chyby šroubu nebo ozubení bývají opravovány korekčním ústrojím (korektorem; viz str. 71). Čárky dělá rydlo, v podstatě špičatý nůž se záporným úhlem čela, ocelový pro dělení hrubší a skleněná, jinak diamantový. Je upnut ve výkyvném držáku, aby doléhal stálým tlakem, a je pevně veden pákovým nebo kluzným vedením. Délku čárek určuje samočinně revolverový doraz. Dělení se číslují jednopákovým pantografem (str. 44). Přesné dělicí stroje jsou vrcholné výtvořiny přesné mechaniky a vyžadují nejpečlivější obsluhu.

Odečítací pomůcky

Přesnost čtení má vyhovovat přesnosti přístroje. S jednoduchými prostředky vystačíme na dělení empirická, protože ukazující přístroje mají přesnost nejvýše 0,1%, většinou 0,5 až 1%, někdy ještě menší. Nutno je dát pozor na chybu paralakční, která může vzniknout tím, že odečítací značka („index“) je nad dělením, a to bývá často. Proto mají lepší elektrické měřicí přístroje ručku nožovou (obr. 290), která vede oko, nebo mají ještě zrcadlo vedle stupnice. Je-li stupnice pohyb-

livá a index pevný, lze směr pohledu přesně určit clonou s otvorem, ještě lépe slabou zacloněnou lupou, nebo čteme podle rysky ležící v rovině dělení. V manometrech měříme k menisku kapaliny (obr. 291 a 292) a paralaxu odstraníme tím, že hledíme přes „vizír“ (obr. 291), který je posuvný a spojený s vernierem; tak lze v barometru číst na 0,1 mm. V laboratoři meniskus zaměříme katetometrem, vodorovným dalekohledem posuvným po svislém měřítku.

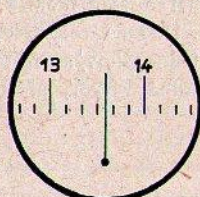
Přesná dělení vyžadují pomůcky dokonalejší. Dříve to všeobecně býval známý vernier (nonius), dodnes běžný v mnohých dílenských měřidlech; pomůcka jednoduchá a laciná, ale omezená tím, že posouzení koincidence (shody čárek) je ztíženo paralaxou, je-li vernier na šikmo seříznutém jazyku, nebo nevyhnutelnou spárou, je-li v téže rovině s dělením. Číst lze nejvýše na 0,01 mm a tomu na kruhu $\varnothing 100$ mm přísluší úhel $40''$. Proto dnes převážně používáme *odečítacích mikroskopů*. Nejjednodušší z nich, mikroskop čárkový čili indexový, má v okuláru rysku, podle níž čteme a odhadujeme desetiny intervalu stejně snadno a bezpečně jako na počítacím pravítku; dělení ovšem musí být husté, např. stupeň rozdělený na šest dílků, abychom mohli číst minuty (obr. 293;



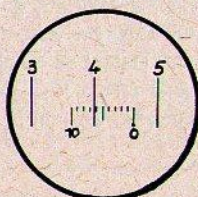
Obr. 290.

Obr. 291.

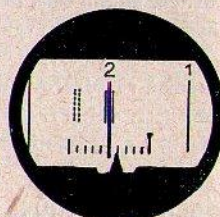
Obr. 292.



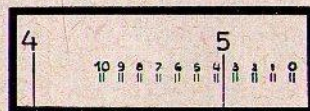
Obr. 293.



Obr. 294.

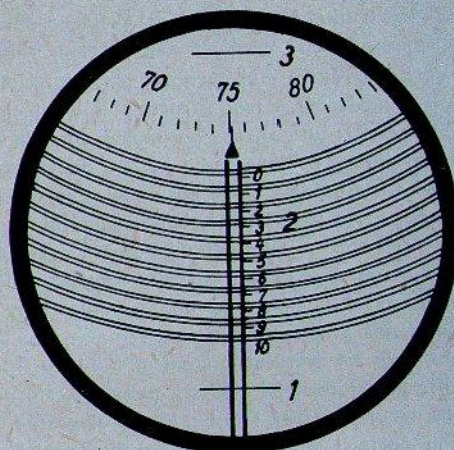


Obr. 295.

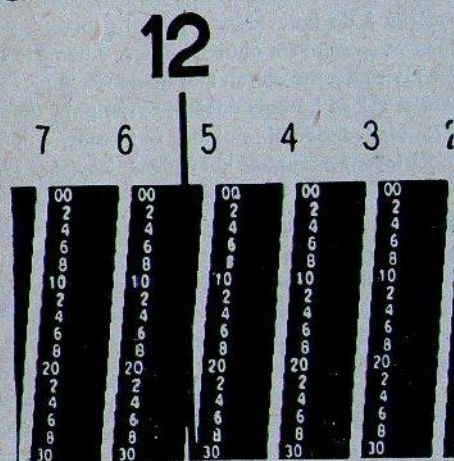


Obr. 296.

Obr. 290—292. Odečítání bez paralaktní chyby. Obr. 293—296. Odečítací mikroskopy.



Obr. 297, 298. Odešítací
mikroskop.



čtení je $13^{\circ} 36'$). O mnoho přesnější není, ale s řidším (a tedy lacinějším) dělením vystačí mikroskop stupnicový; v okuláru je stupnička dlouhá jako interval dělení, jak znázorňuje příklad na obr. 294 (čtení je 4,63 mm). Stupeň lze rozdělit na 6 dílků a stupničky dát 10 dílků; lepší (a pro nekvalifikované síly vhodnější) je dělení jen po stupních a stupnička se 60 dílky (lze odhadovat půlky minut). Přesnost stupnicového mikro-

skopu je omezena tím, že jako indexy fungují rysy základního dělení, resp. jejich silně (50— až 60krát) zvětšené obrazy, které jsou ovšem méně jasné a méně ostré než málo zvětšený obraz stupničky.

Větším nárokům může vyhovět jen nejpřesnější (a nejstarší) mikroskop koincidenční. V jeho zorném poli je koincidenční značka ve tvaru dvojité čárky; tuto značku posuneme do koincidence (str. 75) s nejbližším dílkem dělení a délku posunu odečteme. Značka je na sklíčku zasazeném do sáněk, které posunuje mikrometrický šroub. Je-li zvětšení objektivu pětinasobné, bude reálný obraz milimetrového intervalu měřit 5 mm, a tuto délku lze změřit deseti otáčkami šroubu stoupání 0,5 mm. Celé otáčky obyčejně udává stupnička v zorném poli. Na obrázku 295 byla značka posunuta z nulové (vytečkové) polohy do koincidence a na stupničce, která se pohybuje se značkou, vidíme, že čtení bude 2,4 zvětšené o čtení na bubínku šroubu. Tento šroubový okulár je nejpřesnější odčítací pomůcka, ale nepohodlný tím, že je třeba několika otáček šroubu. Lze to elegantně napravit tak, že sánky nesou počítací stupničku s deseti dvojitými čárkami, které zároveň fungují jako koincidenční značky. Na obrázku 296 je zřejmé, že čtení bude něco přes 5,3, zbývající zlomek změříme tím, že malým posuvem doleva přivedeme dvoučárku 3 do koincidence. Jinými prostředky je tentýž princip uskutečněn ve spirálovém okuláru Zeiss, v němž je na skleněném kotouči deset závitů dvojité spirály; koincidence se přivodí natočením kotouče, které se též na kotouči odečte; zorné pole vidíme na obr. 297, čtení je 2,275. Nejjednodušší je okulár fy Hauser, v němž je prostě seřazeno 500 očíslovaných značek koincidenčních (obr. 298; bez jakékoli manipulace čteme rovnou 12,528 mm).

Koincidenční s pevnou značkou lze také přivodit tím, že se planparalelní destičkou (str. 74) posune obraz dělení; posun se odečte v okuláru, kde je též zobrazeno dělení malého kruhu spojeného s ústrojím, které naklání desku. Tento „optický mikrometr“ je dnes ve většině moderních teodolitů. Je jasné, že všech popsaných způsobů lze použít pro měření jak délková, tak úhlová. Justáž je jednoduchá u mikroskopu indexového, kde stačí, jsou-li obrazy ostré. U dalších mikroskopů je třeba najistovat také zvětšení, aby vyhovovalo délce stupničky, stoupání šroubu či spirály nebo konstantně optickému mikrometru. Při odečítání dělených kruhů se nepříjemně uplatňuje výstřednost (excentricita), zaviněná buď chybným středěním kruhu na dělicím stroji, nebo montáží. Na kruhu průměru D způsobí výstřednost e chybu, jejíž největší hodnota je (v úhlových vteřinách) $206\,270e/D$; výstřednost 0,01 mm kruhu \varnothing 100 mm znamená tedy chybu plných $41''$. Průběh této chyby je během otáčky sinusový, a proto ji můžeme vyloučit tím, že odečítáme na dvou protilehlých místech kruhu (dvěma verniery nebo dvěma mikroskopy). U přesných úhloměrných strojů

se tak odedávna dělá, ale Wild zavedl ještě něco nového. Především svedl čtení obou kruhů do jediného okuláru vedle ďalekohledu a dnes se zaměřuje i čte z jednoho místa. Za druhé zobrazil vhodným optickým systémem dvě protilehlá místa dělení proti sobě nebo vedle sebe; pozorovatel přivodí koincidenci a přitom již zároveň vyloučí vliv výstřednosti. Systémy jsou dosti složité a náročné na justáž, ale práce je usnadněna a zrychlena; moderní malý teodolit dosahuje přesnosti starých strojů velikých a těžkých. Obvykle je možno odhadovat ještě desetiny úhlové vteřiny, ale je třeba uvážit, že chyba v nastavení koincidence je asi $0,5''$, a že kruh sám mívá chyby přes $1''$. Desetina úhlové vteřiny má smysl jen jako průměr z většího počtu měření; přitom mírníme vliv chyb dělení tím, že před každým měřením pootočíme kruhem, a tak soustavně „pročešeme“ jeho dělení.

14 Zařízení indikační a zapisovací

Zvětšování malých pohybů

Často je třeba zvětšit nějaký malý pohyb, zvětšit a na ručku převést deformaci měřicí pružiny, měřit deformace vyšetřované konstrukce, zvětšit pohyb tykadla sledujícího malé délkové rozdíly nebo změny. Úloha je řešitelná nejrůznějšími způsoby: mechanickými, optickými, elektrickými a jejich kombinacemi.

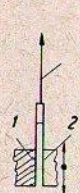
Mechanický prostředek je silně nerovnoramenná páka, kterou lze dosáhnout zvětšení 100, použitím dvou pák za sebou i přes 1000 (obr. 299, Huggenbergerův tenzometr). Poslední páka převodu se dá vytvořit jako segment, který otáčí pastorkem s ručkou; to je obvyklý převod v ručkových měřicích přístrojích (obr. 212). Pohyb je možno zvětšit také jen ozubenými převody (jak je tomu ve známých dílenských číselníkových úchylkoměrech — „indikátorech“), dokonce i jen pouhými pružnými pásky: dvěma pásky podle obr. 300, kterými lze dosáhnout zvětšení 300, nebo ještě citlivějším páskem dvojmo zkrouceným (obr. 303, detail mikrokátoru). Zvětšující převod třetí je tenký váleček nesoucí ručku a sevřený (obr. 301). *Hydrostatické* zařízení je membrána uzavírající kapalinu, která se pohybuje v tenké svislé trubce, a ovšem i libela (str. 80), která je velmi citlivým ukazovatelem, a je-li ocejchována, i měřidlem malých úhlových pohybů (malé posuny lze vždy převést na pootočení, obr. 302). Ze systémů výtokových je důležité měřidlo „Solex“, obr. 304; vzduch přiváděný v nadbytku zčásti uniká trubicí 1, tím je udržován na tlaku H a přes škrticí trysku 3 veden do výtokové trysky 4; nepatrné pohyby škrticí desky 5 vyvolávají 1000 — až 60 000krát větší změny tlaku h . Pro regulační techniku jsou důležité náporové systémy různé konstrukce, ale společného principu: Paprsek vzduchu nebo oleje, tryskající proti náporové trubce, vyvodí v ní náporový tlak, který značně poklesne, jestliže nějakou překážkou (clonou) paprsek odchýlíme, zastíníme, zploštíme nebo roztříštíme.

Všechny mechanické systémy vyžadují jistou přestavující sílu a mají

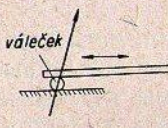
jisté tření. Síla, která se akumuluje (např. protitlak vratné pružinky), mnoho nevadí (není-li ovšem přílišná), protože její vliv je zahrnut v ocejchování přístroje. Ale přesnost je vždy zmenšena třením; jde o to, aby práce spotřebovaná třením byla malá proti práci akumulované měřicí pružinou (to ukáže výpočet).



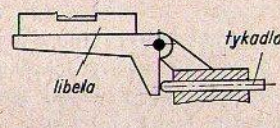
Obr. 299.



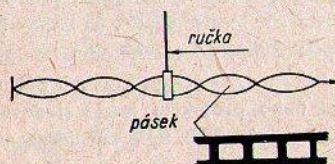
Obr. 300.



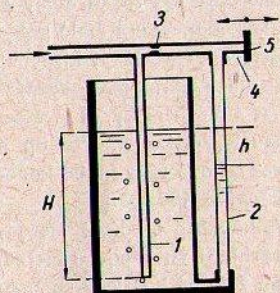
Obr. 301.



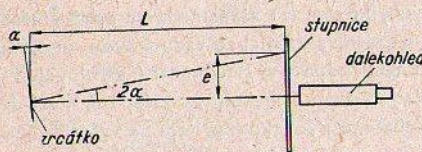
Obr. 302.



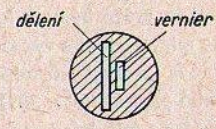
Obr. 303.



Obr. 304.



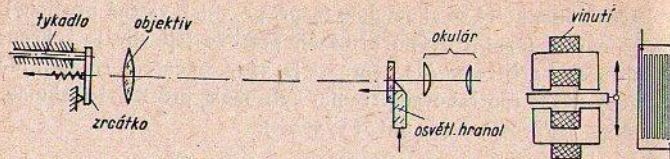
Obr. 305.



Obr. 306.

Obr. 299—304. Zvětšování pohybů.
Obr. 305, 306. Optické zvětšování pohybů.

„Bezsilové“ mohou být metody optické. V první řadě je to stará metoda zrcátková, jasná z obr. 305; místo dalekohledu se u zrcátkových galvanometrů používá projekční lampy, která na stupnici promítá světlý kroužek přetážený černou čárkou. Máme tu ekvivalent nehmotné ručky dlouhé $2L$; v dobrém dalekohledu lze číst na $0,1$ mm, což při



Obr. 307.

Obr. 308, Obr. 309.

Obr. 307—309. Optické a elektrické zvětšování.

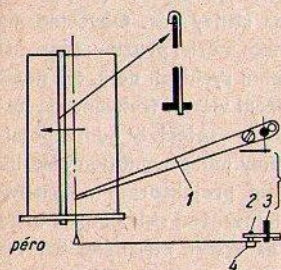
$L = 1,5$ m odpovídá úhlu $7''$. Měřit můžeme každou veličinu, pokud se dá převést na otáčivý pohyb zrcátka. Méně univerzální, ale přesnější a kompaktnější je spojení zrcátka s autokolimačním dalekohledem. Příkladem budiž optimetr na obr. 306, 307; v ohniskové rovině je deska s jemným dělením (osvětleným hranolem) a vedle vernier. Zde máme optickou ručku délky $2 F$, v praxi 400 až 800, ale odečítat lze na 0,01 mm. Velmi malé pohyby a délkové rozdíly lze zjistit pomocí interference světla; příkladem je Köstersův interferometr na kontrolu základních měrek rovnoběžných. Optické způsoby lze výhodně kombinovat s mechanickými. Zvětšovací páka může tlačit na krátkou páčku nesoucí zrcátka, mikroskop měřicí nebo projekční může sledovat konec takové páky (nebo konec ručky na obr. 300), bylo tak dosaženo zvětšení až 180 000.

Velké možnosti dávají metody elektrické, schopné sledovat i pohyby nejrychlejší. Citlivé jsou metody indukční, založené na tom, že vychýlením železné kotvičky se zmenší jedna a zvětší druhá vzduchová mezera magnetického obvodu, a tím vznikne nestejnost indukci (obr. 308); můstkem a elektronkovým nulovým indikátorem lze dosáhnout citlivosti $0,02 \mu$, v zapojení výchylkovém lze zaznamenávat oscilografem. Čidlem může být též kondenzátor s měnící se vzduchovou mezerou. Ale mimořádného významu nabyl odporový tenzometr („strejngejdž“), osnova tenoučkových odporových drátků, bakelitem zalepená mezi dva tenké papírky (obr. 309). Tenzometr se lakem přilepí na vyšetřovanou součást a její deformace jsou vnuceny drátkům, které reagují změnou odporu. Zapojení je v můstku, v němž je ještě druhý nenamáhaný tenzometr nalepený na tentýž materiál (teplotní kompenzace). Přesnost může být vysoká, namáhání lze měřit na $0,1 \text{ kg/mm}^2$; oscilografem měříme rychlá namáhání dynamická. Tenzometry je možno nalepit na vyšetřovanou konstrukci v libovolném počtu; volicí aparatura rychle po sobě zapíná a registruje jejich údaje (až 300 za 1 min). Takto lze vyšetřovat stroje a konstrukce v trvalém provozu; teprve tyto tenzometry nám mohou dát číselný materiál o výši a četnosti namáhání v různých strojích dopravních i pracovních.

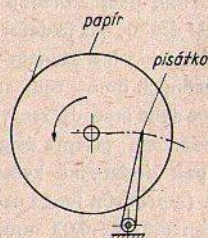
Záznam (registrování, zapisování)

Záznamu — místo pouhého odčítání — používáme předně k sledování rychlých změn (např. tlaku ve válci spalovacího motoru), dále při měření na mnohá nepřístupných místech (měření na letadle za letu), pro dlouhodobé a stálé sledování změn (např. barometrického tlaku) a konečně též proto, aby zůstal doklad (kontrola výrobních procesů, předepsaný tachograf u těžného stroje). Většinou jde o plynulý záznam proměnné veličiny ve formě křivky. Někdy jde o záznam jednotlivých, opakujících se měření (např. opakující se absorpční analýzy kouřových plynů). Jindy je třeba zaznamenat posloupnost nějakých časových okamžiků; to se dělá v chronografu na odvinujícím se papíru, na němž jedno písátko dělá též značky časové, vysílané hodinami.

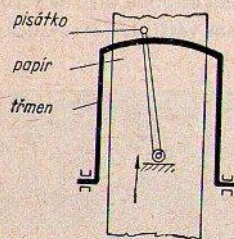
Záznam čárový se může psát pérem a nevysychajícím inkoustem na papíru, který je ovinut na bubínku (obr. 310; šroubem 4 se nastaví tlak pružného písátka), na kotouči (obr. 311, oblíbeno v Americe) nebo na dlouhý odvinovaný pás. Pohyb papíru je nejčastěji závislý na čase, podle potřeby i na nějaké jiné veličině (např. v indikátoru na pohybu pístu). Čistotnější je záznam za sucha na papír vhodně preparovaný. Dnes pře-



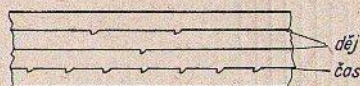
Obr. 310.



Obr. 311.



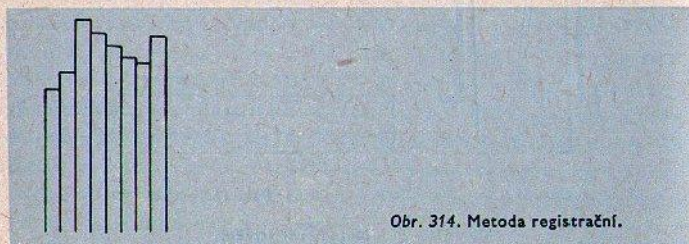
Obr. 312.



Obr. 313.

Obr. 310—313. Metody registrační.

vládly papíry voskované. Jehla ryje tenkou čárku do vrstvičky bílého vosku nanesené na tmavý papír; u nás byl vyvinut průhledný papír potažený červeným voskem (záznam se dá fotograficky kopírovat). Jsou-li pořadnice záznamu úměrné veličině, může se graf planimetrovat; většinou je tomu tak s dostatečnou přiblížností, je-li píšící rameno dost dlouhé (otočnému ramenu dáváme většinou přednost, je to jednodušší a spojené s mnohem menším třením než písátko vedené v přímkce). Obtíž může působit nejistota, odkud máme pořadnice měřit; natisknutý rastr nebývá přesný a nejistější je tu druhé písátko, které píše referenční přímkku. Některé jemné přístroje (např. galvanometry) by nepřemohly tření písátka. Používáme tu metody otiskové; ručka se volně vznáší nad papírem a je asi dvakrát za minutu přirážena trmínkem (obr. 312), a tak otiskne přes barevnou pásku svou polohu. Otisky tvoří souvislou čáru, je-li pohyb papíru pomalý; metoda je proto vhodná jen pro děje pomalé, na druhé straně je možno zaznamenat údaje až šesti čidel (volič zapíná čidlo po čidlu a zároveň podstrčí pásku jiné barvy). Výchylky jemného systému je možno zapisovat metodou zrcátkovou; světelný bod projekční lampy se na odbíhajícím citlivém papíru nebo filmu vyvolá jako čára. Je-li i zrcátko nepřípustným zatížením, použijeme jemňoučké ručky (vlákna), kterou projekčním mikroskopem zobrazíme přes šterbinu na citlivý pás. Obvykle má písátko mnohem větší dráhu, než je deformace měřicí pružiny; znamená to tření, event. i vůle, a jde-li o záznam velmi rychlých dějů, též nežádoucí zvětšení setrvačných hmot, tedy snížení vlastní frekvence systému. Zde — kromě uvedené metody zrcátkové — se leckdy hodí zapomínaná metoda *mikrozáznamu*: píšeme diagramy miniaturní (jen několik milimetrů), které pak dodatečně zvětšíme projektorem na citlivý papír. Na očazeném (a předtím lehce naolejovaném) sklíčku píše ostrá jehla čárky tlusté jen 0,01 až 0,02 mm, na vrstvě zaschlého barviva (fuksinu) čárky ještě jemnější; tření jehly je nepatrné, grafy lze mikroskopem vyměřovat až na 1 μ . Pro dlouhodobý záznam lze psát tupou jehlou na holém filmu (tj. bez emulze); zvětšení dá bílou čáru na černém podkladu, odpor jehly je zde ovšem mnohem větší. U fotografických



Obr. 314. Metoda registrační.

papírů se musíme smířit se smrštěním, které bývá i 0,5%; můžeme si pomoci referenčními čarami nebo značkami, nějak udělanými na záznamu nebo na papíru před vyvoláním (přesný je záznam na fotografické desce).

Značky u chronografu lze dělat různým způsobem (též elektrickou jiskrou), ale nejčastěji se používá per, která píše přímky a jsou elektromagnetem vychylována, aby vznikly klíčky (obr. 313) nebo schody. Jednorázový opakovaný záznam se dělá pisátkem, které se pokaždé vrátí do výchozí nebo nulové polohy (obr. 314).

Konečně je možný záznam fotografováním ručkových měřidel. Přístroje se pěkně seskupí na panelu a automatická komora dělá snímky v intervalech podle potřeby vteřinových nebo minutových. Ručkové přístroje jsou obvykle přesnější než zapisující, a dáme-li také na panel hodiny, máme bezpečnou časovou koordinaci všech údajů; tak se vyhneme chybám a omylům, které snadno vznikají, když se děj sleduje mnoha samostatnými zapisovači.

Slovníček cizích slov

achromatická čočka = čočka složená z několika čoček z různých druhů skla, takže dává ostré obrázky bez barevných okrajů

akcelerometr = přístroj k měření zrychlení (úhlového nebo posuvného)

alhida = otočná část (rameno) úhloměrných přístrojů

analytické váhy = nejpřesnější laboratorní váhy; nosnost bývá 200 g, citlivost 0,0001 g

aneroid = ručkový barometr s tlakoměrnými bubínky místo rtuti

axiální = ve směru podélné osy

barometr = rtuťový přístroj k měření tlaku atmosférického vzduchu

blokovat = znemožnit pohyb

circumzenitál = zrcadlový přístroj, jímž lze zjistit okamžik, kdy hvězda se ocitla v určitém výškovém úhlu (60°)

dejstáž = ztráta justáže způsobená nějakými vlivy (např. změnami teploty, otřesy)

diasporometr = soustava dvou otáčivých optických klínů, ekvivalentních klínů s proměnnou lámavostí

dilatace = roztažení, např. ohřátím

direkční, direktivní síla (n. moment) = síla (moment), která vzniká vychýlením a vrací pohyblivou hmotu do střední polohy (např. složka váhy u kyvadla)

disperze = rozklad složeného světla v jeho složky, tedy ve spektrum

ekvivalent = něco rovnocenného

etalon = vzorový kus, vzorek

etalon (nórmál); pomůcka, která přesně stanoví nějakou fyzikální jednotku (1 m, k Ω , e, rovinnosti ap.)

experimentální = pokusný, z pokusů odvozený

flint = měkké, olovnaté a silně lámavé sklo

frekvence = kmitočet, tj. počet kmitů (cyklů, period) za sekundu

galvanometr = přístroj měřící el. proud n. napětí

geodesie = nauka a technika měření povrchu Země

goniometr = přístroj k přesnému měření úhlů, např. v optice

gravitace = zemská přitažlivost, tedy příčina tíže

gyroskop = letadlový přístroj udávající polohu, založený na rychle rotujícím setrvačnicku

horizont = obzor

horizontovat = ustavovat do vodorovné polohy

hysteréze = fyzikální jev vyznačený tím, že neprobíhá stejně v obou směrech, poněvadž následek stále pokulhává za příčinou

chronometr = precizní přenosné hodiny n. hodinky

impuls (v hodinářství) = hnací popud

index lomu = poměr sinusu úhlu dopadu světla procházejícího vzduchem k sinusu úhlu lomu v opticky hustším prostředí, např. ve skle nebo ve vodě (viz. obr. 255)

integrátor = přístroj v manipulaci obdobný planimetru, ale kromě plochy měří též moment statický, moment setrvačnosti, ev. i jiný integrál

interference světla = sčítání paprsků z téhož zdroje, které proběhly nesterpně dlouhou dráhu; vznikají proužky střídavě světlé a tmavé, nebo jevy barevné (olej na vodě!)

interferometr = přístroj k nejjemnějším délkovým měřením pomocí interference světla

justáž = nastavení, seřízení přístroje, aby správně působil

koincidence = shoda čárek dvou měřitek, dvou časových okamžiků ap.

kompaktní = masivní, jednolitý, stěsnaný do malých rozměrů

kompensace = metoda, zařízení, konstrukce, jíž se vyrovnává nějaký účinek (např. teploty) snižující přesnost

konstanta = stálá (neproměnná) hodnota; číslo, kterým se násobí údaj měřícího přístroje, aby se dostala správná hodnota

libela = vodováha

lineární = přímkový, přímo úměrný

manometr = přístroj (pružinový nebo kapalinový), jímž se měří tlak kapaliny, páry nebo plynu

meniskus = zakřivený (vypouklý nebo vydutý) povrch kapaliny v úzké trubce

mikrotom = strojek, jímž lze preparát rozřezat na tenoučké destičky (pro mikroskopické vyšetřování)

nivelační stroj = záměrný dalekohled s libelou, jímž lze měřit výškové rozdíly (horizontální vizurou, odčítáním na svislé dělené nivelační lati)

oscilátor = zařízení konající kmity mechanické nebo elektrické

oscilograf = zrcátkový galvanometr s vysokou vlastní frekvencí

pantograf = zvětšující nebo zmenšující kreslicí přístroj, také rycí stroj, pracující podle šablon

paralakční chyba = chyba způsobená šikmým pohledem, není-li stupnice v téže rovině s odčítací značkou, vernierem nebo ručkou

pasážní stroj = (pasážník) = přístroj, jímž se zjišťuje okamžik, kdy hvězda projde rovinou poledníku

pentagonální hranol = hranol s průřezem pětiúhelníka

pigment = práškové barvivo

planimetr = přístroj k měření plošného obsahu rovinných obrazců

planparalelní deska = deska s rovnoběžnými rovinnými stěnami

platina (v hodinářství) = základní deska hodinového stroje

polarograf (Heyrovského) = elektrolytická aparatura pro rychlé automatické analýzy

precizní = velmi přesný

projekční = promítací

projektor = promítací přístroj

radiální = ve směru poloměru

rastr = síť, mřížka

reagovat = na popud odpovědět nějakou akcí, pohybem, změnou

reálný = skutečný

referenční přímka = přímka, od které se měří

reflektor (ve hvězdářství) = astronomický dalekohled, jehož objektivem je duté zrcadlo

rektifikace = tolik co justáž, např. občas nutné seřízení strojů geodetických

reziduum = zbytek

reziduální = zbývající

sextant = zrcadlový přístroj držený v ruce, jímž se měří výškový úhel Slunce a hvězd

spektrální analýza = zjišťování chemického složení (např. slitiny nebo povrchu hvězdy) tím, že se zkoumá spektrum světla vysílaného látkou
spektrometr = přístroj, jímž se proměřují spektra
spektrum = pořad barev (spojitý nebo složený z čárek), který vzniká rozložením světla hranolem nebo ohybovou mřížkou; příklad je duha
systém = soustava
systematicky = soustavně

tachograf = zapisující otáčkoměr
tenzometr = přístroj měřící pružné deformace způsobené namáháním
teodolit = základní stroj geometrův, jímž se měří úhly horizontální („azimuty“) a výškové
termostat = pouzdro nebo skříň, v níž se udržuje stálá teplota
triedr = hranolový dalekohled, obvykle binokulární
tubus = trubka nebo pouzdro, obsahující nějakou optickou soustavu, např. t. mikroskopu

unikát = věc n. přístroj, který se zhotoví jednou a nepřichází v úvahu pro sériovou výrobu

vernier = nonius
vizuální = zařízení pro pozorování okem (na rozdíl od projekčního)
vertikální iluminátor = svislé osvětlovací zařízení v mikroskopu
vizura = zaměření dalekohledem, např. při nivelování

PROGRAM

Kursu technických znalostí

1. Dílenské a početní tabulky, A. Vacek
2. Dílenská matematika, A. Vacek
3. Úvod do vyšší matematiky, A. Vacek
4. Strojnické kreslení, V. Čermák
5. Technická fyzika, A. Mazurek
6. Chemie pro techniky, K. Andrlík
7. Základy elektrotechniky, E. Řeháček
8. Malá energetika, E. Řeháček
9. Strojírenské materiály I., J. Korecký
10. Strojní zámečnictví — ruční obrábění kovů, B. Dobrovolný
11. Pilování, B. Dobrovolný
12. Měření a kontrola ve strojírenství, A. Václavovič
13. Rozměření orýsováním, B. Dobrovolný
14. Svařování elektrickým obloukem, J. Němec
15. Svařování plemenem, V. Kříž
16. Strojní zámečnictví — strojní obrábění kovů, B. Dobrovolný
17. Soustružení kovů, B. Dobrovolný
18. Broušení, B. Dobrovolný
19. Vrtání kovů, A. Václavovič
20. Hoblování kovů, B. Dobrovolný
21. Frézování kovů, B. Dobrovolný
22. Lisování kovů, B. Dobrovolný
23. Kovářství, F. Drastík
24. Slévárenství, J. Kraus
25. Tepelné zpracování kovů, J. Korecký
26. Technické normování výkonu, M. Sysel
27. Dílenská trigonometrie, A. Srovnal
28. Logaritmické tabulky a výpočty, A. Vacek
29. Logaritmické pravítko, V. Jozífek
30. Organizace pracoviště ve strojírenství, B. Dobrovolný

31. Technologické postupy, A. Václavovič
32. Organizace zlepšovatelství, J. Beneš
33. Bezpečná práce ve strojírenství, V. Král
34. Přehled strojních součástí, K. Němec
35. Motory a pracovní stroje, B. Dobrovolný
36. Teorie obrábění kovů, V. Řezáč
37. Řezné nástroje — základy, V. Roček
38. Ostření řezných nástrojů, V. Chýle
39. Broušení ploch na rovinné brusce, J. Růžička
40. Programové řízení obráběcích strojů, J. Píč
41. Mechanizace a automatizace obráběcích strojů, J. Prokeš
42. Nástrojářství, B. Dobrovolný
43. Základy přesné mechaniky, M. Hajn
44. Tolerance a lícování, F. Konečný
45. Automatizace měření, V. Šindelář
46. Mechanizace ručních prací ve strojírenské výrobě, K. Schück
47. Montážní práce ve strojírenství, K. Němec
48. Údržba a opravy automobilů, O. Beneš
49. Seřizování vozidlových motorů, O. Beneš
50. Zpracování plastických hmot, F. Blabolil
51. Klempířské práce, J. Nesládek
52. Strojírenské materiály II, J. Korecký — V. Doležal
53. Zkoušení materiálů, V. Walla
54. Praktická metalografie, V. Walla
55. Broušení tvarů na rovinné brusce, B. Čech
56. Stříkání kovů (školení metalizérů), F. Princ
57. Svařování při opravách a údržbě, R. Krňák
58. Výroba ocelových odlitků, J. Kraus
59. Úpravy povrchu kovů, J. Korecký
60. Technologie přesné optiky, A. Mazurek
61. Obsluha parních kotlů, E. Řeháček — K. Tobola
62. Obsluha jeřábů, E. Řeháček
63. Práce na revolverovém soustruhu, J. Outrata
64. Výroba přesných měřidel, J. Outrata

Každý titul po rozebrání vychází automaticky v dalším vydání. Zajistěte si pravidelný odběr všech svazků. Získáte stálý a přehledný zdroj poznatků a poučení.

Další svazky Kursu technických znalostí se připravují.

KURS

technických znalostí

Příruční učební texty

Svazek 43

Prof. dr. inž. Miroslav Hajn

Základy přesné mechaniky

DT 681.2

*Publikace je určena
pro učně, dělníky a studenty*

Vydalo Státní nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 51, Praha 1, v červenci 1961 jako svou 3802. publikaci v řadě knižnice Kurs technických znalostí. Redakce strojírenské literatury. Odpovědný redaktor Karel Schück. Obálku navrhl Metoděj Sychra. Graficky upravil Jiří Appl. Vytiskl MÍR, novinář. závody, n. p., závod 1, Praha 1, Václavské nám. 15. Stran 100, tab. 3, obr. 314. Typové číslo L13-BI-2-II/2658. AA 5,50, VA 5,91. D15*10257. Náklad 7215. Vydání první.

05/17

Cena brož. výtisku 2,95 Kčs
63/III-6-(B1)

Literatura k dalšímu studiu

M. Hajn, prof. dr. inž., Základy jemné mechaniky a hodinářství. Práce, Praha 1953

M. Hajn, prof. dr. inž., Přehled přesné mechaniky. Práce, Praha 1956

O. Richter, R. Voss, F. Kozar, Součásti pro jemnou mechaniku. SNTL, Praha 1961

Z ostatních svazků Kursu doporučujeme např. *Dílenské a početní tabulky* (sv. 1), *Měření a kontrola ve strojírenství* (sv. 12), *Rozměření ořýsováním* (sv. 13), *Přehled strojních součástí* (sv. 34), *Montážní práce ve strojírenství* (sv. 47), *Technologie přesné optiky* (sv. 60) aj. Sledujte knižní novinky!

KURS

technických znalostí

Příruční učební texty

Soustavná řada praktických studijních pomůcek, probírající základy techniky v celém rozsahu. Každý svazek je bohatě ilustrován a ukončen. Srozumitelný, zajímavý a názorný výklad uspokojí začátečníky i náročnější čtenáře, samouky, pracující z praxe a hlavně studenty odborných, učňovských a středních škol.

České překlady Mechanismů ruského akademika Artobolevského jsou naší technickou veřejností přijímány vždy s velkým zájmem a záhy po vyjití jsou rozebrány. Knihy jsou sice určeny inženýrům, konstruktérům a studentům, ale svou názorností, výběrem a grafickou úpravou zaujmou každého čtenáře a poskytnou mu cenné poučení. Proto upozorňujeme na nové vydání příručky

Hydraulické,
pneumatické
a elektrické

MECHANISMY

Kniha obsahuje obrazová schémata a stručné popisy vybraných kapalinových (hydraulických), tlakovzduchových (pneumatických) a elektrických mechanismů zejména základních, jakož i jejich kombinací. Mechanismy s hydraulickými a pneumatickými vazbami rozumí autor mechanismy s ústrojími, která využívají vlastností kapalin a plynů. Mechanismy s elektrickými vazbami se pak rozumějí mechanismy s ústrojími, která využívají vlastností elektřiny. Publikace Artobolevského je ve skutečnosti souborem názorných výkresů opatřených podrobným popisem. Svědčí to o autorově dlouholeté praxi v tomto směru i o šťastném výběru nejobvyklejších základních konstrukcí.

Cena váz. svazku Kčs 21,70.