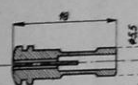


HODINÁŘSKÝ SOUSTRUH A JEHO PŘÍSLUŠENSTVÍ

Hodinářský soustruh je stroj univerzální. Hodinář na něm dříve zhotovili nebo opravili téměř všechny součásti hodin a hodinek. Hřídele, osy, ložiska nebo jejich pouzdra, v náramkových a kapsaných celou základovou desku (platnu), kolíky, čtyřhranné i šestihranné i nářezkové profily, šroubky včetně drátků, matic, ky atd., a dokonce osazená kolečka a pastorky, měl-li soustruh dostatečně vybavení. Dnes se v sériové nebo hromadné výrobě součástí zhotovují převážně na autosoustruzích, přesto ale soustruh zůstává pro kusovou výrobu nepostradatelným strojem. Posuvné soustruhy je příslušenství soustruhu obr. 1. Ukazuje hodinářský soustruh se středním vybavením, jaký najdeme ve vzorkových dílnách a opravných.

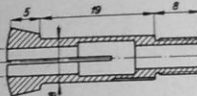
Součásti s tyčového materiálu se upínají do kleštin. Ty se svírají nebo rozpínají "klíčem", což je trubka se závitem a točičkem, procházející dutým vřetenem. Soustruh má např. 40 kleštin od \varnothing 0,4 mm odstupňovaných po 0,1 až 0,2 mm. Pro zvláště jemné součásti, které nesmí být označeny normální kalenou kleštinou, obsahuje vybavení ještě sadu vložených kleštin mosazných, např. 15 kusů, které se vkládají do kleštiny s velkými otvory, např. \varnothing 5,5 mm, obr. 2. Dobré kleštiny nesmějí házet více než 0,01 mm. Proti otáčení při vtahování mají kleštiny dráčku, ve vřetenu je pero nebo kolík.

MOŠAZNÁ KLEŠTINA

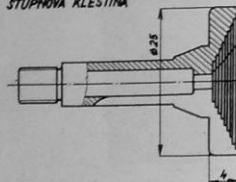


2

OCELOVÁ KLEŠTINA

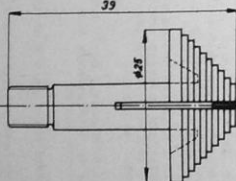


STUPŇOVÁ KLEŠTINA



Pro upínání tenkých kroužků, objímků, šroubení a destiček jsou určeny sady kleštin stupňovitých, vnějších a vnitřních, obr. 3. Např. 5 kleštin, každé o 9 stupňů průměru vykryje rozsah \varnothing 7,2 až 23,2 mm po 0,4 mm. Aby obrobek byl co nejméně deformován, má se vybrat nejbližší nižší stupeň u kleštin upínajících zevnitř podle tabulky, nikoliv zkoušet navlékání. To bývá nepřesné, protože čelisti kleštin časem ochabují.

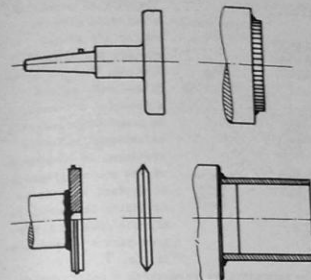
39



3

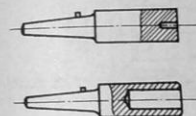


4

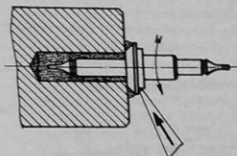


4

Do tmele se uchycují také jemné součásti, např. setravník hodiněk při opravě.



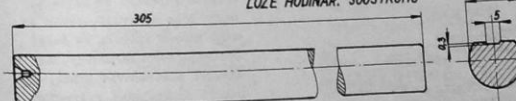
5



Někdy jiné upnutí není možné. K tomu slouží přípravky s dutinou, která se vyplní tmelem. Středí se za tepla a za rotace. V příkladu na obr. 5 je nutné, aby čelo přípravky bylo rovinné a kolmé k ose, protože slouží k ukolnění hřídele.

Jako lože hodinářských soustruhů slouží často litinový nebo ocelový válec obr. 6 přesně obroušený v hrotech, který má podélně zbrošenou plošku. Části

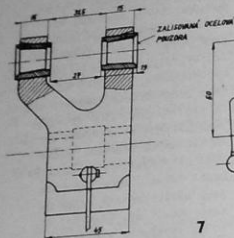
LOŽE HODINÁŘ. SOUSTRUHU



6

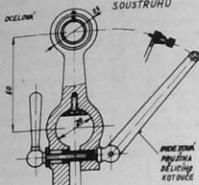
soustruhu, na loži upnuté, jako vřeteník, koník, nebo opěrka pro nože se jednoznačně polohují vloženým měsíčkem v otvoru vedení. Upevnění se děje stahem.

5



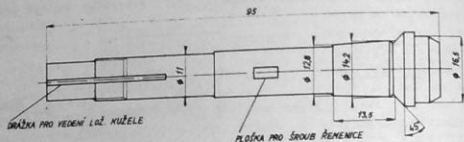
7

VŘETENÍK HODINÁŘSKÝ SOUSTRUHU



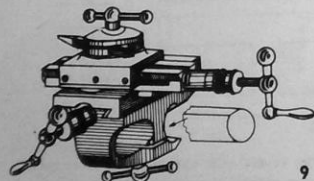
Vřeteník má paralelní a upínací otvorem zalisovanou sousadu pouzdra pro uložení vřetení. Pouzdra bývají ocelová, kalená s mazacími drážkami. Na konečnou přesnost se zalapují vlastním vřetenem. Je posuvné, že pro nepřesnosti vřetení se osvědčilo kluzné uložení, kde pouzdra i vřetení jsou z kalené oceli obr. 7.

Vřetení obr. 8 je ze dvou částí, do sebe koncentricky zasunutých a polohovaných drážkou. Vále v ložiskách se seřídí příslušnou maticí. Přední i zadní část vřetení jsou symetrické dvojité kužele. Těhlý kužel přenáší radiální zatížení, ale



8

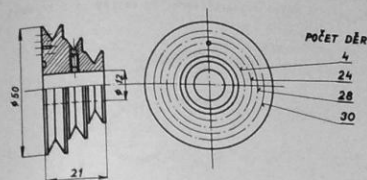
byl by osově poddajný. Axialní tuhost se docílí přidáním dalšího 90° kužele. Po zalapování je uložení tuhé, přesné a nehýbné. Potom se dobruší a dolapují koncentricky vnitřní i vnější kužele pro svírací a rospínací kleštiny.



9

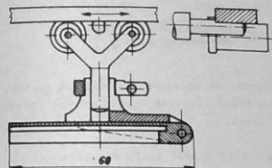
Po vysoustružení se součástí často dále upravují, proto se musí suport vyměnit za další nástroje nebo přípravky. Aby se nemusel odstraňovat koník, je suport po uvolnění svíracího šroubu výsuvný směrem pozici plošky lože soustruhu, obr. 9. Jde to pohotově a rychle. Suporty hodinářských soustruhů mají krátké, podélné i příčné sání,

ale chybí jim pohon podél lože. Proto se podélně jen ručně přestaví a upnou.



10

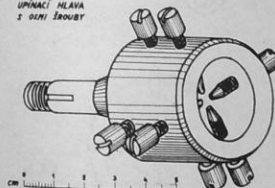
Šešenice vřetení obr. 10 je soustava drážek kotoučů. Dělení je ve tvaru drážek rozstředěných na několika roztáčecích kružnicích. Poloha vřetení se zadržuje odpruženými kolíky. Tak se postupuje při pilování nebo broušení čtyřhranů, šestihranů, pětahranů atd. Zjistíte, jaké plety např. rubů se dají vyrobít pomocí této kombinace drážek.



11

Čtyřhran, např. natahovacího hřídele hodiněk obr. 11 vyplňuje tak, že drážky kotoučů zadržují. Nastavíme vidličku do určité výše, aby těleso k válečkům byla o hodnotu $\frac{1}{2}(\sqrt{2} - 1)$ pod horní površkou hřídele o $\frac{1}{2}$ d, a s něhož čtyřhran vyplňuje. Pilujeme tak dlouho, až se pilník nebo hladítko odvaluje po obou rolničkách. Pak otočíme o další $\frac{1}{2}$. Čtyřhrany pilujeme obvykle do menší hloubky, takže zůstane malá fazetka z původní válcové plochy.

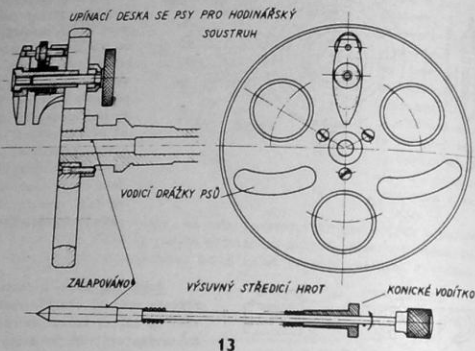
UPÍNACÍ HLAVICE S DVOU ŠROUBY



12

Excentry a pod. vysoustružené v upínací hlavici s 8 šrouby obr. 12. Zde se dají upínat i součásti nekruhových tvarů. Seřízení je přesné. Základní poloha všech 8 šroubů se dá seřídít tak, že do hlavičky vsadíme tyčku vhodného průměru upnutou do koníku. Velikost excentricity potom seřizujeme otáčením protilehlých šroubů o stejný úhel. Při požadavku větší přesnosti si pomůžeme dýchávkou.

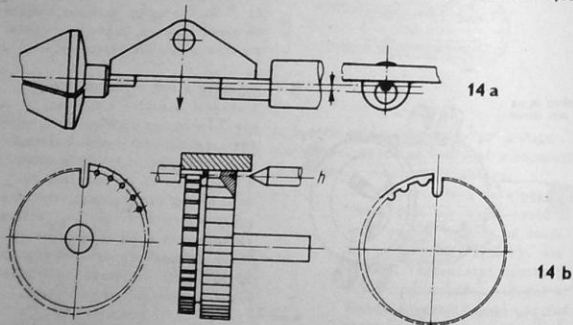
Zahlobení do plochých desek jako jsou platiny hodiněk a přístrojů se dělá v upínací hlavě s čelistmi, svanými "psi" obr. 13. Čelisti se dají přemísťovat v segmentových drážkách desek, na lici kolná k ose vřeten. To zajišťuje i kolmost



13

spodní čelisti pad. Poloha středu díry se ustaví zalapováním sestředěným hrotem sesadu vřeten. Vřeten tvoří s deskou jeden celek. Šroubem a točítkem se přitáhne současně obrobek v čelistech a čelist k desce.

Rolírování (hlazení řepů). Vysoustružené řepy nemají potřebnou přesnost a hladkost (drsnost) povrchu. Proto se musí přehladit, zvlášť řepy určené pro



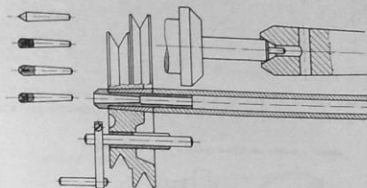
14 a

14 b

uložení v ložiskových kamenech. Nástrojem je hladítko, podobné jehlovému pilníku, ale místo "seku" má přímé vybrušený povrch. Řhy po brusu tvoří jemná ostří

s tupými dšly, které povrch řepu částečně seškrabují, částečně zmačkávají. Aby řep zůstal válcový, je hladítko vždy opřeno, např. na excentru, obr. 14 a nebo na plošce kotouče, obr. 14 b. Zde je opřen i řep v sedle válcového nebo prismatického tvaru. Sedla jsou odstupňována pro různé průměry na obvodě opěrného kotouče.

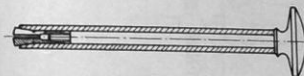
Soustružení (broušení) v "mrtvých" (neotočných) hrotech obr. 15. Součástí má přesně definovanou osu otáčení na rozdíl od hrotu, který rotuje a vřetenem a který může hástet. Větší součásti, do kterých se dá udělat dalek pro hrot se soustruží v normálních, 60° hrotech. Jemné součásti, nebo hladítky končí řepu se



15

upnou do "dutých hrotů", které řepy uchrání. Hroty pak stojí, kdežto řemeníka s unášečem se na jednom z nich otáčí. Nejmenší práce dělají hodinářské bez suportu, pouze s opěrkou nože. Nůž je ruční, má profil většinou 5 x 5 mm a o opěrku se opírá hranou. Tato práce vyžaduje cit a zručnost.

Vrtání. Větší díry se vrtají pomocí vrtacího košíku, vrtáček je upnut v kleštině. Pro nejmenší díry, které se vrtají vrtáčky od $\phi 0,1$ mm je koník příliš hrubý, proto se vrtá jen prostřednictvím tyčinky držené prsty, obr. 16.



16

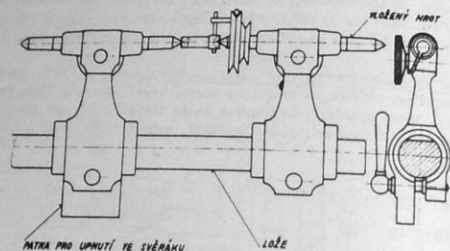
Tyčinka prochází otvorem koníku. Vrtáčky jsou od $\phi 0,10$ po $0,01$ až do $1,45$ mm, výše po $0,05$ mm (ČSN 221191). Soustruhy mívají též sadu dělových vrtáků, např. od $\phi 0,4 - 3,2$ mm.

Osasování (táž výroba řepů). Nástroj má tvar čelní frýzy obr. 17, v ose je kuželovitý otvor, který určuje, co z osasovaného průměru zůstane. Osasovaný řep není namáhán ohybem ani kroucením a dá se vyrobít značně dlouhý. Pro použití jako řep se musí rolírovat. Práce je velmi rychlá. Sada fréz má např.



17

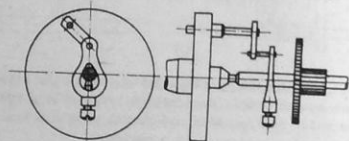
18 stupňů od $0,4$ mm - $2,2$ mm po $0,1$ mm (Boley).



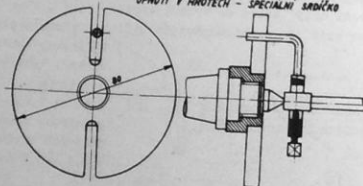
18

Na obr. 18 je součást upnutá ve vnějších mrtvých hrotech. Rotaci udílí kolík v řemenici volně otočné na nehybném hrotu. Součást má našroubované miniaturní srdíčko.

UPNUTÍ V DUTÝCH HROTECH - UMOŽNĚNÍ S NÁHLAČNÍM SRAŽENÍM



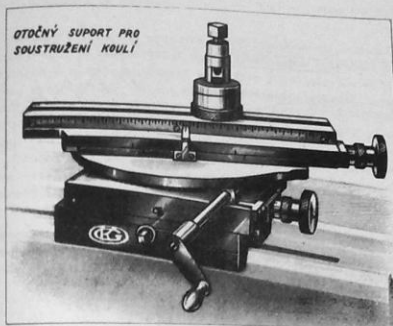
UPNUTÍ V HROTECH - SPECIÁLNÍ SRAŽENÍ



19

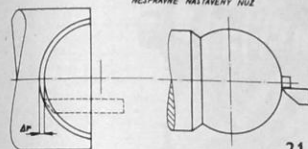
Jiné příklady srdíček a umělečů jsou na obr. 19.

Soustruhy pro jemnou mechaniku mají též zvláštní vybavení, zejména: otočný suport pro soustružení koulí a toroidních ploch. Suport má podélné a příčné sání, na nichž je posazen otočný stůl obr. 20. Pohon je šnekem a šnekovým kolem. Držák nože je posuvný v drážce a umožňuje nastavení nože výškově i vzhledem k ose. Horní sání, uložené ještě na otočném stole mají stupnici podle níž se nastaví radius kulové plochy.

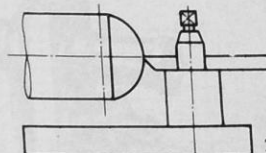


20

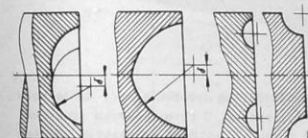
NEPŘÁVNÉ NASTAVENÍ NŮŽ



21



23

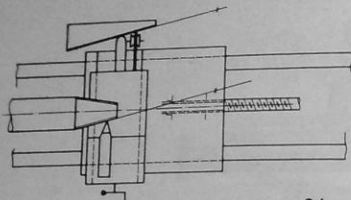


22

dýchkou \pm středu profilu, obr. 22.

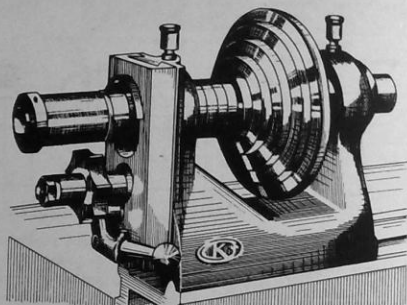
Při správném nastavení se soustruží kulové plochy, vnější obr. 23 a vnitřní.

Kuželové závity nejprůzračnějších profilů, symetrické i nesymetrické nelze řezat očky ani závitovými čelistmi. Slouží většinou k upevnění jednou nebo několika málo otáčkami jako bajonetové spojení. Kuželový závit, např. u ohebných spojení fotoaparátu se soustruží principem vodičů šablony, protože nář je veden podél povrchu kužele, ale stoupání se měří směrem osy. V tomto případě profil nože je symetrický podél normály k ose součásti, obr. 24.



24

Soustružení přechných závitů patronovým způsobem. Zde jsou výměnné patроны nasazeny na konec vřetena obr. 25. Pohybem páky se vysune axiální zajištění vřetena a do patrony dosedne segment matice s příslušným stoupáním. Axiální uvolnění



25

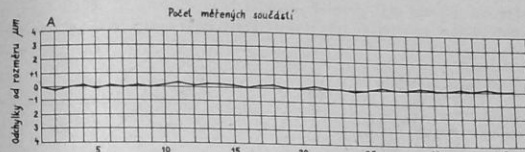
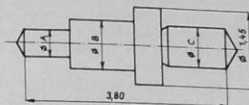
vřeteno se pak šroubuje po matici a můž vysoustruží na obrobku závit. Tímto nepřímým kopírováním se vyrobí závit velmi přesně. U revolverových soustruhů se tak soustruží závit na jedno upnutí vně i uvnitř, zvláště závitových kroužků pro uchycení čoček objektivů.

Dnes jsou i některé hodinářské soustruhy vybaveny numerickým řízením (CNC). Avšak soustruh v jemné mechanice je strojem pro nesériovou výrobu, často jen pro zhotovení unikátní vzorkové součásti. Programování se často nevyplatí, nehledě k tomu, že mnohá operace a tvary součástí využívající nejrůznější doplňkové zařízení nelze často automatizovat. K sériové a hromadné výrobě jsou určeny automaty, hlavně dlouhotočné.

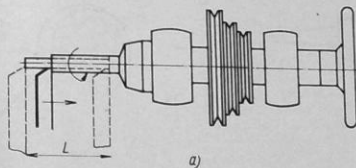
DLOUHOTOČNÉ AUTOMATY

Sériová a hromadná produkce rotačních součástí v jemné mechanice a zejména v hodinářství je nemyšlitelná bez dlouhotočných automatů. Stroje jsou dnes upřesňovány nejen k soustružení velmi složitých součástí, ale vybaveny "aparáty" i pro vrtání, vystružování, řezání drážek, frézování, přičně vyvrtávání, k řezání závitů atd. Automaty se dělají v různých velikostech, nejmenší typ zpracovává tyče do průměru 3 až 4 mm a délky 70 mm, největší do 32 mm a délky součástí do 220 mm.

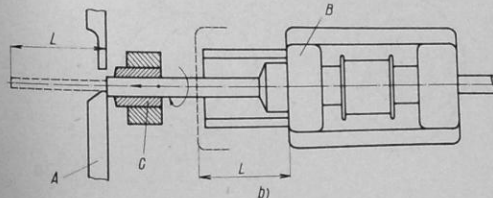
Správně seřízený a udržovaný automat poskytuje výbornou jakost povrchu a reprodukovatelnost rozměrů. Např. automat Bechler Isomatic udržuje rozměr ϕ A v submikronové toleranci obr. 26.



26



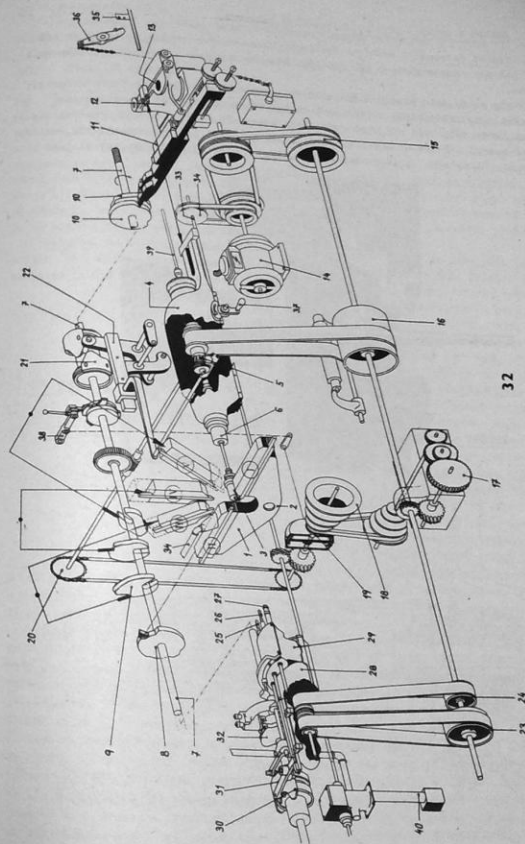
a)



13

27

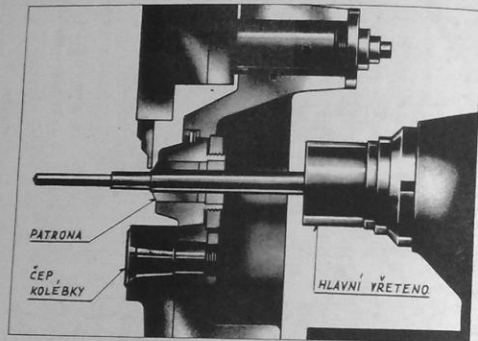
- I, II Može kolébky, konají přívau po kruhových obloucích
III-V Sáhá nožové fronty, konají řaditání přímotary pohyb
1 Kolébka. Načínání se obolo čepu 2, k vačce 8 ji při-
tlačuje pružina
2 Čep kolébky (viz. obr. 33 v řezu)
3 Vodicí pousdro (patrons), (viz. obr. 33 v řesech)
4 Posuvný vřeteník
5 Upínací mechanismus klastiny (podobný příklad
viz. obr. 39, Torno)
6 Vřetení a klastinou (viz. obr. 39)
7 Vačkový hřídel
8 Vačka kolébky (viz. obr. 40)
9 Vačky nožových sní (viz. obr. 36)
10 Vačky posuvu vřeteníku
11 Sáhá posuvu vřeteníku
12 Uhlíová páka posuvu vřeteníku
13 Čep uhlíová páky
14 Motor pro všechny funkce automatu
15 Převodové řemenové ústrojí
16 Dlouhá řemenice pro pohon vřeteníku
17 Převodovka pro pohon vačkového hřídele
18 Řemenový pohon vačkového hřídele
19 Rychloposuv
20 Řetězový převod pohonu vačkového hřídele
21 Vačky posuvu nástrojů (25, 26, 27)
22 Páka posuvu nástrojů (25, 26, 27)
23 Vačka pro výsmnu nástrojů (25, 26, 27)
24 Měhon olejového čerpadla
25 Přeporak podávače materiálu
26 Vypínací zařízení motoru při doběhu materiálu
27 Kládní materiálu
28 Páka ovládací spojky rychloposuvu
29 Tyč materiálu
30 Čerpadlo oleje
31 Mechanismus upínání klastiny
32 Řemenice pro řezání sávu
33 Řemenice pro vypínání nástroje řezání sávu
34 Centrovací vřetenko
35 Vřetecí vřetenko
36 Závitořezná vřetenko
37 Kmitavý přístroj pro atřední vřetá, vřetáky, vř-
stručníky, řezání sávu vnějších i vnitřních
38 Výkyný nosič vřetánek
39 Vačky posuvu nástrojů (25, 26, 27)
40 Páka posuvu nástrojů (25, 26, 27)
41 Vačka pro výsmnu nástrojů (25, 26, 27)
42 Měhon olejového čerpadla
43 Přeporak podávače materiálu
44 Vypínací zařízení motoru při doběhu materiálu
45 Kládní materiálu
46 Páka ovládací spojky rychloposuvu
47 Tyč materiálu
48 Čerpadlo oleje



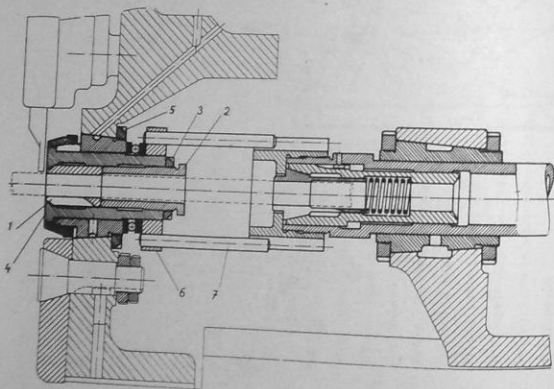
Základní prvky a přístroje (aparáty) automatů.

Vodící patrona. U současných krátkých, které nemohou pružit, se pracuje též bez patrony. Konec vřetene pak prochází otvorem z něhož se patrona i s uchycením vyjme.

Aby se dosáhlo přesných výsledků při soustružení v patroně, je nutno splnit zejména tyto předpoklady: patrona musí být těsná, tuhá, dobře mazaná a musí velmi dobře vodorovně otáčet od rotujícího materiálu. Otáčky bývají u malých součástí vysoké (12 000 ot/min i více) a tažený materiál je na povrchu tvrdý, zvláště ocel. Patrona se opotřebává nerovnoměrně - vždy na části obvodu, stojící



33



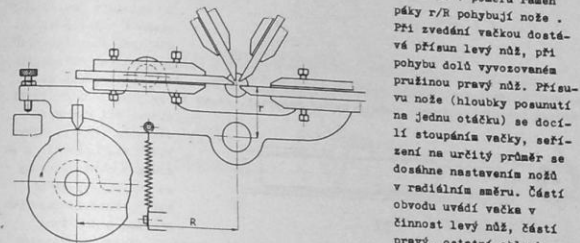
34

proti pracujícímu noži.

Nejjednodušší uspořádání pevného vodícího pouzdra je na obr. 33, kde je vidět i základní postavení upichovacího nože.

Pouzdra pro menší série jsou litinová nebo ocelová, pro hromadnou výrobu též se slitinových kerbidů.

Vodící pouzdro rotující a vřetená. Výhodou pouzdra je, že se málo opotřebovává, materiál se v něm jen posouvá. Nevýhodou je možnost házení. Rotující pouzdra se mohou použít pro kruhový materiál, ale musí být pro tyče profilované, i je stahovací, pomocí dutého šroubu 2, a sejmí se matiči 3. Část 4 s kleslinovou částí rámu přilepená matiči 5. Maše se znázorňují kanálky. Na zadní části ložiska je připevněn undáecí kotouček 6 s kolíky 7, které sprostředkují otečení od kužele, na jehož konci je rovněž undáecí kotouček a dráčkami. Posouvání vřetení - Kolébka. Je to dvojzvrtná masivní páka, uložená bez vůle na kuželovém čepu blízko pod vodící patronou obr. 35. Čep je vidět též na obr. 33. Kolébka má na levém delším konci ocelový dotyk (kluzný palec), který sleduje křivku vačky a tím se v posměru ramen páky R/R pohybují nože.



35

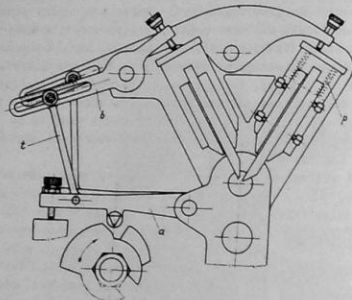
Při zvedání vačkou dostává přísun levý nář, při pohybu dolů vyvozovaná pružinou pravý nář. Přisuvu nože (hloubky posunutí na jednu otáčku) se docílí stoupání vačky, seřízení na určitý průměr se dosáhne nastavením nožů v radiální směru. Části v obvodu uvádí vačka v činnost levý nář, částí pravý, ostatní oblouky zajišťují kolébka klid, aby mohly svůj podíl práce vykonat ostatní nože a nástroje.

Klíďová část vačky, která je válcová a soustředná se oba nože jsou ve stejné vzdálenosti od materiálu.

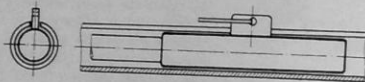
Símké a svislé nožové sáně (nožová fronta). K celkové předstávě uspořádání poslouží obr. 40, kde jsou viditelná vedení a sáně tří nožů. Běžné moderní automaty mají dva až čtyři svislé nože. Schéma na obr. 36 ukazuje převod pohybu od vaček na nože. Právě jako kolébka má samostatnou vačku, tak i každý svislý nář je pohybován od jedné vačky. Ty jsou uspořádány za sebou na společném hřídeli. Kluzný palec ve tvaru zakulaceného břitu je upraven na páce a, která je otočně uložena na rámu poblíž čepu kolébky. Druhý konec páky pohybuje táhlem t, které je horním koncem spojeno otočně s pákou b. Otočný čep táhla je nahoře posuvný ve vřezu páky b, aby se mohl upravit převod mezi zdvihem vačky a tlačným mikrometrickým šroubem. Při záběru vačky tlačí šroub sáně s nožem do řezu, při čeně přemáhá tlak pružin p. Vyjde-li vačka s dotykem, odtláčí pružiny na sánkách celé seřízení zpět, a aby byl omezen tento pohyb jen na nutný odstup nože, nese páka

g na konci stavitelný dorazný šroub.

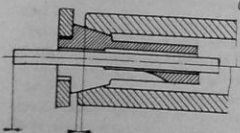
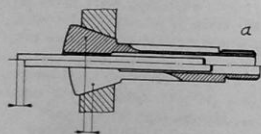
Nastavení noží : všechny uvedené nože jsou přesně stavitelné v těchto sa-
rech : 1. nastavení nože ve směru jeho osy (radiální - na průměr),
2. nastavení ve směru osy vřeten,
3. nastavení břitů nože do osy vřeten (vycentrování).



podávacího zařízení, dlouhé rozřizné trubky podle obr. 37. Trubka splňuje zároveň dva účely. Jednak vede rotující materiál, který by se jinak odštěpovával silami při vysokých otáčkách rotočil jako bít a zdeformoval, a za druhé v drátce trubky se pohybuje podávčí, který zprostředkuje posouvání a dorážení



materiálu při upínání. Podávčí je tažen lankem, sílu vyvozuje závaží. Nevýhodou tohoto zařízení z provozního hlediska je poměrně velká hlučnost, zaviněná kmitáním v trubce a je jediným zdrojem hluku v automatové dílně, jinak stroje pracují velmi tiše.



Upínání materiálu. Vřeteno je opatřeno prchloží kleštinou. Když se kleština svírala vtahování do kužele vřeten, jako na soustruhu, obr. 38 a, nedě se zabránit osovému posuvu materiálu. Délka součástí by se náhodně změnila. Proto se u automatů kleština nevtahuje. Je opatřena čelem o přírubu, která zachytí osový tlak a sevrání kleštiny obstará kužel na ni natlačovaný, obr. 38 b.

Vysunutí a upínání materiálu probíhá tak, že po upíchnutí součástí nástane

Podávání materiálu.

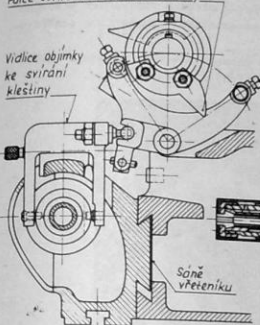
Automatový materiál jsou tyče, většinou kruhové, někdy také 4, 6, 8-hranné. U jiných druhů materiálu než kruhových nelze použít pevné vodič pátrony. Snahou je, aby materiál byl co nejdelší, protože při spotřebování musí být stroj zastaven a za-
ložen materiál nový. To vyžaduje častou obsluhu a zvyšuje neproduktivní časy. Materiál automatů se vkládá do

upíchnovací nář v poloze po upíchnutí a funguje jako doraz materiálu. Za rotace se kleština díky součásti a žítky upíchnovací nože. V sadní poloze se kleština opět sevrá. Příklad je z automatu Tornosa. Automat běží až do spotřebování materiálu, kdy podávčí vypne stroj.

Vřeteník, obr. 39. Tím, že mu byla svěřena funkce posuvu materiálu, jsou na něj kladeny vyšší požadavky, než u soustruhu. To se týká hlavně vedení, které musí být bez vůle a jít lince. Dynamické vyvážení vřetení a materiálu není vždy

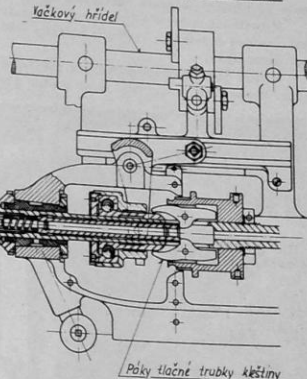
POHLED ZE ZADU

Polce otvíráni a svírání kleštiny



ŘEZ VŘETENÍKEM (TORNOS)

POHLED SHORA



nejlepší. Tím při vysokých otáčkách vznikají vibrace, které při nedokonalém vedení ovlivní jakost povrchu. Posouvání vřeteníku musí být lehké, aby příliš netrpěl převodový mechanismus, zvláště vačky a dotyky, ale také proto, že zpětný pohyb vyvozuje pružina. Pohon vřetení je někdy plochým řemenem, obr. 41, aby se mohl přemísťovat po hnací řemenici při posuvu řemeníku. Hnací řemenice je za tím účelem dlouhá jako zdvih vřeteníku. Všechny osové pohyby vřeteníku ovládá váčka. Zejména tato musí být přesná, obsahují všechny délkové rozměry součástí.

Váčkový hřídel. Pro stroje popisovaného typu je příznačné, že mají jediný váčkový hřídel, jehož váčky (křivkové kotouče) ovládají veškeré pohyby nástrojů a materiálu kromě pohybu rotačního. V soustavě váček jsou spojeny všechny složité úkony stroje. Řeší mnohotvárnou a složitou automatiku pohybů jinak než váčkami je úkol mechanicky takřka nezvládnutelný. Váčka, i když vychází její tvar většinou složitý, napojovaný z řady úseků, vyhovuje tomuto účelu velmi dobře. (Někde se používá názvu křivkový kotouč, neboť pojem váčka bývá spojen s představou např. váčkovy spalovacích motorů apod., tvořené plynulou křivkou, zatím co zde činná plocha váčky je zřídka plynulá čára). Váčkový hřídel probíhá po straně podél lože

stroje a je uložen ve třech až čtyřech kluzných ložiskách. Důležitá je otáčka vřítí (mrtvých chodů) vačkového hřídele. Vymezování vřítí hřídele v ložiskách při tlaku dotykových palců se projevuje na pohybu nožů a tím se tato vůle přenáší na součást.

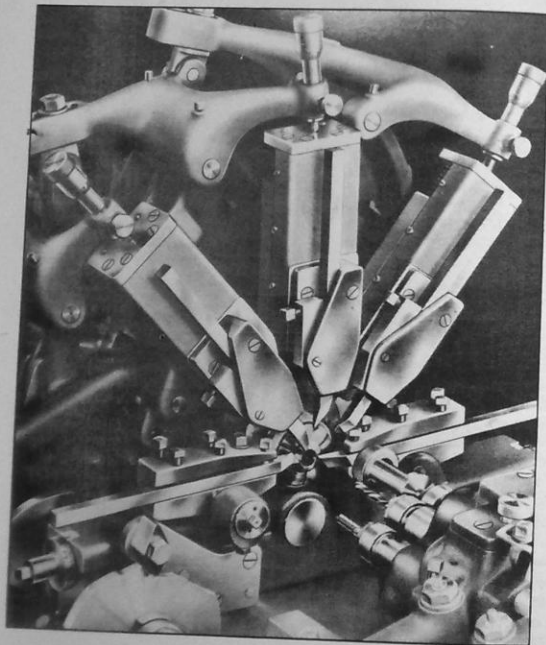
Na obr. 40 vidíme část vačkového hřídele a vačku kolébky, celou nožovou frontu a také vrtací a závitorezný aparát.

Vertikální řez automatem a uspořádání pohybů je na obr. 41.

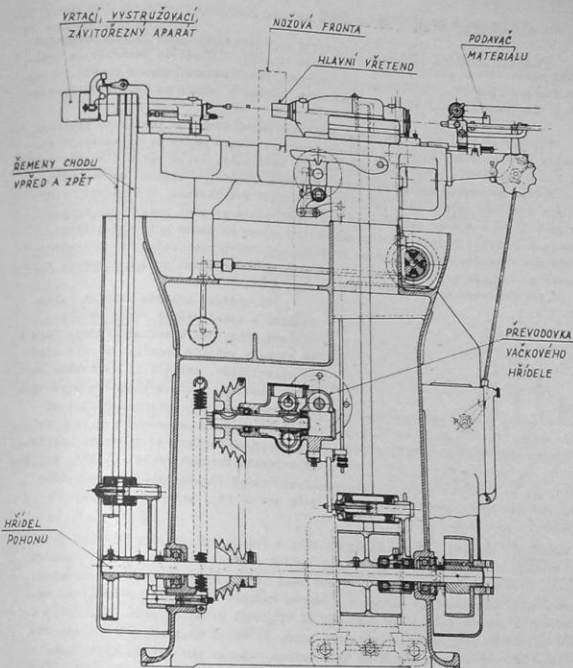
Dlouhotočné automaty jsou výkonné stroje co do tvarových možností součástí, ale také co do produktivity. Pro každou součást musí být vyrobena sada vaček, litinových nebo ocelových, které je drahé, sada nožů, popřípadě jiných nástrojů. Proto je použití automatu rentabilní až od určitého, značně velkého počtu kusů.

V poslední době se objevily na trhu automaty, u nichž 6 radiálních nožových saní (nožová fronta) je řízeno numericky (CNC) samostatnými pohonnými a odtáhovacími jednotkami.

Stroje jsou prodraženy řídícím počítačem a pohony, ale zase odpadají drahé vačky. Mechanické seřizování je do značné míry nahrazeno programováním.



40

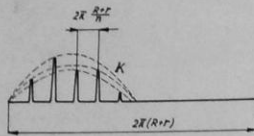


41

23

Kuličková ložiska byla do strojnictví zavedena hlavně pro jejich podstatně nižší tření (třecí momenty) proti ložiskům klusným. Z hlediska technologie ložisek lze problematiku rozdělit na dvě skupiny. První materiálovou a druhou obráběcí. S níž dále souvisí třetí stránka věci, měření a všeobecná technická kontrola.

Kuličky se dotýkají s valivými drahami v bodu, který se zatížením přechází v malou plošku. Měla-li valivá ložiska nahradit klusná nejen co do lehkosti chodu, ale i únosnosti, musely být vypracovány materiály, které během dlouhého provozu vydrží neobvykle vysoké namáhání. Materiál kuliček i kroužků na valivých drahách v každém jejich bodu je cyklicky namáhán stlačováním. U axiálních ložisek je kulička zatížena nepřetržitě a s odvalováním se mění pouze body dotyku. U ložisek radiálních jsou kuličky zatěžovány pouze na jedné polovině ložiska, přivracené k zatěžující síle, a to napětími, probíhajícími podél čar blízkých sinusovce. Protože kuličky nemají přesně stejný průměr, ani nejsou dokonale kulaté, je průběh dotykových napětí jako na obr. 42.



42

větší, než je tomu u kroužků, dosahují 63-64 stupně HR_C, zatím co kroužky 62-63 HR_C.

Materiál. Lokální stykové tlaky kuličky s dráhou ložiskového kroužku jsou velmi vysoké. Kromě toho jsou tyto tlaky střídavé a materiál povrchu je namáhán na dnuvu. U rychle se otáčejících ložisek mají tato namáhání vysokou frekvenci, tím rychlejší, čím menší je slovek a průměr kuličky v čitateli a průměr valivé dráhy ve jmenovateli. Tato namáhání si vynucují velmi kvalitní materiály. Některé požadavky jsou těžko splnitelné, např. je velmi obtížné vyrobít vysokouhlíčenou, legovanou ocel, která by měla velkou tažnost pro výrobu drátu nebo tyčí a trvání kuliček. Někdy se zase žádá, aby ložisko bylo nemagnetické, jiné má pracovat za vysokých teplot, nebo v koroziivní atmosféře. Tyto požadavky vedly k vypracování materiálů, kde se už nevyskytuje s pouhou chromovou ocelí. Některé firmy vyrábějí ložiska nerezavějící a nemagnetická (SKF, RMB).

Důležitým předpokladem kvalitního materiálu je jeho chemické složení, tj. přesný obsah uhlíku, legujících prvků a škodlivin. Avšak dodržení přesného chemického složení ještě nezaručuje předepsané mechanické a fyzikální vlastnosti.

Druhým důležitým předpokladem je čistota materiálu ve smyslu obsahu různých nekovových přísad. Nejčastěji jsou příměsí oxidické a sulfidické. Ze třetího je to porovitost a bublinatost materiálu. Konečně do této skupiny nejčastějších vad patří místa odúhličená, která vznikají při tepelných zpracováních a projevují se vždy sníženou tvrdostí materiálu.

Výchozím materiálem v továrně na ložiska je pro kuličky tyčová ocel nebo

drát, pro kroužky tyčová ocel nebo tlustostěnné trubky, pro miniaturní ložiska též ocelový plech.

Hlavně chromová ocel kuličková má asi toto složení :

C	0,95 - 1,10 %
Cr	1,30 - 1,65 %
Mn	0,20 - 0,40 %
Si	0,15 - 0,35 %

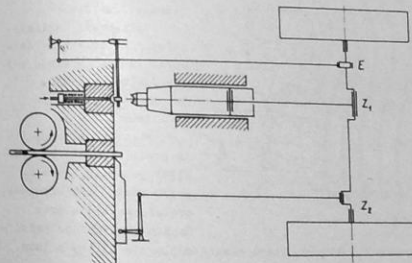
Každé se s teploty 820-840°C, popouští na teplotu 160-180°C.

Další údaje k ložiskovým materiálům jsou v tabulce :

Vlastnosti	Vykázané	Zakalované
Hustota g/cm ³	7,81	7,76-7,78
Pevnost v tahu MPa	650-750	220 - 260
Mes úměrnosti MPa	300-340	115 - 125
Mes průtažnosti MPa	380-420	170 - 185
Zlínění %	40-55	
Tažnost %	15-25	
Vrúbavá houževnatost MPa	45	0,3 - 0,7
Tvrdost H _B	170-200	680
Tvrdost H _{RC}		60 - 65

Mechanické zpracování. Sekání s drátem a lisování zastudena v železech se vyrábějí polotovary kuliček od nejmenších průměrů až do 12 mm, (1/2") někdy i více. Kuličky veliké, které se používají i pro jiné aplikace, se již vykovávají z tepla v zápuštěch, asi do 150 mm.

Ve všech případech odpad kvalitního materiálu je malý a vzniká až při odstranění odpadů, nikoliv při ražení kuliček, takže výroba v tomto smyslu je hospodárná. V průmyslu se používají k sekání a ražení kuliček speciální kombinované stroje, správně la automatické, v provedení horizontálním nebo vertikálním. Schéma horizontálního stroje je na obr. 43. V principu je to výtlačnický lis.

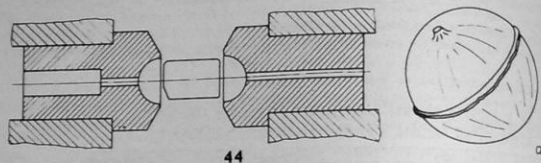


43

ni kovového mechanismu, Z₂ salomání pro část odstříhací.

Drát nebo tyč jsou podávány přetržitým posuvem do válcového pousdra, které slouží jako část mřížky. Druhá část mřížky se otáčí salománím Z₁. Excentr E pohání podávací zařízení. Dříve, než je váleček s drátem odstřížen, uchopí jej kleště podávacího zařízení. Po odstřížení jej přenesou nesi ramínka a rasníci. Váleček má

posměr $1/D \approx 2$. Razník s raznicí vypadají podle obr. 44. V ose jsou opatřeny tv. vrty, jímž procházejí vyhasovače, tlačené pružinami nebo stlačeným vzduchem.



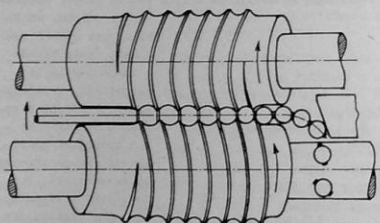
44

Vylisované kuličky má tvar podle obr. 44a. V ose kování jsou patrné dva výčnělky po otvorech vyhasovačů a na rovníku otěp, který vznikne tím, že materiál musí být o něco více než je pro kuličku nutná.

Materiál se napřed zřídění zmrkčí do nejtvrdnějšího stavu, aby se při lisování netřhal a aby pětávná práce byla co nejmenší. Velikost otěpu nesmí ale být příliš velká.

Odstaňování otěpů, popřípadě okují u větších kuliček kovových zatepla se provádí v osilacích bubnech, které svým tvarem připomínají míchačky betonu. Pro běžné kuličky strojnických ložisek se používá bubnů, které pojmu 100-150 kg vykovků. Pro zvýšení osilacích účinků se do bubnů dávají kalené součástky, dlouhý brusných kotoučů, karborundum apod. Někdy se také přidává voda.

Kuličky větších rozměrů (40 mm a více) se tvrdějí též přitýčnou válcováním za tepla, obr. 45. Tytéž ohřívá na kovací teplotu proběhne mezi válci, které mají



45

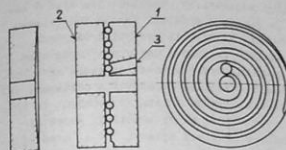
něm dobrý masání (zaplavení tekutinou), které hlavně odplavuje piliny a také chladí. Používá se většinou petroleje.

K pilování jsou určeny pilovací kotouče :

a) drátkové, b) ploché.

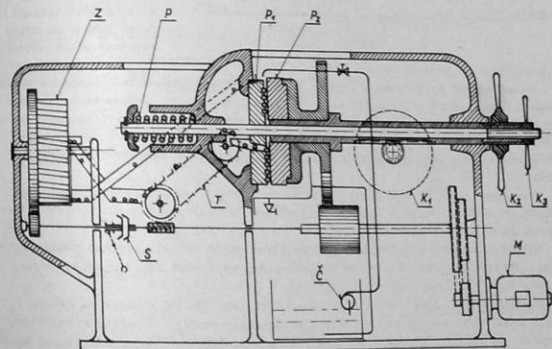
Drátkované pilovací kotouče horizontálního stroje jsou na obr. 46. Kotouč 1 je neotočný, kotouč 2 se otáčí směrem světlučícího se poloměru spirály v kotouči. První kotouč má spirálovou drátku příkružového profilu a přitýčnou seky (jako pilník), druhý je na čelní straně plochý nebo mírně dutý a po celé ploše má ostré se-

ky. Kuličky se transportním zařízením dopravují do šikmé díry 3, kterou jsou vedeny do spirály. Kulička je tam vsáknutá mezi kotouče, je nucena se kotáčet



46

váns na správný průměr, projde tento koloběh mnohokrát, přičemž se její povrch stále přesněji přibližuje geometrickému tvaru koule. Ploché kotouče je přitlačován pružinou P. Velikost síly se seřizuje předpětím pružiny prostřednictvím ručního



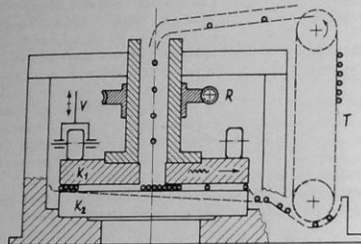
47

kola K3. Kolo K2 funguje jako doraz a omezuje přiblížení kotoučů. Kolem K1, které zabírá do hřebenu na dutém hřídeli, se kotouče oddalují. V provozu je poči-

táno a tím, že všechny výrobky jsou v mezích možností stejné a ani velikosti ot. řepě se příliš neliší. Proto úbytek pilování je rovnoměrný na všech kuličkách a kontroluje se namátkou. Stroj je vlastně automatický, vyřazuje jen výskus má. plní. Opracování kuliček tímto způsobem je jedním z příkladů obráběcího procesu, kde počítáme se statistickou pravděpodobností. Stačí volit vodič dráčky tak, aby zaručil převalování kuličky okolo neustále se měnící osy a při neustálých obrazech je výsledný efekt takový, že i nevalně přesný výrobek se stává více blíž. k nejjednoduššímu geometrickému tvaru - kouli. Jestliže se objeví u některého výrobku větší rozměrové odchylky od statistického středu ostatních průměrů, je tato kulička ubírána intenzivněji než ostatní, protože se na ni soustředí největší tlak (v případě, že je větší), nebo je ubírána méně než ostatní (je-li menší).

Stává se, že se některá kulička na okamžik zastaví a kotouč na ní vypluje plošku. Taková kulička se často již nestáčí skokovně a musí být při kontrole vyřazena.

K "odírání" kuliček slouží masivní vybrační stroje, které mají dva ploché kotouče K_1 , K_2 , ocelové, nebo litinové (čela z tvrdé bílé litiny). Jeden kotouč má někdy soustavu soustředných



48

mělkých drážek, radiálně přerušených.

Horní kotouč K_1 se pomalu otáčí, je přitlačován velkou silou a dostává přitom osový vibrační pohyb mechanickým nebo hydraulickým pohonem, police V. R je náhon kotouče K_2 . Kuličky jsou tak pýchovány při pomalé rotaci. Když projdou mezi kotouči, jdou do zásobníku a transportéru T, který je nepřetržitě dopravuje znovu mezi kotouče. Toto odírání je velmi účinné a kuličky mají pýchování spolehlivý povrch, obr. 48.

Opilované kuličky mají charakteristickou drsnost, připomínající jemně zaskrabávanou plochu, odírané kuličky se jeví pod mikroskopem nebo lupou jako posetávé kůže.

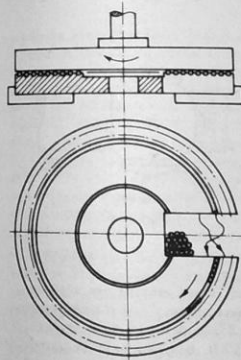
Někdy se kuličky ještě před tepelným zpracováním brousí. Pro naše účely tuto operaci nezařadíme. Malé a středně velké kuličky mají před kalením přídavek na broušení 0,05 - 0,2 mm.

Miniaturní kuličky. Definice miniaturnosti není přesně stanovena. Směrem dolního rozměru to patrně nejde, směrem maximálního rozměru se různě firmy liší. Vezmeme-li za základ nejznámější firmu, švýcarskou RMB, ta vyrábí miniaturní kuličky podle tabulky na straně 29.

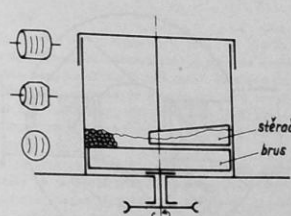
Vidíme, že se dodávají rozměry v metrických i palcových velikostech, všechny rozměry z chromové oceli a vysoké přesnosti, některé rozměry v normálních a některé v supervyšších přesnostech. Ve vysoké a supervyšší přesnosti se dodává též řada z nerezavějící oceli.

en acier au chrome aus Chromstahl			Dimensions Dimensionen		en acier inoxydable aus rostfreiem Stahl		
RS (standard)	précision Präzision		mm	pouce Zoll	précision Präzision		XC1M (super)
	C3 (haute) (hoht)	C1 (super)			XC3 (haute) (hoht)	XC1H (super)	
	x		0,30				
	x		0,35				
	x	x	0,397	1/8"			
	x		0,50				
	x		0,60		x		x
	x		0,65				
	x		0,70				
	x	x	0,794	1/8"			
	x		1,00		x		x
	x	x	1,15		x		x
	x	x	1,25		x		x
	x		1,45		x		x
x			1,50				
x	x	x	1,588	1/8"	x		x
	x		1,75		x		x
x			2,00				
		x	2,10		x		x
			2,25				
x	x	x	2,381	1/8"			
x	x	x	2,45		x		x
x			2,50		x		x
	x		2,95				
	x	x	2,778	1/8"	x		x
x			3,175	1/8"	x		x

x = dodávané velikosti



49



50

Tolerance výsoce přesných kuliček jsou :

průměr $\pm 0,25 \mu\text{m}$, kulatost $0,15 \mu\text{m}$,

superpřesných - průměr $\pm 0,10 \mu\text{m}$,

kulatost $0,10 \mu\text{m}$

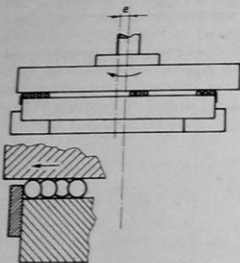
normálních - průměr $\pm 0,5 \mu\text{m}$,

kulatost $0,3 \mu\text{m}$.

Volné kuličky se prodávají v 1000kusovém balení nebo v násobcích tisícovek. (Kuličky $\pm 0,2 \text{ mm}$ se vejde do 1 litru 4 kg tj. 125 milionů kusů).

Při výrobě je výchozím materiálem drát, z něhož se sekají válečky a posměry

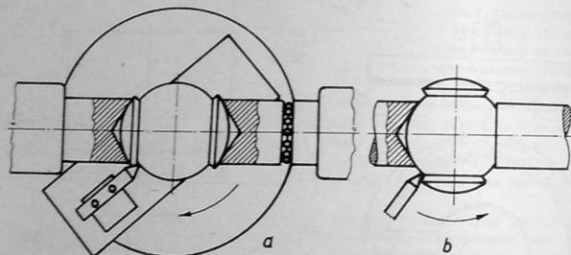
$L/D = 1$. Vzhledem k malým rozměrům se kuličky nelisují, ale hned omlázejí, obr. 50 nebo brouší. Omlázení se provádí rovnostranným válečkem. Potom následuje broušení obr. 49 mezi plochými kotouči, z nichž jeden má soustředné amuloidové drážky, druhý je správně plochý. Kotouče jsou litinové a mezi ně se přivádí jemné brusivo s kapalinou, např. petrolejem. Drákování kotoučů má výřez, aby se kuličky mohly zavést do jiné drážky. Nejmenší kuličky se brouší mezi plochými kotouči bez drážek, obr. 51. Brusivo se sjezuje, takže přejde do lapování a leštění oxidem železitým (leštící červení). Poháněný horní kotouč je zde většinou a jeho osa je oproti pevnému kotouči excentrická. Proti vypadnutí jsou kuličky na spodním kotouči chráněny obřížkou.



51

kách. V malých množstvích se soustruží z plného materiálu.

Kování v zápuskách nelze docílit tak přesného tvaru, aby koule mohla být hned broušena a proto se většinou i velké koule soustruží. Soustruh k tomu účelu

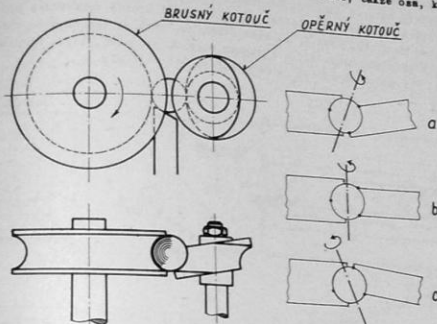


52

je opatřen otočným suportem se svislou osou otáčení, která protíná osu vřetena. Soustruží se v dółech, obr. 52. Koule se sevře mezi vřetenem a koník mělce rybovanými dutými kužely a soustruží se pás podle obr. 52 a. Potom se koule vyjme s natočí o 90° kolem svislé osy a upne podle obr. 52 b. Uspřádají-li se upínací kužely tak, aby mohl obejít alespoň 90° středového dluhu, osoustruší se celé koule na dvě upnutí. Pro broušení se ponechá přídavek 0,3 - 0,5 mm.

Čím větší koule, tím obtížnější je její rovnoměrné prokalení. Vznikají povrchové trhlinky nebo méně prokalená místa povrchu, která se pak rychleji opotřebují.

Kalené koule se brouší jednotlivě na bezhraté brusce se speciální uspořádáním podávacího kotouče. Brusný kotouč je profilový s kruhovou drážkou podle obr. 53. Potíží je v tom, že saktivení dráček obou kotoučů by se mělo měnit jak koule na průměru ubývá. Vodicí kotouč je postaven šikmo k ose hřídele, k němuž drážka v něm má za osu rotace osu hřídele. Podle obr. 53 a, b, c je vidět, jak se postupně mění poloha přítlačovacích míst vodicího kotouče, takže osa, kolem níž



53

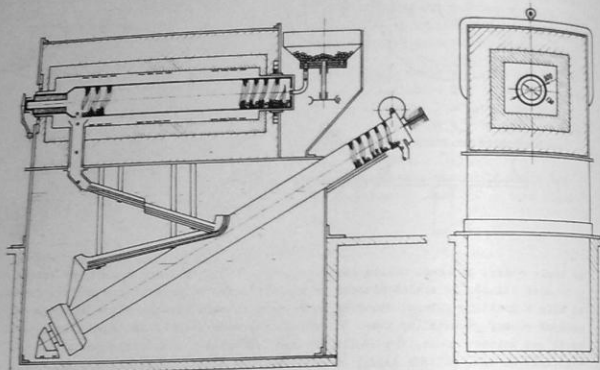
se koule otáčí, se mění. Odklon obou os je $12 - 15^\circ$. Vzhledem k tomu, že drážka v brusném kotouči je značně hluboká (v profilu skoro půlkružnice) a protože dochází vždy k určitému skluzu, vystředí koule mezi kotouči všechny možné polohy a má poměrně přesný geometrický tvar. Poloměr drážky podávacího kotouče se dělá trochu menší než poloměr koule, aby seděla při kroužení drážky, což podmiňuje její přesalování. Naopak, poloměr drážky brusného kotouče se opotřebuje zvětšuje, takže dotyk s koulí je stále políží dna drážky.

Broušení probíhá na dvakrát nebo na třikrát, vždy a jemnějším brusem, menšími přídavky a těsnějšími kotouči. Koule se podávají mezi kotouče shora, podávají se zatížením v podobě kleští nebo kořičky a stejně se vyjímají. Výkonem stroje pro broušení se pohybuje podle průměru koulí mezi 20 - 100 ks/h. Po kalení se brouší nejmenšími kotoučem a konečný finiš se dosáhne lapováním a leštěním.

Teplné zpracování. Od všech ložiskových materiálů požadujeme vysokou prokalitelnost. Měřitkem prokalitelnosti je tloušťka povrchové vrstvy, která po zakalení má vyhovující tvrdost. V tom smyslu se uplatní legující chrom. Zpomaluje krystalizační přeměny při kalení. Proto se dosáhne vhodné struktury i při pomalém ochlazení. U malých kuliček a ložiskových kroužků probíhá ochlazení poměrně rychle ve srovnání se součástmi objemnými. Proto lze říci, že u malých součástí se vystačí s menším obsahem chromu než u velkých a zároveň malé součásti stačí zahřát na nižší teplotu. Rychlost ochlazení se řídí druhem kapaliny a její teplotou. Z nejpoužívanějších kapalin jsou: obyčejná voda, slaná voda, minerální oleje různé viskozity. Zhruba platí, že malé kuličky, válečky a jehly lze kalit v minerálních olejích a teplotou kolem 20°C při rozměrech kalící teploty $780 - 800^\circ\text{C}$.

Ke kalení kuliček, válečků, souček, kuželků a jehel se v průmyslu ložisek používají kontinuální pece různých typů, například pece zvané "trkací". Každá pece prochází šroubovannou plošinou, na kterou se aťpe vrátá kuliček. Ty poskují jako na vibrační transportéru tís, še plošina koná nesinusový oscilační pohyb (vpréd posaly, vzad rychlý). obr. 54

Základní součástí pece je mufle, což je dlouhý válec z ohnivzdorné oceli, který má uvnitř dlouhé žebro, navinuté po celé délce ve tvaru šroubovice. Válec se otáčí uvnitř vytápěného prostoru. Jeho otáčky se dají regulovat v několika stupních, čímž se seřídí doba ohřevu. Rychlosti otáčení jsou např. 0,5 - 2 ot/min v šesti stupních, takže regulace je dosti jemná. Při počtu závitů 15 je doba ohřevu 7,5 - 30 min.



54

Prostor, ve kterém se válec otáčí, je vytvořen šamotovou vyzdívkou, vytápěná je odporové, elektrické a bývá rozdělena směrem postupujících součástí na dvě až tři teplotní pásma se vzrůstající teplotou. Mufle se otáčí elektromotorem. Kuličky jsou zaváděny podavačem, který je vpouští dnem bubnu do trubky a ta je zavede čelem do mufle. Každá kulička projde mezi žebry za stejnou dobu a otvorem ve stěně válce propadne do šachty, která ji zavede do vody.

Velké kuličky musí při vstupu do kapaliny rotovat. Při vstupu kapalinou se na odtokové straně vytváří plynný pytel a kulička je tím izolována.

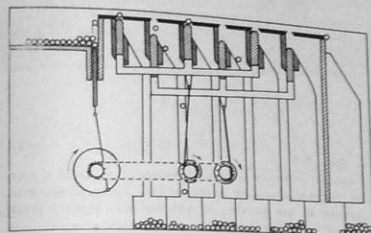
Kuličky se prokuttají šlabem na dno kalící nádrže, odkud je vynáší šnakový podavač do ochranné. Rozměry mufle podle obr. 54 jsou : délka 2,5 m, vnější průměr 30 cm, tloušťka stěny 1,5 cm, vnitřní průměr žebra 130 mm. Tyto pece mají výhodu v tom, že u nich lze použít ochranné atmosféry, která zabráňuje vzniku okujů a odumhlivost povrchu, takže lze zmenšit přídávky na konečné broušení.

Součástí ložisek se po kalení popouštějí. Sleduje se tím snaha o odstranění vnitřních prutů vzniklých při kalení, dále odstranění křehkosti a zvýšení houževnatosti.

Popouštění se přeměňuje zbytky austenitické struktury na martenit, ale nastává i proměny martenitické struktury.

Někdy se po popouštění kuličky zarážují. Při zarážování dochází k rychlému rospadu austenitu v martenit. Přesná je nejrychlejší, následuje-li zarážení po zakalení, nikoliv po popouštění. Klobouky zarážení jsou - 10 až - 20°C, vyjímka se jde na teploty až - 180°C.

Předběžné třídění. Tepelně zpracované kuličky se brouší. Po kalení projdou ještě kontrolou (tvrdosti, metalografickou) a musí se roztříditi (hlavně velké kuličky) podle velikosti v úšlech tolerancích na několik skupin (4 - 8). Tím se dosáhne, že kuličky v jedné skupině se liší jen o 5 - 10 µm, čímž je značně usnadněno a skvalitněno broušení. Třídění probíhá na automatech různých konstrukcí.

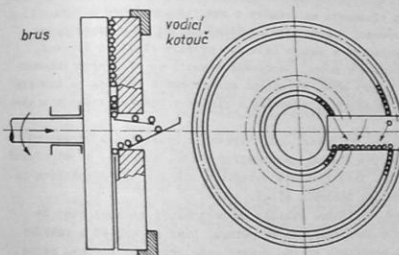


55

má tak, že první je nejmenší a poslední největší. Kuličky se dokuttají k první šterbině a zapadnou do ní. Menší propadnou do přilehlé, větší zstanou viset, ale v následující okamžiku jsou vystrženy lištami, spojenými vždy 1,3,5 a 2,4,6, takže se valí dál až na dlouhou svou šterbinu.

Všechny lišty se pohybují klikovým mechanismem.

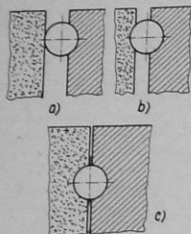
Broušení. Roztříděné kuličky se sypou do zásobníku broušicího stroje. Každá třída s větším rozměrem bude potřebovat větší úbrus a tím delší dobu broušení, důležitě však je, že ve třídě nejsou kuličky větších odchylek. Kalené kuličky se brouší ve dvou etapách.



56

První je předběžné broušení, druhé broušení nažisto. Schéma stroje je podobné jako u stroje pilovacího. Kuličky jsou ale vedeny v koncentrických drážkách litinového kotouče. Kotouč je přerušovaný, aby se kuličky mohly přesílovat do různých drážek.

Místo pilovavého kotouče je velký brusný kotouč obr. 56. Ten je zpočátku rovný, později se v něm opotřebení vytvoří drážky. Opatřebává se i vodící litinový kotouč. Jsou-li drážky již tak hluboké, že hrozí broušení čel o sebe, broušený nebo



57

i litinový kotouč se orovňají, obr. 57.

Abý všechny kuličky měly stejné podmínky úbrusu, přeskupují se každé z drážky do drážky. Tlak mezi kotouči je regulovatelný pružinou nebo hydraulicky. Broušení není časově předurčeno, brouší se tak dlouho, až kuličky mají správný průměr.

Nejpřesnější kuličky se lapují mezi litinovými kotouči jemnou suspenzí brusného prášku s olejem, popřípadě petrolejem. Kotouče jsou buď vícedrážkové nebo u nejpřesnějších kuliček jednodrážkové podle obr. 58. Drážka je zde klínovitá nebo anuloidová a kuličky mohou být vedeny klecí z mědi nebo mosazi. Toto broušení (lapování) trvá někdy mnoho hodin. Jak je zřejmé, mají zde kuličky všechny předpoklady k tomu, aby se stroje vyřídily s minimálními odchylkami. Proto kuličky tímto způsobem lapované se nemíchají s jinými a přijdou do jednoho ložiska. Takto finišované kuličky dosahují přesnosti na průměru i ovalitě menší než $0,1 \mu\text{m}$.

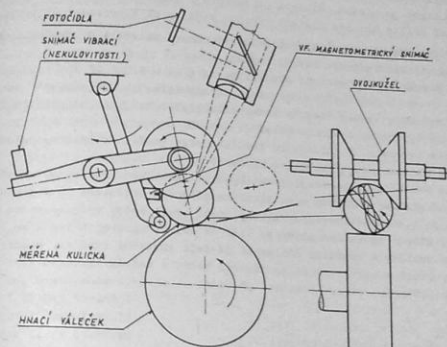
Leštění. Je poslední operací v opracování kuliček. Leští se v bubnech, ve kterých je nalita leštící suspenze s jemnými lešticími prášky (leštící červení, leštící zelení, vídeňským vápnem a vodou) popřípadě nasucho ve dřevěných bubnech se dřevěnými drtinami nebo kousky kůže. K leštění miniaturních kuliček se používá též měkkých pilin mosazných, zinkových, cínových a jiných v různých směsích s parafinem nebo oleji.

Kontrola kuliček. Kontrola doprovází celý výrobní proces. Avšak teprve po poslední operaci nastává kontrola hlavní, rozhodující proto, zda, nebo v jak přesné třídě budou kuličky propuštěny. Tato kontrola zvláště u kuliček nejpřesnějších je všestranná a zahrnuje následující kontroly dílčí.

Kontrola povrchu. Hotové, vyčištěné kuličky se kontrolují zrakem, nebo na automatu. Při zrakové kontrole jsou nasypany na podnos, jímž se kolébá a kuličky se směrně převálují. Musí být osvětleny silným rozptýleným světlem. Projevují se tu trhlinky a skrýbnutí, přimíseniny materiálu a jsou vidět i plošky oduhlčené, nebo sulfidické a oxidické. Vadné kuličky se vybírají pinzetou. Najdou se zde i kuličky, které utrpěly závažnější již srobení plošky. Pro kontrolu je práce namáhavá. Silné světlo bije do očí a úporná pozornost unavuje. Nemůže proto pozorovat nepřes-

tržitě, ale s delšími přestávkami. Kontrola se opakuje několikrát se sebou. Tato kontrola se dá do značné míry nahradit automaty.

Na obr. 59 je kombinovaný automat AVIKO (SOMET), který kontroluje kuličky třemi metodami.



59

Mechanická část automatu má hnací váleček, na nějž podávací spustí kuličku. Kulička je přitlačována pružině na hnací váleček dvojkůžele, který je volně otočný v ložiskách. Dvojkůžel je asymetrický, což způsobuje, že body dotyku s kuličkou mají nestojně vzdálenosti od osy (spojnice bodů dotyku je šikmá osa). Tím se kulička protáhne jako klubíčko.

Automat kontroluje následujícími metodami:

1. Optoelektronická kontrola. Světelný svazek je soustředěn objektivem na povrch kuličky tak, že zasahuje plošku asi $0,1 \text{ mm}^2$. Dvojkůžel je volen tak, aby se pod světelnou ploškou otočil celý povrch kuličky. Přijde-li trhlinka, nebo jiná vada do světelného políčka, změní se odrazivost svazku, fotočidlo vyšle signál do paměti elektroniky a ta vyřadí kuličku do zmetkové přihrádky.

Velikost světelné plošky lze měnit v několika stupních podle velikosti kuliček. Je zřejmé, že je-li ploška velká, pak stejný defekt vyvolá menší pokles napětí, kontrola je méně citlivá. Zmenšení plošky se citlivost zvyšuje, ale k detekci celého povrchu kuličky je potřeba více otáček, tedy delší čas.

2. Magnetická kontrola. Při leštění se povrchové vrstvičky kuličky rostí, takže některé trhlinky jsou neviditelné. Podobně bublinky, nebo příměsi materiálu atd. Tyto vady i pod povrchem zaznamená magnetická metoda. Snímač je nastaven těsně k povrchu kuličky, má pólové nástavce odděleny úzkou štrbinou, takže každá vnitřní vada vyvolá změnu magnetického pole,

přerušení siločar. Hlavička mále zaznamenat defekty do hloubky 25 μ m. Rysky nebo praskliny o hloubce 100 μ m se již spolehlivě vytřídí. Elektronika je společná jako u optického snímání.

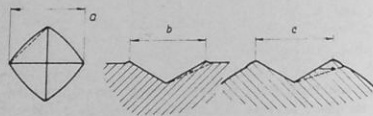
3. Vibrační kontrola. Dvojkužel je přitlačován ke kuličce, která jím otáčí. Je-li kulička ovalitá, nebo hranatá, rozkmitá při rotaci dvojkužel a páku, ve které je uložen. Vibrace se zachycují indukčním snímačem a při přesazení určité hranice dostane výhybka opět povel k vyřazení kuličky.

Je zřejmé, že všechny rotující součásti, hnací váleček, dvojkužel i operný váleček magnetické snímáče nesmí být házet.

Výkon popsaného automatu je pro kuličky ϕ 6 mm - 9/32" 27 200 kusů/h, ϕ 21/32" - 18 mm 7 400 kusů/h. Při všech těchto měřeních, zejména při optickém snímání se vyžaduje vysoká čistota povrchu kuliček a bezprašnost prostředí. Podobný automat se vyrábí na kontrolu válečků.

Kontrola tvrdosti. Z vtskových zkoušek nelze použít Brinellovy metody. Během měření Rockwellova, eventuálně Vickersova.

Hodnoty tvrdosti, odpovídající velikosti vtsku jsou tabelovány za předpokladu, že měřená plocha je rovinná a že tloušťka měřeného materiálu je dostatečně velká. Nám jde o zkoušení povrchu kuličky, není proto možno vybrušovat na ní plochu. Tvrdosti měřené na kulové ploše se liší od hodnot správných tím více, čím menší je průměr kuličky a současně čím menší je její skutečná tvrdost. Rozdíl mezi měřeními na rovině a kulové ploše je náročně vidět z metody Vickersovy. U nejmenších kuliček čtvereček vtsku zřetelně přechází do současně kulového tvaru obr. 60 a.



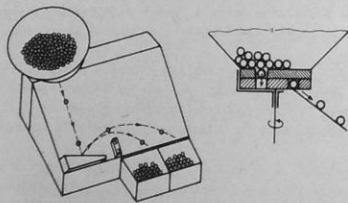
60

Přičítané hodnoty jsou v tabulkách. Největší hodnoty se přičítají nejmenším kuličkám o malé tvrdosti.

U kuliček ϕ 15 mm není potřeba již korekci provádět. Tyto destruktivní metody mohou postihnout jen nepatrný počet kuliček ze série.

Nedestruktivní - provozní

Kontrola je založena na principu skleroskopu. Metoda porovnává výšku pádu s výškou odrazu spuštěné kuličky a z toho stanoví tvrdost. Poněvadž zde je nutno automaticky zeřadit kuličky podle výšky odrazu, přizpůsobil se přístroj tak, že kulička nepadá volným pádem, ale valí se po nakloněné rovině podle obr. 61 vždy se stejnou výškou, do které ji dopraví podavač.



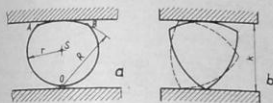
61

Na spodní straně nakloněné roviny je jí do cesty postavena skloněná kovadlinka,

takže kuličce odskočí šikmo a obloukem dopadne do příslušné přihrádky. Výška skoků není příliš velká, aby se kuličky nepoškodily. Rozptyl má být ještě zvlášť vložena magnetem.

Kontrola pevnosti (na roztřecí). Několik kuliček ze série se vezme na drti. Stanoví se průměrná hodnota pevnosti řady kuliček. Podobně jako při zkoušce tvrdosti se tu má prokázat hlavně kvalita tepelného zpracování.

Kontrola kulovitosti. Žádná kulička nemá absolutně přesnou. Při měření v různých směry nedají změřit a má-li taková "kulatá" kulička ještě níměřitelný přesný průměr, dá se jí použít jako normálu pro různé komparační a seřizovací účely. Kuličky nekulaté mají různé geometrické odchylky. Bližší-li se víceméně elipchýchod o hranatosti. Při pilování a broušení dochází k výskytu tzv. aféroidů, obr. 62 a. Nara-



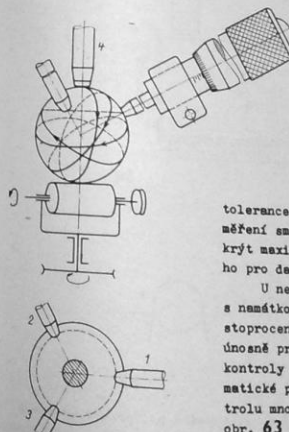
62

stane se okamžitým středem otáčení bod O a na protější straně se obrukuje plocha s radiusem R na místo r. Tím vzniknou na kouli dvě hrany A, B, které se později stanou opět body analogickými O. Vzniká nekulatost.

Do extrému dovedený případ je na obr. 62 b (Cardan). U těchto tělísek, ať nejsou kulové, naměříme mezi plamperalimetry dotyk konstantní rozměr K. Nedají se proto přesně změřit. Odhalí se metoda trojbodová (v prizmátu) nebo sférometrická.

V praxi i při měřeních bylo prokázáno, že nekulatost je v ložisku větší závadou než rozdílnost průměrů kuliček o stejné hodnoty. Byly tedy stanoveny normami velikosti hodnot nekulatosti v závislosti na průměrové toleranci tak, že se připouští nekulatost maximálně jako polovina tolerance průměrové. Na kontrole to znamená, že při měření má ručka přístroje se protáčení kuličky vykřít maximálně polovinu tolerančního políčka určeného pro daný průměr kuliček a nesmí z něho vyjít.

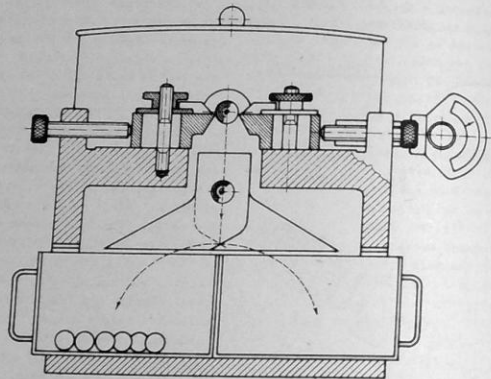
U nejpřesnějších ložisek se nelze spokojit s namátkovou kontrolou kulatosti a je nutná kontrola stoprocentní. Laboratorní měření by se kuličky neumožněn prodávaly. Na druhé straně automatizování kontroly činí potíže. Byly však sestaveny poloautomatické přístroje na měření nekulatosti, které kontrolu mnohonásobně zrychlí. Jeden z nich je na obr. 63. Máte tříditi kuličky ϕ 5 - 16 mm do skupin po 0,2 μ m a ovalitě 0,1 μ m. Měření je založeno na principu třífázového sférometru. Funkce je následu-



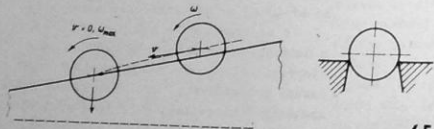
63

Jící : kuličky jsou dopravovány talířovým podavačem do místa měření. Podaná kulička je přitlačena k opěrkám pružným pryžovým válečkem, který rotuje podle zvolené souřadnice kolem vodorovné osy a je tudíž unášena třením, takže stále mění svoji osu otáčení. Opěrky jsou podle normálové kuličky nastaveny mikrometrickými šrouby. Nyní je na rotující kuličku spuštěn měřicí dotyk optikátoru (mikrokatodu, který má místo ručky zrcátka a na stupnici se promítá úzký světelný paprsek). Jak kulička rychle rotuje, vykryje paprsek světelný políčko o určité šířce a poloze. Šířka políčka je měřítkem nekulatosti, poloha ukazuje místo v tolerančním poli. Kontrolér sleduje políčko a podle posrovaných hodnot stiskne knoflík, kterým při vyhovující nekulatosti zařadí kuličku do určité průměrové skupiny.

Přístroj má takovou výkonnost, jak rychle se dovede kontrolér rozhodovat pro zařazení jednotlivých kuliček. Poněvadž je měřena průměrová velikost a nekulatost v celkové toleranci 0,2 μ m, je tento přístroj jedním z nejpřesnějších.



64



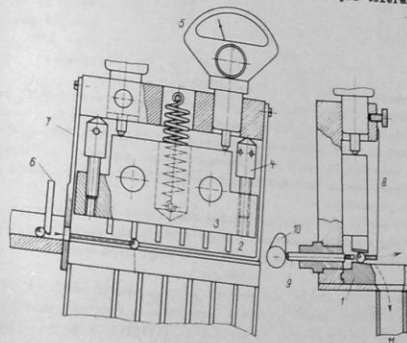
65

Kontrola na průměr. Polosautomat z obr. 63 se používá pro přesné výběrové kuličky. V běžných ložiskách nejsou však tak malé tolerance na průměru ani v ovalitě a proto se třídění provádí pouze na průměr. Je-li potřeba, nechají se kuličky

projít třídícím strojem několikrát, čímž se případné větší nepřesnosti projeví. Přístroj je výkonný. Proto se třídí převážně na automatech. Kuličky přicházející z běžné výroby mají přece jen dosti velké rozdíly průměrů. Ukazuje se výhodné, tříditi je např. nadvakrát, jinak by přístroj musel mít mnoho stupňů. Druhá třídění se tyto kuličky, naličící se více než o 5 μ m a teprve ve strojích kalibrovacích po 1 μ m popř. ještě dále.

Automat na předběžné třídění je na obr. 64. Podstatnou částí jsou dvě ocelové lišty. Jejich horní plocha tvoří nakloněnou rovinu pod úhlem 10 až 20°. Lišty jsou přesně vypolované a jejich hrany tvoří rozšiřující se štěrbiny. Štěrbiny se nastaví nejdříve lišty rovnoběžně pomocí základních měřák a teprve potom se upraví rozšíření štěrbiny při odřívání na dvou mikrokátodách. Deset let jsou příčky datí ("cik cak") do přístroje, kterých je celkem dvanáct. Deset let ty lišty automatu vysezeny podavačem do klínové drážky, které je svede mezi lišty postupně (valivě) rychlost se zmenšuje, ale rotační rychlost roste jak se valí po rotaci a v místě, kde rozstup lišt odpovídá jejich průměru, přičemž rychle přístroj hodinový výkon automatu je u kuliček ϕ 6 - 10 mm 3000 ks. Potom musí být přelapovány a mezitím se zařadí jiný pár.

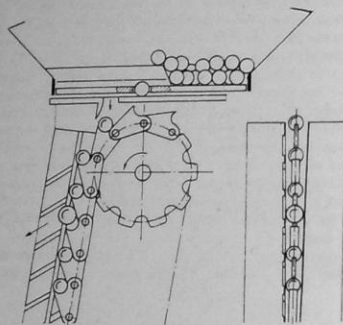
Automat na přesné třídění (kalibrovací) je na obr. 66. Tento typ je pro malé kuličky od 1,5 do 6 mm. Třídí se s přesností 1 μ m na čtyři toleranční skupiny a + - . Podle obrázku je tu řada kalibrů, již jednu plochu, souvislou, tvoří tuhá roviná lišta 1, která je skloněna ve směru valení kuliček a ještě ve směru přístroje (obr. vpravo). Druhé plochy řady kalibrů jsou vytvořeny hřebem 2. Výstupky hřebu jsou buď zasazeny, nebo vyroběny. Spodní lišta 1 hřebu jsou se slutých kerbidů. Jednotlivé výstupky hřebu jsou v jedné rovině a vzdálenosti mezi nimi a spodní lištou se seřídí náklonem jejich drážky 3 pomocí mikrometrických



66.

kých šroubů 4 přičemž se rozešup kontroluje dvěma mikrokřtoly 5. Automat funguje tak, že sadíka 6 vypustí kuličku. Je-li cesta volná, je díra v šoupátku 7 nastavena proti dráze kuličky a ta volně projde. V důsledku dvojího sklonu lišty 1 se po ní kulička valí a je v dotyku s pravou, rovnou stranou vyvažovače 8. U odpovídajícího kalibru se kulička srazí a vyvažovač 8, který je pohybován vpravo šířkou 9 a vačkou 10 ji shodí do příslušné přihrádky 11. Automat má výkon kolem 4 500 ks/h.

Kalibrovací automat, vysoké výkonnosti je na obr. 67.



67

výkon je u malých kuliček $\phi 4 - 6$ mm 18 000 ks/h.

Kromě těchto, čistě mechanických automatů (velmi spolehlivých) se rozšiřují automaty elektromechanické, u nichž zásobníky, podavače, měřicí kontakty a podobné jsou mechanické, ale snímáče elektrické, např. indukční. Změnou elektrických parametrů je možno citlivost a tedy přesnost měření zvyšovat. Přístroje mají elektromagnetické paměti (automat ROTO n.p. SOMET), které z podavače seřadí kuličku do odlehlejší přihrádky.

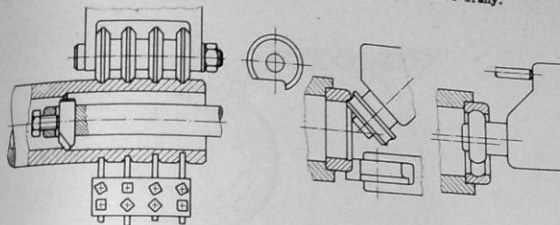
Automaty, měřicí dvoubodovým způsobem nemohou na jedno měření zjistit ovalitu. Proto se někdy určité rozměrové skupiny (přihrádky) nechá projít automatem vícekrát. Kuličky, které spadnou do jiné přihrádky, jsou ovalné.

Ložiskové kroužky. Vnější ani vnitřní kroužky nemají většinou žádné vyjíměné strojírenské nároky, kromě přesnosti opracování a tvarové stability. Oproti kuličce, která má jediný rozměr, je kroužek složitější. Běžná je technologie opracování vnějších a vnitřních válcových ploch a čel kroužků, náročné je zhotovení přesných a hladkých valivých dráh.

Přesnost kroužků nikdy nedosahuje přesnosti kuliček. Také tvarové stability je horší. Kroužky jsou relativně tenké a tedy poddajné, přesnost ložiska závisí směřně na jeho montáži do stroje.

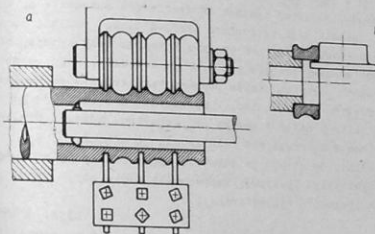
Hladkost oběžných drah je vždy horší než u kuliček.

Většina kroužků se vyrábí soustružením z trubek, nebo u nejasnějších kroužků, vnějších i vnitřních, z plného tyčového materiálu. U normalizovaných ložisek, protože jde o velké série nebo hromadnou výrobu, se používá automatů (víceúčelových) různých typů, pokud možno tvarových nožů, hlavně pro valivé dráhy.



68

Na obr. 68 je schematicky znázorněn postup výroby vnějšího kroužku. Operace přesoustružení vnitřního průměru, přesoustružení vnějšího průměru, seřizování hran, upínání, provádí automat a další operace, zarovnání čel, seoblení hran, vysoustružení oběžné dráhy se dokončí na polcautomatu. Podobné soustružení vnitřního kroužku z trubky je znázorněno na obr. 69.



69.

Broušení kroužků. První operací na kalené kroužky je broušení jeho rovinných čel. Jedno čelo se považuje za základní a je označeno více seoblenou hranou.

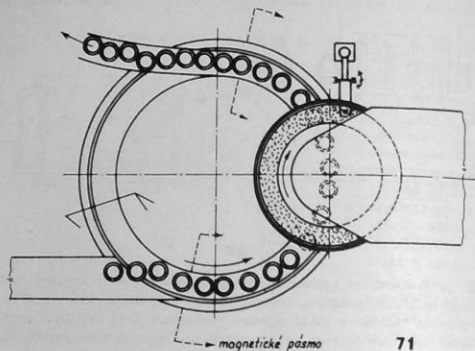
Od tohoto čela se měří vzdálenost valivé dráhy a kolmost válcové plochy. Při broušení čel je nutné dodržovat dvě hodnoty. Správnou výšku kroužku a rovnoběžnost čel. Obě hodnoty jsou předepsány normou.

Pokud nejsou čela při kalení sbracena, obr. 70, vyjde po trojnásobném broušení kroužek dostatečně přesně. Pokroucený kroužek magnetický stál při



upnutí do jisté míry pružné vyrovná, ale po uvolnění se opět skrutí, takže čela ani po trojím broušení nemusí být rovinná.

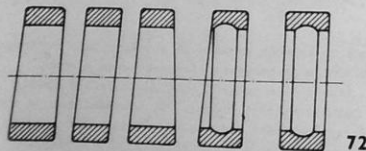
Broušící stroje jsou buď automaty nebo poloautomaty, většinou s vertikálními vřeteny, a pracují např. podle schématu na obr. 71. Brušený kotouč se otáčí



71

nad upínacím stolem a jeho vzdálenost představuje výšku kroužku. Poněvadž se během času opotřebuje, je stroj opatřen zařízením pro automatickou kontrolu a přísuv kotouče. Upínací stůl je rovinná ocelová deska, pod níž je na obvodu řada elektromagnetů. Část obvodu pod brušeným kotoučem tedy kroužky přitahuje. Jakmile přebroušené kroužky přejdou pod brušeným kotoučem, přijdou do pásma, kde jedna cívka má opačnou polaritu, takže smagnetovaný kroužek se uvolní a následující kroužky jej odstrčí do zásobníku. V nesmagnetované části je stírací zařízení pro čištění od pilin a omývací tryška pro kapalinu. Některé brusky jsou horizontální, dvouvrstevné a brousí obě čela kroužku současně.

Pro montáž ložisek do stroje je důležité, aby kroužky byly kruhové válce přímé, s rovnoběžnými čely. Vyskytují nepřesnosti podle obr. 72 a další komplikace může nastat nepřesností valivé drážky.



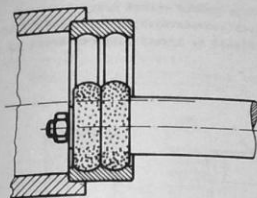
72

Vnější průměr vnějších kroužků se brousí na beshrotých bruskách nebo pomocí trnů na bruskách hrotových.

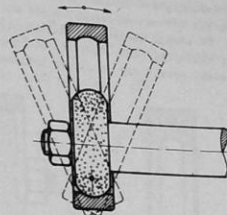
Válcový průměr vnitřních kroužků se brousí na bruskách na díry.

Broušení valivých dráh. Obě kroužky mají dráhy předsoustruženy tvarově

nošem. Dráha má kruhový profil poloměru většinou, než je poloměr kuličky (anuloid). Jsou dva způsoby přebroušování: při prvním dostane brušený kotouč seoblení odpovídající poloměru drážky, obr. 73, a brousí se radiálními přísuvy, zapichovacími způsoby, jedna nebo i dvě drážky. Při tomto způsobu broušení se profilový kotouč



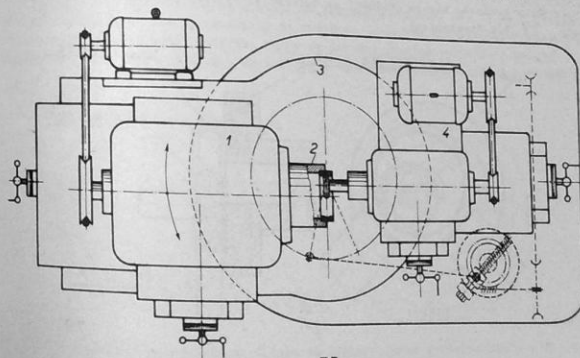
73



74

brzy opotřebí a musí se stále orovnávat, a za druhé všechny rýhy jsou ve směru valení kuliček.

Jiný způsob broušení, který vyžaduje speciální stroje ukazuje obr. 74. Ložiskový kroužek, v tomto případě vnější je upnut do vřetena, se kterým se otáčí. Kromě toho ale dostává kývavý pohyb okolo svislé osy, která jde středem profilu anuloidové drážky. Brušený kotouč má poloměr profilu drážky. Rotací se brousí přesná drážka, která má stopy po broušení různě překříženy a brušený kotouč se orovná samočinně. Dostává jen radiální přísuv. Občas se profil opraví diamantem. Stejným způsobem se z vnějšku brousí vnitřní kroužek (oscilační broušení).

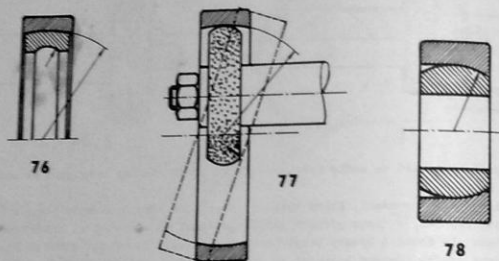


75

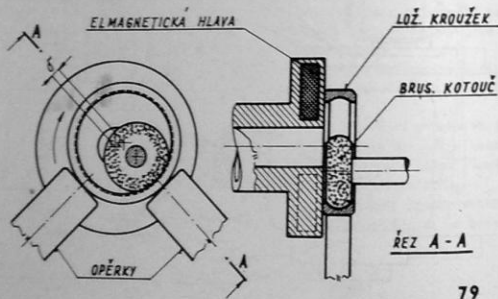
Schéma stroje pro oscilační broušení ukazuje obr. 75. 1 je vřeteník s

vřetenu 2. Vřeteník je upraven na masivní, avšak otočným uložením 3. Máte vykonávat dva křížové pohyby v rovině kolmé k vertikálnímu čepu, nutné pro to, aby střed amaloidového profilu mohl být nastaven do osy. Křížový pohyb okolo osy je přeměněn ojnici. Brusná vřeteno je uloženo na suportu 4, který má avšak osu je přeměněn ojnici. Brusná vřeteno je uloženo na suportu 4, který má avšak osu je přeměněn ojnici. Brusná vřeteno je uloženo na suportu 4, který má avšak osu je přeměněn ojnici.

Na stroji se brousí i kulové plochy ložisek samostatných, nebo kulových uložených kluzných, obr. 76, 77, 78. V tom případě se křížový pohyb odehrává se navedením avšak osy do středu ložiska.



Při broušení valivých drah existuje vždy problém kulatosti kroužků. I dobře vyrobené a udržované upínadla kroužky poněkud deformují. Pokud je kroužek upnut, je drážka kruhová, ale po uvolnění se deformuje. Výborný je způsob broušení podle obr. 79 (ČZ Strakonice).

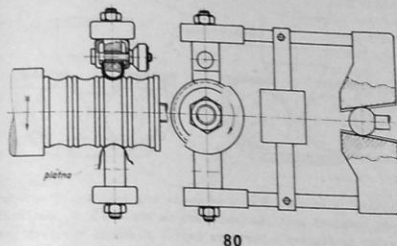


Kroužek je upnut axiálně se čelo na vřetenu, které má elektromagnetickou hlavu. Opěrky se seřídí tak, aby kroužek měl vůči ose stolu malou excentricitu

(stačí několik setin mm). Vaníkové rameno δ , na kterém je kroužek se rotací stále přitlačován k opěrce, přičemž na magnetickém stole mírně prokluzuje. Je-li kroužek oválný, sleduje brusný kotouček ovalitu. Tloušťka stěny tak zůstává konstantní a při zalisování je obvod i drážka kroužku kruhová.

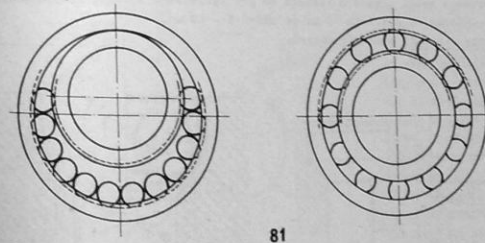
Vybroušené drážky se leští na malých strojích s rychloběžnými vřeteny, kam se upne několik kroužků vedle sebe. Obvodové rychlosti při leštění vnějších kroužků dosahují 900m/min, u vnitřních kroužků kolem 500 m/min a leští se jemnými brusnými drážky nebo pastami nanášenými na plátno. Leštění se odebere vrátka až 15mm. I když s hlediska drsnosti se leštění povrch zlepši, geometrický tvar drážek většinou utrpí na přesnosti.

Přípravek pro leštění drážek vnitřních kroužků je na obr. 80.



Čelisti jsou z oceli s takového profilu, aby při přiložení leštícího plátna vykazovaly poloměr drážky.

Montáž ložisek. Kulíčky se montují do ložisek podle obr. 81. Na podložce se vsadí vnitřní kroužek excentricky do vnějšího, a do vzniklé mešičkové mezery se srovná příslušný počet kulíček. Potom se vnitřní kroužek zatlačí do polohy soustředné tím, že se přitiskne na kulíčky a ty se posunutím ve valivých drahách

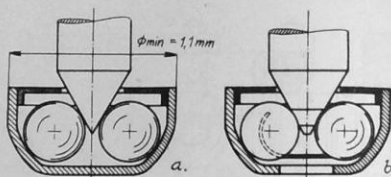


rozdělí rovnoměrně po rostečích. Z čela se přiloží jedna polovina klece a po otočení druhé polovina, a rozsvětlováním se klec spojí. U ložisek, v nichž kulíčky jsou těsně se musí vnější kroužek při montáži zahřát, popř. vnitřní srazit.

V hromadné výrobě montují někdy ložiska automaty.

Atypická ložiska mají některé zvláštnosti. Pokud jde o ložiska velká, od nichž se vyžaduje mimořádná přesnost, nebo o ložiska rychloběžných vřeten (např. brusek až 120 000 ot/min, nebo zuboláskafských vřetec, až 350 000 ot/min) není žádná speciální technologie. Zvýšená péče se věnuje dokonalému leštění valivých drah, výběru kuliček, kde se jde až na tolerance 0,1 μ m a diskontinuálnímu prořezávání při montáži.

Miniaturní ložiska mají rovněž okruh zvláštností, jak konstrukčních, tak i technologických. Tak např. řada ložisek nemá vnitřní kroužek a kuličky se valí přímo po hřídeli. Bylo tím možno snížit vnější průměr ložiska až na 1,1 mm, obr. 82.



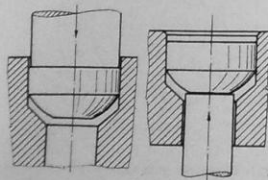
82

Schema tohoto ložiska je na obr. 85 a má pouze tři kuličky. První typy těchto ložisek měly pouhý kuželový hrot jak naznačeno na obr. 85 a. Poněvadž styk kuliček s hrotem je velmi nepříznivý a Hertzova napětí dosahují vysokých hodnot jak prokazuje výpočet, doporučuje firma RMB vybrušovat do hrotu valivou drážku, obr. 82 b. U nejmenšího ložiska lehké série je střední průměr drážky na hrotu pouze 0,12 mm.

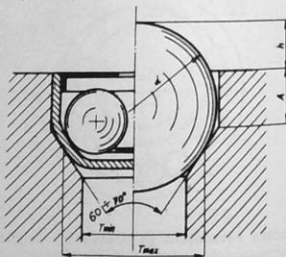
Vnější kroužky se tu nesoustředí. Jsou vylišovány zastudena z tenkého ocelového plíšku a zakaleny. Ložiska jsou samostatná a proto valivá dráha kuliček je kulová plocha. Po kalení se miska lapuje uvnitř, kdežto vnější průměr zůstává neobrobený, pouze hrany vzniklé odstřihováním se omílají v otočných bubnech.

Poněvadž tenoučké misky ložiska se mohou při kalení deformovat má sedlo pro ně být vyrobeno velmi přesné a ložisko se při zalisování srovná. Přesah podle velikosti ložiska od 1,1 do 10 mm se udává 5 - 10 μ m.

Způsoby lisování nosných nástrojů ukazují obr. 83.



83

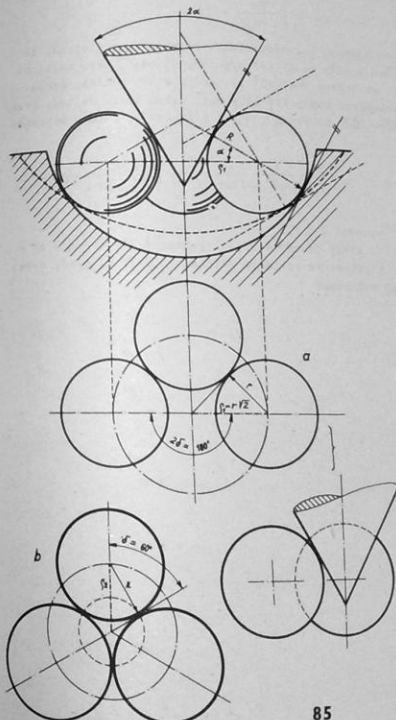


84

Při lisování ložiska do díry s opěrnou kuželovou plochou by bylo obtížné prořezání hloubky, aby ložisko mělo správnou axiální polohu. Proto jsou vypracovány tabulky, podle kterých se měření dá pohodlně kontrolovat kuličkou. Ze předpokladu 70° kužele, obr. 84 je ke každému průměru ložiska stanoven průměr kuličky, které se do sedla vloží. K tomu udává zároveň tabulka hodnotu h, o kterou kulička při správné hloubce převyšuje rovnu, na jejíž úrovni má být ložisko zalisováno. Bez použití kuličky je nutno měřit míru A, rovněž tabulkovanou. Dále jsou sestaveny ještě hodnoty T_{max} a T_{min} , udávající rozmezí dovoleného průměru díry, aby kulička správně seděla na kuželi a v druhém případě, aby miska mohla být vylišována. Z příkladu je vidět, že pro použití a montáž těchto speciálních ložisek

nemohou vzhledem k jejich rozmanitosti platit běžné normy a je nutno držet se návodů firem, obsažených v katalogu.

Postavíme se ještě u ložiska podle obr. 85, které má tři kuličky. Za určitých předpokladů se ložisko obejde bez klce. Tříkuličkové ložisko tohoto typu je zajímavé tím, že funguje dobře zároveň jako radiální i axiální a je to jediné ložisko, které je staticky určité, u něhož lze vypočítat zatížení jednotlivých kuliček i kdyby měly rozdílné průměry. Ložisko o větší počtu kuliček jsou již klce opatřena. Mají potom počet kuliček 5,6 nebo 7. Tříkuličkové ložisko musí mít správně voleny poměry mezi průměry kuliček, průměrem kulové misky a úhlem hrotu. Poněvadž běhají volně mohou se k sobě libovolně přibližovat. Kdyby se volil průměr misky příliš velký, mohlo by se stát, že se kuličky usadí těsně se sebou a hřídel vypadne do vzniklé mezery. Při



85

malém poloměru mísky by naopak kuličky dosedly na sebe. Možnost vypádnutí závisí na třech veličinách. Dvě z nich máme při výrobě ložiska dány, např. průměr kuliček a úhel hrotu. Kuličky určitého průměru leží vždy v jedné rovině, kolmé k ose hřídele. Podmínkou, aby hrot nevypadl je, že úhel mezi středy dvou kuliček, má-li se v jejich rovině, musí být menší než 180° , obr. 85 a. Z toho vyplývá pro vzdálenost středu kuliček od osy otáčení $\rho_1 = r\sqrt{2}$. V obrázku je nakreslena kulička s $2r$ v této vzdálenosti od osy a nasazen hrot o úhlu 2α .

Neuvažujeme-li tření, pak se kuličky při otáčení ložiska ustálí v takové poloze, že tečná rovina v bodě dotyku s kulelem je rovnoběžná s tečnou rovinou v bodě dotyku s kulovou miskou. Střed mísky bude tedy na normále v bodě dotyku koule a na ose hřídele. Z obr. vychází:

$$R \leq \frac{r\sqrt{2}}{\cos \alpha} + r = r \left(\frac{\sqrt{2}}{\cos \alpha} + 1 \right)$$

Dosažení sístváne tedy znamená hodnotu poloměru mísky. Abychom měli jistotu, že hrot nemůže vypádnout, uděláme R vždy menší než výpočet vychází, nebo zvětšíme α . Pro úhel $\alpha = 45^\circ$ tj. vrcholový úhel 90° vychází $R = 3r$. Kuličky mohou však běžet jen na takovém poloměru, aby ještě měly mezi sebou vůli. Je tedy druhý možný případ při $\delta = 60^\circ$ obr. 85 b. Potom: $\rho_1 = r/\sin 60^\circ$, a tomu odpovídající minimální R

$$R \geq \frac{r}{\sin 60^\circ} + r = r \left(\frac{1}{\sin 60^\circ \cos \alpha} + 1 \right) = r \left(\frac{2}{\sqrt{3} \cos \alpha} + 1 \right)$$

Pro vrcholový úhel hrotu 90° vychází $R = 2,6 r$.

U vrcholového úhlu $2\alpha = 60^\circ$, který je nejběžnější vychází $2,33r < R < 2,63 r$.

Vzhledem ke tření a tím i případným odlišným polohám kuliček je dobře držet se asi uprostřed mezi zmínými hodnotami.

OZUBENÁ KOLEČKA

Evolventní ozubení. Vůde v jemné mechanice, kde počet zubů neklesne pod 14 (12) dáváme přednost evolventnímu ozubení. Z výrobního hlediska má výhodu je jednoduchosti nástrojů, jejichž boky mohou být přímkové. Rovněž měření ozubení je jednodušší a přesnější, než u ozubení jiných typů.

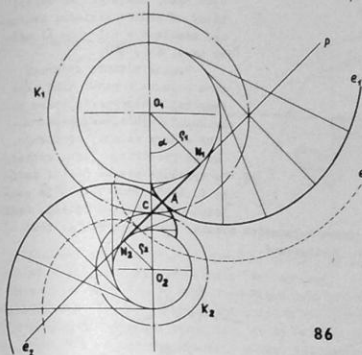
Odvaluje-li se přímka p po základní kružnici poloměru ρ_1 kola K_1 , obr. 86, opíše její bod A evolventu e_1 . Odvalování téže přímky po kružnici s poloměrem ρ_2 kola K_2 opíše tentýž bod A evolventu e_2 . Každý jiný bod téže přímky opisuje evolventu e_1' , která je ekvidistantou evolventy e_1 , atd. Evolventa, např. e_1 je

současně obálkou normály, vedené k přímce p bodem A. Při výrobě tvoří normálu břit frény, nože, nebo površka brusy. Sklon tvořící přímky od tečny kol v centrálním bodě C je 20° , v jemné mechanice, ale může být menší nebo větší, ve zvláštních případech 15° až 32° .

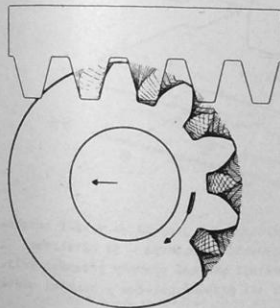
Podle ČSN máme 4 základní profily evolventního ozubení s malými moduly, např. základní profil se zvětšenou výškou zubů obr. 87 pro moduly 0,05 - 0,55 mm. Výška hlavy zubu je 1,1 m , hloubka patní části

$$1,1 m + c_{\alpha}(0,35 - 0,45)m.$$

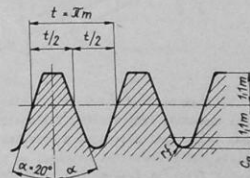
Tím se zvětší délka záběru a zlepšuje přesnost převodu. Zvětšením vůle mezi hlavovou a patní kružnicí se zlepšuje necitlivost ke znečištění. Podle ČSN 01 4609.3 uzavírá patní část profilu obloukem $r_f = 0,34 m$.



86



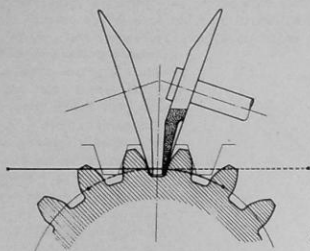
88



87

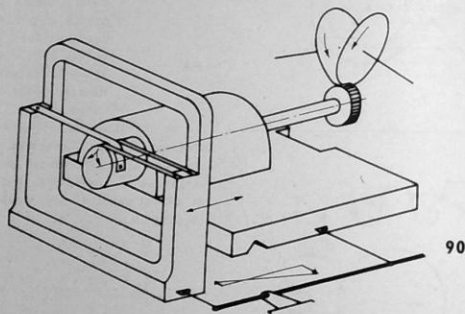
Hřeben může být hoblovací, vykonává příčkový řezný pohyb, obr. 88, nebo frézovací, vykonává rotační pohyb. Při frézování i hoblování působí mezi kolem a nástrojem velké řezné síly, které vyžadují tuhé masivní stroje.

Proto při výrobě nej přesnějších ozubení použijeme pouze dva boky hřebene (které opracovávají jednu zubovou mezuru). Boky jsou rovinnými dvojice bruných kotoučů, jako např. na obr. 89. Brus vyvozuje na broušené kolo nepatrné síly a tak vazbu mezi posouvajícími se hřebeny (brunými kotouči) a odvalujícími se kolem můžeme uskutečnit pomocí tenkých ocelových pásů, napjatých na válec, který má průměr základní kružnice, zmenšený o polovinu tloušťky pásu, obr. 90.



89

se pro přesné, kalené kola s vyjímkou nejmenších modulů. Touto metodou se také brousí nástroje na ozubení, např. ševingovací.

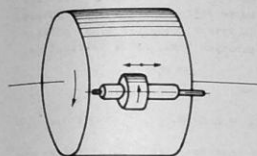


90

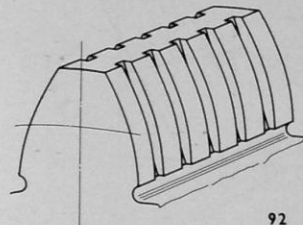
Většina ozubených kol (evolventních, cykloidních a jiných) se vyrábí odvalovacími metodami frézovacími, kde nástrojem – rovněž hřebenovým – je odvalovací fréza. Vazbu mezi nástrojem a obrobkem obstarávají ozubené převody přesnými koly. Odvalovacími frézovacími metodami se vyrábějí též ozubená kolečka a jemnými moduly (několik setin až desetina mm), vždy nekalené.

Stroje pro odvalovací frézování jsou principiálně stejné, jako ve strojírenství, vesměs zahraniční produkce (Micron, Safag, Thiel).

Válcové odvalovací frézy jsou nástroje hrubozubé, mívají u jemných modulů 10 – 20 zubů a proto zanechávají ozubení a relativně velkou drsností povrchu. Zabírající kola se potom navzájem opotřebovávají a mají značné tření. Proto u číselkových účhylnosť, kola i pastorky zabíháme. Ze tím účelem vyrábějí speciálně uvede do záběru a při otáčení se posouvá podél os kol. Počty zubů mají být ne-soudělné. Zabíhání se jemným lapovacími brusivem. Obr. 91 ukazuje jak lapovaný pastorek je vtačován do kola a koná oscilační pohyb.

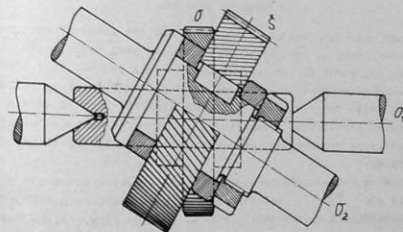


91



92

Ozubená kola (nekalená) s moduly nad 0,5 mm se zkvalitňují ševingen. Metoda spočívá v tom, že nástrojové kolo (ševingovací), které má vždy šikmé zuby, zabírá s kolem obráběným, jehož zuby jsou šikmé nebo přímé a je k němu značnou silou přitlačováno. Za rotace obou zabírajících kol dochází k relativnímu smýkání zubových boků podél povrchů. Tím, že na povrchu nástrojového kola vytvoříme drážky, obr. 92 a ostrými hranami, škrabe ševingovací nástroj z kola obráběného tenké šupinky materiálu. U kol s malými moduly jsou drážky probroušeny celým profilem zubů.



93

Obráběné kolo je vyfrézováno nebo vyhoblováno a přidávky pro ševing jsou na zubových bocích několik setin milimetru. Záběr obou kol je patrný z obr. 93. Ševingovací kolo š je upevněno na masivním hřídeli a dostává nucený rotační pohyb.

Obráběné kolo O je upevněno na trnu, který je volně otočný v hrotech. Je umístěno kolem ševingovací a dostává nucený posuvný pohyb podél své osy. Obě úložky jsou velmi tuhé. Na obr. 94 je grafické znázornění rychlostí v bodě dotyku obou kol. O_1 je osa kola obráběného, O_2 ševingovacího. Záb obráběného kola je od osy O_1 skloněn o úhel α_1 , zub nástrojového kola od osy O_2 o úhel α_2 . Ševingovací kolo dostává v bodě dotyku obvodovou rychlost V_0 , obráběné kolo je umístěno obvodovou rychlostí V_1 . Tyto rychlosti vyvolávají smýkový pohyb podél zubových boků, jehož velikost je

$$C = C_1 + C_2$$

$$C_1 = V_0 \sin \alpha_1; \quad C_2 = V_1 \sin \alpha_2$$

V_0 neznáme, proto ji vyjádříme pomocí V_1 .

$$V_0 = V_1 \frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1}$$

Potom $C = C_1 + C_2 = V_1 (\cos \alpha_2 \operatorname{tg} \alpha_1 + \sin \alpha_2)$

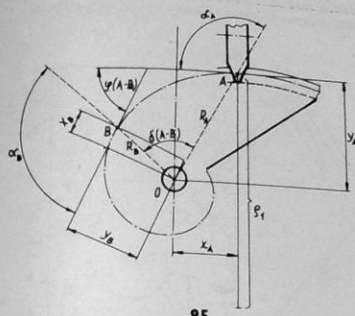
Ševingování se opraví některé nepřesnosti předfrézovaného kola:

1. hlávkost
2. tvar zubových boků
3. nepřesnost rosteří
4. drsnost povrchu.

Osazené kola (evolventní i jiná) vyrábíme též metodami dělicími. Tvar zubu a též zubové mezery se pro určitý modul osazení mění podle počtu zubů (tím vyšší počet zubů, tím rovnější jsou u evolventního kola zubové boky). Proto by pro každý počet zubů kola určitého modulu měla být zvláštní modulová fréza. V praxi se ale používá jedné frézy vždy pro několik počtů zubů (tzw. sadových fréz). Tím se poněkud zhorší geometrická přesnost převodu. Výhodou dělicích metod je to, že můžeme osazené kola vyrábět bez odvalovací frézky. Stačí frézka nástrojářská s dělicím aparátom.

Podobně se jednoduchým způsobem dají zhotovovat i nekruhová osazená kola, např. podle obr. 95. V bodě A frézujeme zubovou mezuru modulovou frézou. Osa frézy je mimoběžná k ose osazeného kola a aby zuby nebyly šikmé, musí být rovnoběžná s tečnou v bodě A. Mezi body A a B musí být celý počet rosteří z. t. Celý oblouk rosteřné čáry musí být spočítán, nebo graficky vyšetřen, takže pro všechny body A, B, C ... známe jejich průvodiče R_A, R_B, R_C ...

V bodě A nastavujeme následující hodnoty:



$$x_A = R_A \cos(\pi - \alpha_A)$$

$$y_A = R_A \sin(\pi - \alpha_A)$$

Při přechodu do bodu B musíme nastavit nové souřadnice

$$x_B = R_B \cos(\pi - \alpha_B)$$

$$y_B = R_B \sin(\pi - \alpha_B)$$

a natočíme dělicí aparát o úhel

$$\varphi(A-B) = \alpha_B + \delta(A-B) - \alpha_A$$

Pro modulovou frézu v bodě A platí

$$2P_A = Z_A m$$

kde Z_A je počet zubů kola, které by mělo průměr $2P_A$ při daném modulu m .

Z odvalovacích metod výroby nekruhových osazených koleček uvedeme pantografovou. Pantograf pracuje lineárně jestliže je v něm zachována podobnost trojúhelníků, obr. 96. Proto čep 11, 10 a 7 jeho ramen musí ležet na přímce a ramena tvořit rovnoběžník. Na obrázku značíme pantograf v poměru

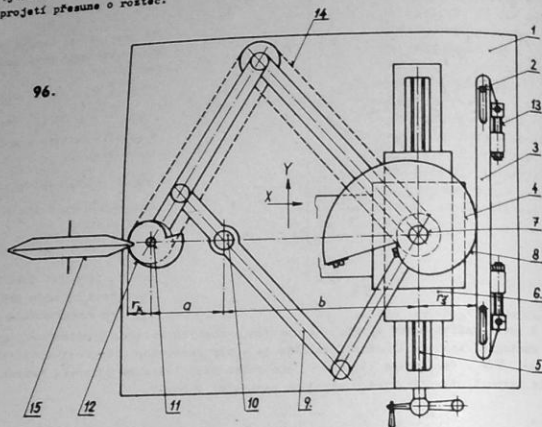
$$\frac{a}{b} = \frac{x}{X} = \frac{y}{Y} = \frac{r_e}{r_k} = \text{konst}$$

Dále je:

1. základní deska
2. upevňovací šrouby pravítka
3. pravítko, na kterém jsou napjaté tenké ocelové pásy (cca 0,1 mm), obepínající šablony. Pásy se upínají šrouby 13
4. Sání, nesoucí čep šablony 7, umožňující pohyb ve směru X kolmo k pravítku
5. šroub, vyvolávající pohyb podél pravítka
6. podélné sání
7. čep šablony
8. šablony, má tvar rosteřné čáry kola, zvětšený r_k/r_k a zmenšený o $t/2$ (polovinu tloušťky planžety)
9. ramena pantografu
10. pevný čep v pantografu
11. čep obráběného kola
12. polotovar obráběného kola
13. napínací šrouby
14. pásy, přenášející rotaci $\omega_k/\omega_k = 1$
15. brusný kotouč (nebo fréza).

Obrábek a šablony musí vykonávat též rotační pohyb, kde $\omega_{krot}/\omega_{krot} = 1$. Tuto rotaci zajišťují ocelové pásy 14, napjaté na konstantní cestě mezi kladkami čep 7 a 11.

Nástroj má tvar jednoho, nebo více subů hřebene. U jemných modulů je nejlépe vybrusit kolo kotoučem, po němž se měřera odvalí. Brusný kotouč se po každém projetí přesune o rosteč.



Kdyby obrobek 12 byl tlustý, nebo, jak se někdy dělá, bylo to více kol na sobě, musí brusný kotouč nebo fréza vykonávat ještě svislý posuv podél osy Z.

Cykloidní osazení hodinářské. U evolventních soukolí se při sklonu tvořící přímky $\alpha = 20^\circ$ dá jít na nejmenší počet subů $z = 12$. Pro menší počty subů je nutno zvětšit úhel α , aby nedošlo k podřiznutí profilu. To se dělá jen mimořádně.

V hodinářství, ale i u jiných přístrojů, kde musíme jedním soukolím vytvořit velký převodový poměr, mají pastorky 8, 7, 6 subů. Takový převod se dá uskutečnit s osazením cykloidním, nebo takovým, kde cykloidy nahradíme (modifikujeme) kruhovými oblouky.

Bok cykloidního subu je vytvořen vždy dvěma různými cykloidami, které na sebe navazují na rostečné kružnici, hlavovou epicykloidou a patní hypocykloidou.

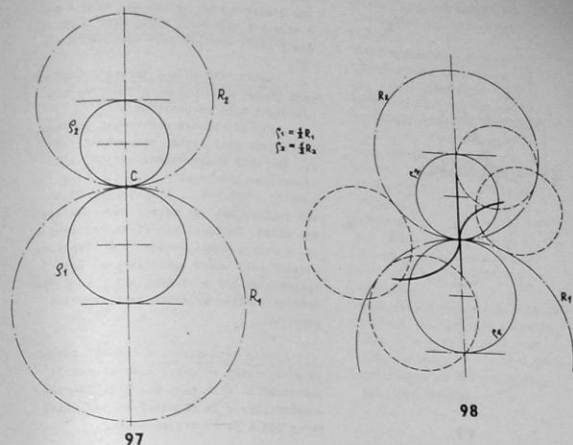
Na obr. 97 jsou R_1 rostečné kružnice kola, ρ_1 tvořící kružnice kola
 R_2 rostečné kružnice pastorku, ρ_2 tvořící kružnice pastorku.

Všechny čtyři cykloidy vzniknou tak, že se kružnice ρ_1 a ρ_2 valí po rostečných kružnicích.

Valením ρ_1 po R_1 opiše bod C epicykloidu kola (hlavu kola)

ρ_2 po R_2 opiše bod C hypocykloidu pastorku (patu pastorku)

Valením ρ_1 po R_2 opiše bod C epicykloidu pastorku (hlavu pastorku)
 ρ_2 po R_1 opiše bod C hypocykloidu kola (patu kola).



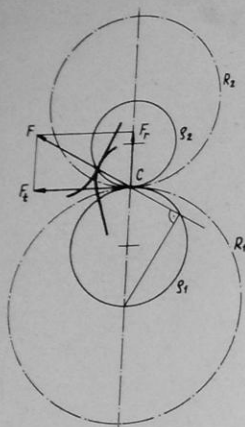
U hodinářských osazení volíme tvořící kružnice $\rho_1 = \frac{1}{2} R_1$, $\rho_2 = \frac{1}{2} R_2$. Valením tvořící kružnice po stejné indexované kružnici rostečné opisuje se těchto podmínek bod C zvláštní hypocykloidu, které je dostřednou přímkou. Paty subů jsou tedy přímé a osazení označujeme jako přímoboká (rovnoboká), obr. 98. Každá z kružnic ρ_1, ρ_2 vytváří patu svého kola, ale hlavu protikola. Proto každý pár kol je přifazšený jen sobě, kolo ani pastorek nejsou zaměnitelné s jiným protějškem téhož modulu! Kola jsou sdružená. (U evolventních kol můžeme kola stejného modulu libovolně zaměňovat.)

Na obr. 99 je vidět, že hlava kola se dotýká stále přímkové části paty pastorku. Z masnačené geometrie vyplývá, že dotyk je na kružnici ρ_2 , která je čarou záběru. Na druhou stranu se C je čarou záběru oblouk kružnice ρ_1 .

Z toho plynou důsledky: zabírají-li suby v bodě C, má síla F směr tečny ke kružnici. S otáčením kola se mění směr síly F a je-li moment konstantní, roste síla F během záběru subů. Tím vzniká a roste též složka síly F_x směrem spojnice os kol. Převod i točivý moment jsou konstantní, ale síla v dotyku subů se mění. To se projeví i proměnlivým namáháním čepů kol.

Z obr. 100 je vidět, že suby pastorku vycházejí štiplé a u paty zeslabené. To je pevnostně nevýhodné. Pastorek se proto dělá téměř vždy ocelový, často kalený a 4-10x delší než je tloušťka kola.

Konstrukce kola s 50 suby a pastorku s 8 suby je patrná z obrázku, pata subů se někdy zaobluje s ohledem na zvýšení pevnosti subů a možnosti odvalovacích vý-



99.

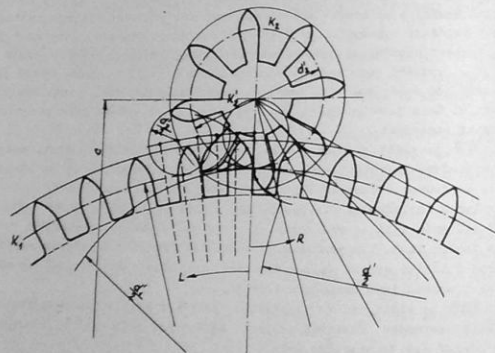
robních metod.

U kol i pastorků těchto čistě cykloidních kol stanovil konstanty prof. Sander. Jde o relace mezi tloušťkami zubů a mezer. Z nich pak vyplývají výšky hlav i patních částí zubů. Přehled je v tabulce na str. 57.

Systém "obousměrné točení". Ozubení typu Sander jsou určena k jednosměrnému převodu s kola na pastorek.

Ozubení, kde se mění smysl otáčení, označujeme jako systém obousměrné točení. Cykloidy konstruujeme stejně, ale ozubení má jiné poměry mezi tloušťkami zubů S_1 a mezer S_2 . K vytvoření válce zde zesilujeme zub kola i pastorku stejným dílem. Pastorek tím získá na pevnosti, oproti ozubení Sander nebo Standart. Ostatní měry udává opět tabulka, kde epicykloidy kol s různými počty zubů vytváříme trojicí kružnicí šestizubového pastorku.

Systém "standart". U tohoto ozubení se epicykloidy zubových hlav nahrazují jednoduššími kruhovými oblouky. Náhrada - modifikace - je odvozena ze švýcarské normy NKS a je co nejjednodušší.



100

Konstr. hodnoty cykloid. ozubení hodinářského

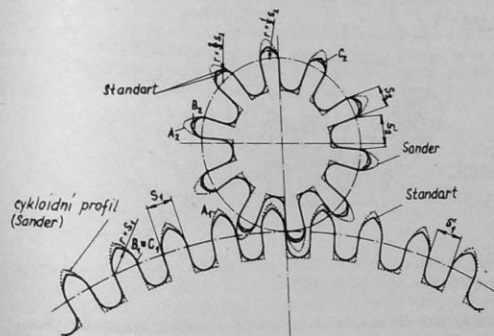
z_k	z_p	h_k	D_k	x_k	Směr křivky	Systém
1,57 m	1,57 m	-1,57 m	-1,57 m	—	epicykl.	Sander
1,57 m	1,57 m	1,35 m	1,55 m	—	$r = x_k$	Standart
Kolo (vnější)	1,41 m	1,14 m	1,5 m	6	epicykloida	Obousměrné točení
		1,15 m	—	7		
		1,16 m	1,6 m	8 + 9		
		1,17 m	—	10 + 11		
		1,20 m	—	12 + 13		
		1,22 m	—	14 + 20		
		1,23 m	1,7 m	21 + 34		
		1,27 m	—	35 + 54		
		1,30 m	—	55 + 134		
		1,32 m	—	135 + ∞		
z_k	z_p	h_k	D_k	x_k	Směr křivky	Systém
1-3	1,88 + 3	-1,25 m	-1,88 m	—	epicykl.	Sander
1,26 m	2,14 m	—	—	—	—	—
1,15 m	1,99 m	0,74 m	1,75 m	—	$r = 2x_k$ 1) $\text{pod } 0,5x_k$ 2)	Standart
hodnoty stejné jako u kola						Očíslov. těl.

- 1) svrtek $1/4$ lomený oblouk
2) svrtek oblý

Patní část zubů je u kola i pastorku příčková, hlavová část kruhová. Modifikace je rozdílná pro kolo a pro pastorek.

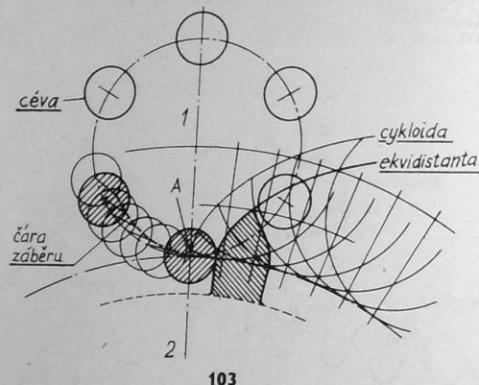
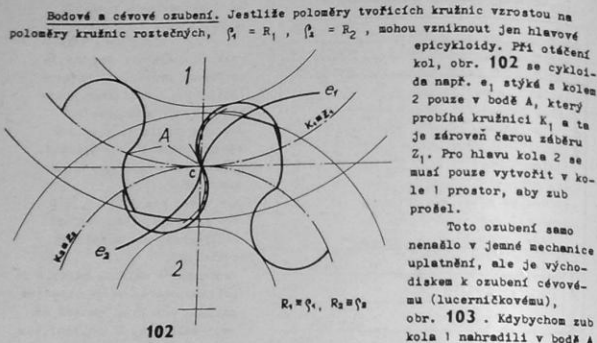
Kolo: vycházíme z rovnosti tloušťky zubu S_1 a mezery S_2 ($S_1 = S_2$). Podle obr. 101 vytvoříme hlavový bok tak, že opíšeme z průsečíku příčkové části zubu a rostoucího kružnicí oblouk poloměrem $r = S_1$. Abychom prodloužili oblouk záběru, děláme zuby špičaté. Výška hlavy zubu vychází z konstrukce $h = \frac{K\pi}{2} \cdot \cos 30^\circ = 1,35 a$. Zub má vyšší hlavu než kolo evolventní, ale nižší než cykloidní.

Pastorek: s ohledem na válce je ověřeno, že vyhovuje tloušťka zubu $S_2 = 1,15 a$, mezera má tedy velikost $K = 1,15a = 1,99a$. Modifikace má dvě varianty, viz. též tabulku.



101

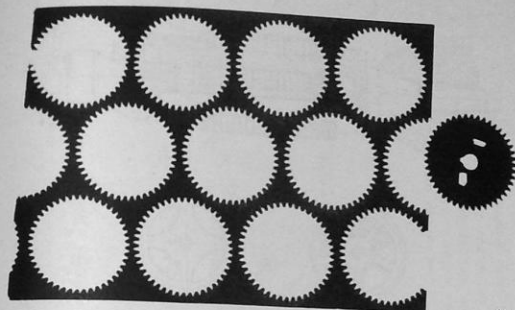
1. Hlava zubu je tvořena jedním kruhovým obloukem. Poloměr oblouku je $r_1 = 1/2 S_2 = 0,58 \cdot a$ a to je zároveň výška hlavy zubu.
2. Hlava je tvořena dvěma oblouky o poloměru $r_2 = 2/3 S_2$. Tato modifikace má označení $1/3$ losový oblouk. Výška hlavy zubu je $0,74 \cdot a$.



tenkým válečkem, bude mít soukolí přesný převodový poměr i konstantní přenos točivého momentu. Tenoučká čeva by neunesla zatížení, proto ji zvětšíme na průměr $d = t/2$, nebo o málo méně. Přesný převod pak zůstane zachován, jestliže bok zubu vytvoříme jako ekvidistantu cykloidy e_1 . Čára záběru se poněkud odchyluje od

rostečné kružnice, jak je vidět z levé části obr. 103.

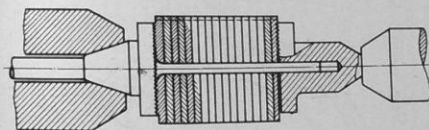
Výroba hodinových a přístrojových koleček. Kolečka hrubšího provedení, např. ozubená kolečka budíková prostřihujeme i s ozubením z pásu mosazného plechu obr. 104, někdy včetně ramének a středního otvoru. Popřípadě se materiálu kola využívá ještě k prostřihnutí nějaké součásti (viz. lisářská technologie).



Nástroj (průstřihník a průstřihnice) jsou složitě a drahé, ale ušetří se na frézování ozubení.

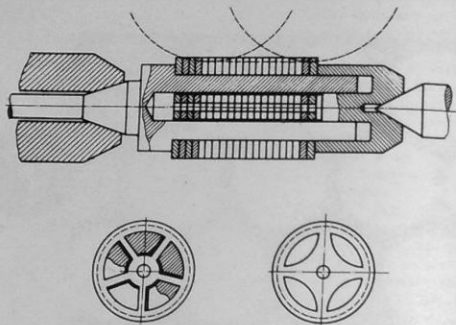
V příkladu je kolečko $D = z \cdot m$, $(33,75 = 45 \cdot 0,75)$.

Přesná kolečka s malými moduly a velkým počtem zubů se prostřihují bez ozubení (někdy i bez středního otvoru). Ozubení se frézuje, převážně odvalovacím způsobem. V hromadné výrobě frézujeme kolečka po sadách. Mají-li polotovary pouze středící díru, upínáme je na trnu podle obr. 105. Na trn se vejde např. 50 - 100 koleček. Aby se při frézování neprotáčela musí být sevřena značnou silou.



Kolečka prostřihovaná s raménky, obr. 106 mají přesný vnitřní obvod vlnce, protože průstřihník je na obvodu přebroušen do kulata. Toho se využije pro upínání při frézování. Upínací trn má tvar průstřihníku, (přesný válcový obvod, v okénkách je ponechána vlně). Kolečka se navléknou na trn a sevřou kalíškem, (nebo maticí), který má středící dlel pro hrot. Při tomto upínání jsou kolečka jistě proti otočení. Nejlepší kolečka nemají středící otvor. Ten se prostřihne až

Pro frézování evolventních koleček lze použít stejnou odvalovací frézu na všechny odvalitelny počty zúbd. U cykloidních a modifikovaných ozubení stejného modulu můžeme frézu použít jen pro kolečka s malými rozdíly počtu zúbd, např. 45 - 50, správně by měla jedna fréza být určena jen pro jeden počet zúbd.



Hlavy zoub hodiničských ozubení se dělají špičaté, aby se prodloužil oblok záběru a překrýval 1/4 bylo > 1 . Polotovary vyfrézovaných koleček má proto průměr D větší, než budoucí hlavy kružnice a ta se vytvoří až frézováním podle obr. 107. Má to důležitý význam v tom, že hlavová a roztěčná kružnice jsou soustředné. Za roztěčnou kružnici nelze kolik upnout ani centrovat. Za hlavovou je to snadné a podle ní se dodatečně vyrobí otvor. To se dělá ve zvonkově pro- střřihovadle (viz. kapitola lsování).

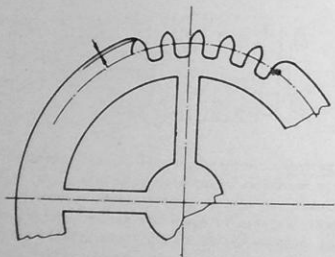


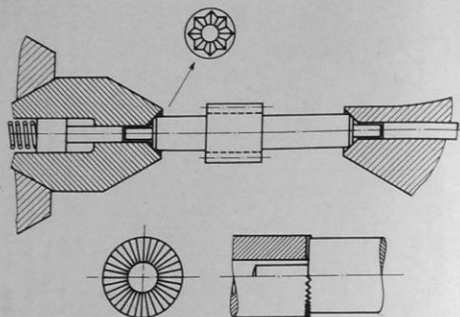
Diagram illustrating the mechanical drive system for a wood planer, showing various components and their connections:

- ŠNEK SOUKOLÍ POSUVU FRÉZY** (Screw for feed gear)
- ŠNEK SOUKOLÍ POSUVU FRÉZY** (Screw for feed gear)
- ŠNEKOVÝ PŘEVOD** (Screw drive)
- OBROBKY** (Cutters)
- ŠROUB POSUVU VŘETENÍKU** (Screw for feed of the feed roller)
- POMOCNÁ STRŽE** (Auxiliary roller)
- ČERNANÝV HŘÍDEL** (Blackened shaft)
- VÝMĚNNÁ KOLA PRO POČTY ZUBŮ** (Exchangeable gears for tooth counting)
- ODVALOVACÍ FRÉZA** (Scraping cutter)

[illegible]

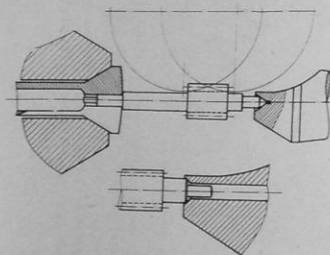
Výroba pastorků. Pastorky mívají malý počet zubů, nelze je vyrábět odvalovací způsobem, ale metodou dělicí.

Polotovary pastorků, většinou ocelové, jsou vysoustruženy na dlouhotočném automatu. Pastorky mají tenké čepy, za které nelze upínat. Proto upnutí a vystředění pastorku obstarávají "duté hroty", tzv. "centra". Jsou to ocelové zakalené součásti. Jeden hrot, zasazený do vřetena dělicího kotouče je unášecí a má ve své vnitřní kuželi vyhlisované, nebo vyfrézované ryhy, obr. 109, které se zamačkají do faset pastorku.



109

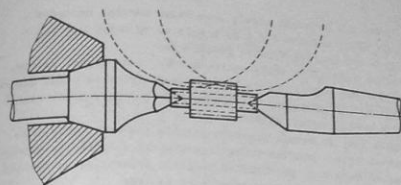
Druhý hrot je hladký, opěrný. Centra mají odpružené vyhasovače. Některé pastorky se upínají do kleštin, obr. 110, pastorky s dírou podle obr. 111, do fasety díry se zazíne pyramida.



110

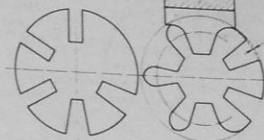
Také pastorky mají většinou špičaté zuby a polotovary pastorku má větší průměr, než budoucí hlavová kružnice.

Pastorky se většinou frézují dvěma (někdy i třemi) frézami. První fréza je hrubá, má za úkol odebrat většinu materiálu mezery. Druhá fréza je modulová a přesným profilem mezery, obr. 112.



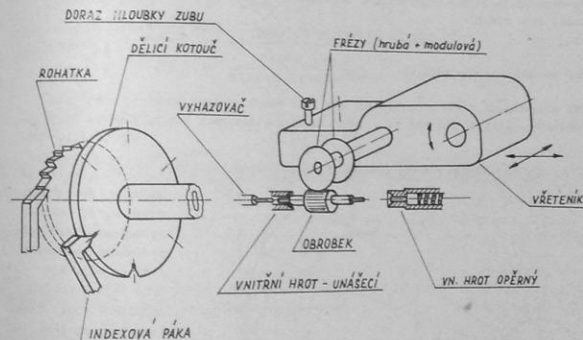
111

PŘEDFRÉZOVÁNÍ



112

Schéma dělicí frézky je na obr. 113. Vřeteno obrobku je opatřeno rohátkou a západka postáčí rohátku vždy o příslušný počet zubů. Pohon je vačkou. Po otočení o rostež zubů pastorku zajistí indexovací páka dělicí kotouč v přesné poloze. Vřeteno obrobku nese unášecí ryhovaný hrot, hladký opěrný hrot je na konfiku. Pinola konfiku seřve pastorek mezi hroty. Frézovací vřeteno vyfrézuje mezery pastorku na hrubo, potom se opově přestaví a vyfrézuje mezery modulovou frézou. Cyklus je automatický, všechny pohyby jsou ovládný vačkami. Po vyfrézování vy-



113

hodí odpružené vyhasovače pastorek, mezi hroty se vsune zásobník a následující polotovary, pinola se seřve a cyklus se opakuje.

Frézy. Odvalovací frézy pro nejmenší moduly jsou velmi náročné nástroje. V náramkových hodinkách je běžný modul $m = 0,1$ mm a kola se 60 zuby, $D = z \cdot m = 6$ mm. Frézy na takové osazení se musí vyrábět podtáčením.

Při miliónových sériích koleček je velká spotřeba fréz. I na mosazi se otupují a musí se cca každé dva dny ostřit. Ostření a ubívaní frézy se nemají měnit její profil. Tomu odpovídá určitá geometrie výtvarných křivek frézy, podél níž se podtáčení nůž posouvá a určitý způsob ostření.

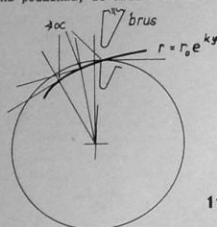
Frézy ostříme většinou tak, že rovina brúšného kotouče jde osou frézy. Jak znázorňuje obr. 114, je-li hřbet profilu frézy logaritmická spirála, je spíná-ná podmínka, že úhel mezi křivkou a její protínající radiální přímkou je konstantní. Logaritmická spirála má tvar

$$r = r_0 e^{k\varphi} \quad \text{obr. 118.}$$

Úhel hřbetu α je dán velikostí k . Na obrázku jsou znázorněny 3 spirály pro $k = 1, 1/2, 1/4$. U nové frézy zaujmě sub úhlově např. $\varphi = 10^\circ$ pak

$$\varphi [\text{rad}] = \varphi^\circ \frac{2\pi}{360} = 0,1745$$

$$r = r_0 e^{\frac{1}{4} \cdot 0,1745} = r_0 e^{0,0436} = r_0 1,0445$$



114

pro úhel α : $\tan \alpha = \lim_{\varphi \rightarrow 0} \frac{r - r_0}{r \cdot \varphi} = \frac{1,0445 - 1}{1,01745} = 0,255, \quad \alpha = 14,3^\circ$

V praxi se dělá $10^\circ < \alpha < 15^\circ$.

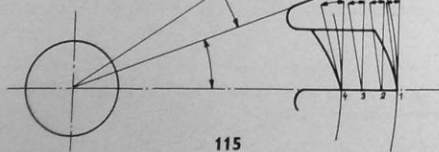
Navrhne-li se křivka konstrukčně, počítáme k z rozdílu poloměrů na začátku a konci zubu frézy.

$$\log r = \log r_0 + k\varphi \log e, \quad k = \frac{\log \frac{r}{r_0}}{\varphi \log e}$$

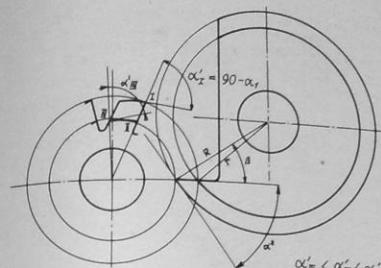
Pro kontrolu našeho příkladu $k = \frac{\log 1,0445}{0,1745 \cdot 0,43429} = 0,25$

Při soustružení frézy se podtáčení nůž sune podél zvolené základní čáry (zde hřbetové spirály), přičemž čelo nože prochází stále osou frézy. Všechny čáry zubového profilu frézy jsou potom konchoidy logaritmické spirály. Znovu zdůrazníme, že takto vytvořená fréza při přeastření zmenšuje svůj průměr, ale tvar jejího profilu se nemění, obr. 115. V obrázku je úhel logaritmické spirály označen α_1 . Úhly konchoid pak

$$\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \dots$$

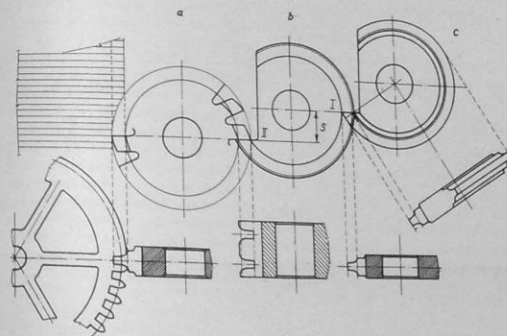


115



116

Vyšetření profilů je pracné a u malých rozměrů výrobě nesnadno zvládnutelné. Uvedený příklad se týká podtáčené modulové frézy. Odvalovací fréz, tím, že profil má vešroubovici, je ještě složitější.

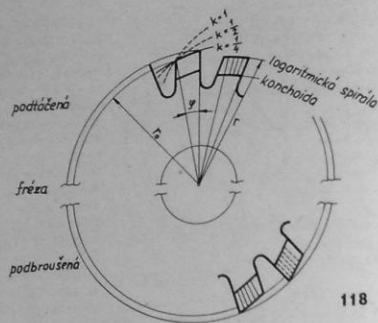


117

Na obr. 118 jsou obě frézy, podtáčená a podbrúšená. U podbrúšené frézy se při radiálním ostření snižuje profil.

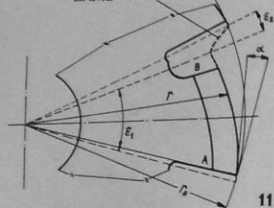
Podtáčení mechanismus. Podtáčená fréz 1 koná pomalé otáčky. Nůž 2 se radiálně přisouvá, takže na frézě vycoustruží podtáčenou plochu, obr. 119. Relativní spirálový pohyb začíná poněkud dříve, než záběr nože a končí se zubem frézy, úhlově označeno E_1 .

Následující zub se soustruží stejně, proto nůž 2, obr. 120 musí během úhlu E_2



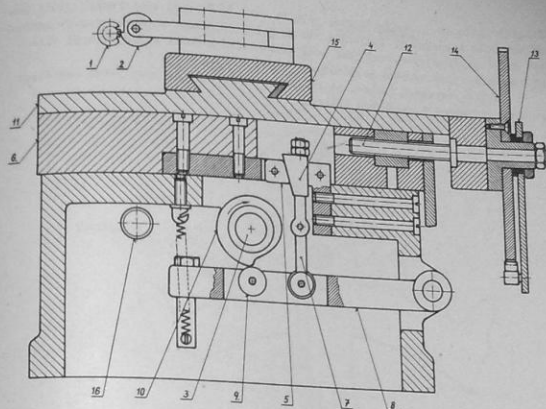
118

dráha nože



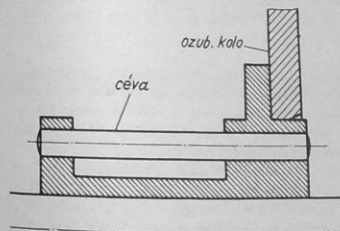
119

siž zápedky 13 a otočí rohátkou 14 o určený počet zubů. Rohátka má 400 zubů. Podélné sání 15 slouží k navedení roviny nože do roviny frézy. Při podtláčení odvalovací fréz se celý podtláček mechanismus posouvá šroubem 16.



120

Cévvé pastorky. Jsou běžné u hrubších hodinových strojů, u budíků, kyvadlových i věžních hodin a také u řady přístrojů. Někdy jsou kotoučky držící cévy oddělené, jeden nese zároveň kolo, druhý jen cévy. Lepší je provedení podle obr. 121, kotoučky se nemohou vůči sobě natočit.



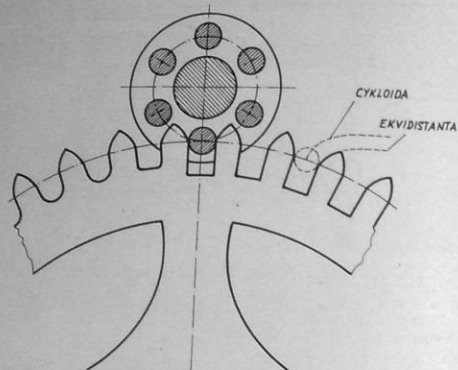
121

Cévvé ozubení má některé výhody: cévy jsou ze strunového drátu, hladké, pevné a přeměně. Definuje se součinitel zaplňení zubové mezery, jako $\lambda = f/m^2$, kde f je plocha mezi hlavou zubu a patou protikola. Čím je součinitel větší, tím je ozubení necitlivější ke znečištění a zabíjení. U cévvých ozubení je λ velké.

Otvory pro cévy se vrtejí do kotoučků, které jsou většinou mosazné. Cévy jsou z patentového (strunového) drátu. Střikají se na potřebnou délku a protože vznikají ostré hrany, cévy se omílají v bubnu v suspenzi vody a leštícího prášku. Tím získají ještě na hladkosti. Do kotoučků se cévy lisují a přesahem

několik setin mm. U dvojkotoučků, jako na obr. 121 stačí zalisování, je-li zadní kotouček samostatný, spojení v něm se ještě roztahuje nebo rozválcuje rýhovanými kolečky. Zuby vytvořené jako dvě jsou hladké a velmi pevné, vydrží více než jakékoliv jiné ozubení pastorek.

U větších cévových ozubení se kvůli zmenšení tření na cévy ještě navlékají válečky, výjimečně i kuličková ložiska.

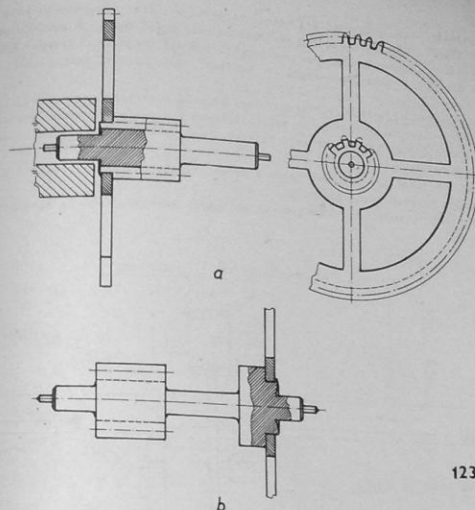


122

Cévová kola. Klasický pár cévového kola a pastorku je na obr. 122, kde se u kola liší jen hloubka zubové mezery v pravé a levé části obrázku. Dnes jsou cévová ozubení nejvíce rozšířena v různých typech dekadických počítadel (elektroměrů, plynometrů, ukazatelů kilometrů). Tato kola jsou odstříknuta z kovu nebo plastů. Forma se snadno zhotoví tím, že dutiny vytvářející cévy jsou hladké vytvářejí otvory.

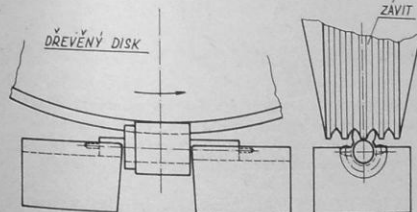
Spojování kol a pastorek. Nejčastější spojení ozubeného kolečka s hřídelem je na obr. 123a. Už před frézování ozubení udělá dlouhotrvající automat na hřídeli osazení o průměru cca roztěčné kružnice pastorku. Otvor v kole má potom přesah vůči průměru sesoustružených zubů. Při nalisování se kolo zařizuje do ozubení. Nekalené pastorky se ještě roznyťují neznámým nástrojem.

Nýťování nelze dělat u kalených pastorek, tam kolo drží jen zalisování. Je-li kolo v jiném místě hřídele než pastorek, musíme pro něj vysoustružit náboj, větší než průměr hřídele. Kolo je na náboj nalisováno a musí mít axiální opěření, aby neklouzlo. Větším průměrem osazení se bezpečně přenese točivý moment obr. 123b. Osově se náboj rovněž roznyťuje.



123

Leštění zubů pastorek. Kalené pastorky se v hodinářství leští. Povrch po frézování je drsný, stopy po nástroji jdou směrem povrask zubů a pastorek by "přiloval" mosazné kolo. Leští se kotouči z bukového nebo hrubkového dřeva o průměru cca 200 mm, na jejichž obvodě se vysoustruží jemný závit o stoupání rovném roztěční zubů. Tím se pastorek pod kotoučem protáhne jako šnekové kolo. Leštící pasta je např. tuk + zelený oxid chromitý, nebo červený oxid železitý. Pastorek je položen do válcových sedel, většinou ze slinutých karbidů. Leštěním se geometrický profil zubů spíše zhorší, ale docílí se hladký povrch a tím snížení tření. Ozubení se v hodinách, leteckých přístrojích



124

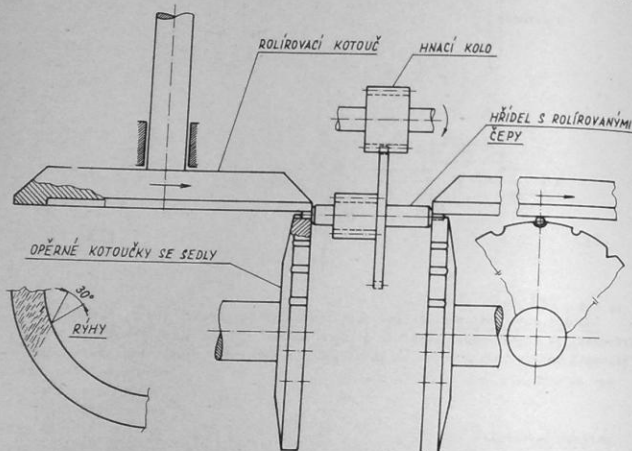
Leštěním se geometrický profil zubů spíše zhorší, ale docílí se hladký povrch a tím snížení tření. Ozubení se v hodinách, leteckých přístrojích

i jinde neseže. Zde je výhodná kombinace ocelového pastorku a mosazného kola z hlediska tření i pevnosti. Jelikož pastorek má malý počet zubů, je namáhán větším počtem kontaktů, než kolo. Když se pak soukolí zapráší, najdeme u starých hodin pastorek prořezaný koles, do kterého se zasačkal prach. Leštění ukazuje obr. 124

Rolirování (leštění) čepů. Všechny čepy hřídelů a pastorků se rolírují, protože je automatem nevysoustruží v tak malých tolerancích a s požadovanou drsností povrchu. Malé čepy $\phi 0,05 - 1$ mm mají tolerance na $\phi 2 - 5$ μ m a nejlepší dosažitelnou hladkost povrchu.

Kromě toho musí přechod mezi čepem a čelem hřídele být ostrý, zvláště u čepů, uložených v kamenových ložiskách.

Rolirovací kotouče obr. 125 jsou ze slinutých karbidů, nebo ze sintrovaného



125

korundu. Jsou pevně spojeny s hřídelem, z něhož se při ostření nesnímají kvůli hřízivosti. Nasadí se na čelo i na obvodě diamantovým brusem, který zanechá na činných plochách drsný povrch s ostrými rýhami a převážně negativním ostřím. Tato ostří jako jemný pilník seškrabávají vrstvičku materiálu čepu. Musí se masat kostním olejem, petrolejem, nebo rybím tukem.

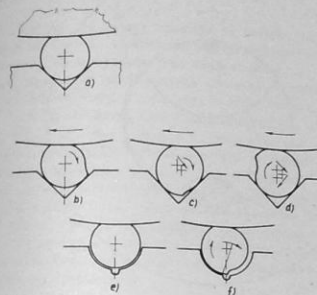
Leští se zároveň průměry čepů i čela hřídelů, která jsou opěrnými plochami axiálního uložení.

Oba lešticí kotouče jsou v tuhém, výkyvném rámu, s nímž se přiklápí k čepům. Konečný průměr čepů je nastaven dorazem, přítlak kotoučů vyvozuje pružina. Opěrné kotoučky se sedly čepů jsou ze slinutých karbidů, sedla mají tvar válcový nebo prizmatický. Trvanlivost lešticích kotoučů je velká, značně dlouho si zachovávají

jí i ostré hrany.

Nejlépe se pracuje s hřídeli, které mají pastorek, nebo ozubené kolo, protože se snadno v sedlech protáčí hnačím kolečkem. Hřídelům bez ozubení se nasazuje pružné pomocné ozubené kolečko.

Nepečnosti rolírování, obr. 126. Při prudkém najetí rolírovacího kotouče



126

se stává, že se vytvoří ploška, která se rozšiřuje po obvodu, obr. 126b. Jakmile ploška přijde do místa, kde je čep opřen, obr. 126c, celý hřídel odpruží leštěli se v kleštině, nebo jen dolehne do sedla. Když čep poklesne, začne kotouč méně ubírat. Vznikne ovalita, obr. 126d, která se dalším otáčením neopraví. Podobně je tomu u válcového sedla, obr. 126e, f. Tímto mechanismem dochází též k hřízivosti čepů.

V hodinářství se tolerance ϕ čepů, ovalita, kuželovitost, hřízovitost, vzdálenost čel hřídele.

U kalených pastorků se někdy rolíruje dvakrát, poprvé před kalením, kdy se nechává přídavek na $\phi 0,01 - 0,02$ mm.

Po kalení se odebírá 5 - 10 μ m.

Rolírování poskytuje hladší povrch než broušení, zachovává se dlouhou tvar plochy a její rozměry, povrch se zamačkáváma zpevňuje. Proto se dává často přednost rolírováním plochám i větších průměrů, např. pro miniaturní kuličková ložiska, nebo ložiska až do vnitřního $\phi 10$ mm.

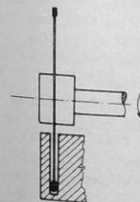
PŘESNÉ GEOMETRICKÉ PLOCHY

Rovinné plochy a součásti. Z některých materiálů potřebujeme zhotovit tenké planoparalelní desky. V optice jsou to např. filtry ze speciálních druhů skel, v polovodičové technice tenké křemíkové substráty, často velkých průměrů, např. 150 mm, nebo podobné desky sintrované.

Pokud jde o malé rozměry řezu, používají se diamantové pily klasického provedení, které mají vnější obvod (mezikružní) "nebitý" diamantovou drť, nebo sintrovaný v kovovém pojivu.

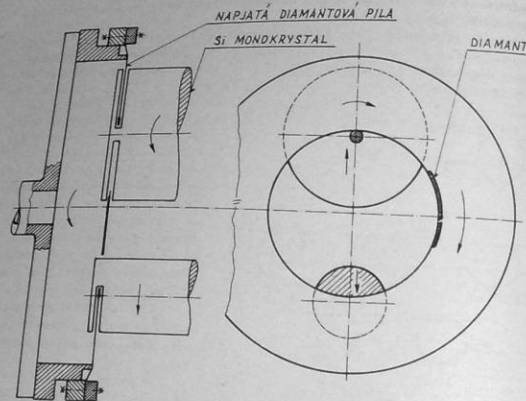
U drahých materiálů se snažíme, aby prořez a tím tloušťka pily byly co nejmenší, 0,2 - 0,3 mm. Takový pilový kotouč je ale poddajný, uhybá do boku, obr. 127 a při nutných vysokých otáčkách se bočně rozkládá. Hrozní rozlození destičky.

S rozvojem polovodičových technologií, kde se pracuje s křehkými krystaly, byly zavedeny pily, pracující



127

vnitřním obvodem. Např. pile Winter (NSR) obr. 128 je z ocelového plechu tloušťky 0,12 mm vnější upínací s 422 mm, vnitřní řezný s 153 mm. Diamantové obložení



128

má hloubku 2 mm a tloušťku 0,36 mm.

Pilový kotouč je na obvodě seřven přivrbení a s ním se posouvá směrem osy vřeten. Ohyb přes kruhovou hranu se napne (jako kůže na bubnu) a zaujme rovinnou plochu, která je v napjatém stavu. Taková membrána je proti osovému vychýlení tuhá a kmitá jen v malých amplitudách. Musí se chladit, vodou nebo brusnou emulzí. Řezat se může pouhým posuvem obrobku, nebo posuvem + rotací obrobku, tak se dá prořeznout dvojnásobný průměr, např. keramická destička s 150 mm.

Máme-li vyrobit rovinnou destičku, kde funkční je jen jedna plocha, např. achátové nebo safírové lůžko analytických vah, obr. 129, natmelují se obrobky na kruhové litinové tmelky s cca 100 mm. Tmelky se zahřejí a potlouk tenkou vrstvou termoplastického tmelu, jehož základem je šelek (+ kalafuna,

129

72

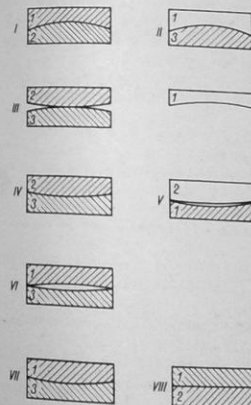
smála, pečeti vosk apod.). Destičky se ze teple vtisknou do tmelu a po vychladnutí brouší na diamantovém brusku. Tuto stranu, která nebude funkční, stačí opravit jemným broušením. Potom se tmelka zahřeje, obrobky se otočí a znovu vtisknou. Funkční strana se pak brouší a tmelka se musí dát prostřednictvím měkké podložky, podle jakou a opracovanou plochu má být co nejtenčí a planarizovat. Vrativka tmelu mezi tmelky více či méně klínovitá.

Metoda tří desek. Přestože je rovina jednoduchou geometrickou plochou, nesnáší ji, nebo všechny tyto nepřesnosti. Rovinné plochy mají vždy

1. Klenutost (systematická odchylka od roviny, nejčastěji koule nebo válec).
2. Makronerovnost (vlnitost plochy různými tláhy výstupky a prohlubněmi).
3. Mikronerovnost (povrchová drsnost).

Mluvíme ovšem o rovinných, jako rozhraní tuhých těles (litiny, skla, oceli), nikoli o zvláštních případech rovin tvořených např. hladinou rtuti. Důležitým představitelem jsou příravné desky. Zhotovují se z husté žedé litiny, stabilizované uhlím i přirozená stárnutí. Desky se odlévají ve velikostech 200 x 200 mm a mají obvykle tři podpěry. Desky určené k zavěšení mají oka nebo dráždla.

Po odlití a stárnutí se deska obhazuje, znovu podrobí stárnutí a potom začne broušení. Broušení se nedoporučuje, zanechává v povrchu zmatkané brusné zrnka, která otupují škrábek.



130

tento postup: zaškrábeme dvě libovolné desky, které označíme 1 a 2. K jedné z nich

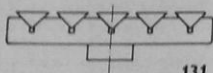
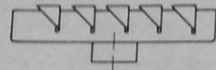
73

prípadoch deku 2 a 3 budú utvorené, nebot jaou od negatívny de-
ky 1. Zaškarsba deku 1 k sobe, a ponrdet au utvorené prpbilnst stejné, jeli tver
se vice prpbiln rovln. Potom deku 1 prpbilnst k jedné z nich, napr. 2.
Ted jaou tedy 1 a 3 negatívny 2. Dále prpbilnoste 1 a 3 k sobe, nebot jaou
od stejné a vyzaledek bude zase blbší rovln. Deku 2 potom prpbilnst deku
1 a 3e opat stejné 2 a 3. Postup pokreuje tak dlouho, je pi liovaní kterého
koliv dvou dekek aty na celú plochu. Deku se dejí ješt sjasovat nerovnosti.

Jsou-li desky nebo pravítka větších rozměrů, je nutno počítat s jejich průhybem. Zeškrabávání se opracovávají např. rovinná lože dělicích hlav, přesné dělicí stoly, vedení měřicích mikroskopů a souřadnicových vyvrtávaček.

Rovinné plochy vysoké přesnosti jsou běžné u optických součástí, plankonvexních nebo plankonkavních čoček a u všech druhů hranolů.

Např. pravidelné hranoly brousíme a sešitíme tak, že polotovary, zhruba obroušené, tmašme na profilované desky. Desky jsou z hliníkových slitin, výjiměně z litiny, průměru 200 - 600 mm. Desky vyřezávané, resp. zalapované prismatické drážky v úhlu 30°, 45°, 60°, 90° apod., na dně vždy se záplechem, obr. 131.



131

opět zabroušení a jiným rovinným kotoučem. Náročné je volit odstupňování brusiva tak, aby se nevyštípaly opticky činné hrany hranolů. Čím ostřejší je uhel, tím větší je sklon k vyštípání.

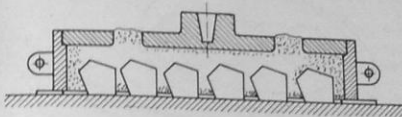
Optické plochy se po vybrušení leští. Leštícím nástrojem je smolná plocha. Smola se nanáší za tepla na litinový kotouč, předem zahřátý. Kotouč se např. na obvodu oblépí páskou a smola se na něj nanesle. Jak pomalu vychlázá, stává se viskoznější a při vhodné viskozitě se na ní vytvoří rovinné otiskutím navlečené litinové desky. Někdy se smola přímo potře nanese vratou leštícího prostředku s vodou, přičemž se leštivo částečně zasaďká do smoly. Otiskovaná deska je chladná a nemá se na smolu přilepit.

Leštěcí smoly jsou látky z více komponent a je věcí praxe správné je namíchat. Základem je dřevitá smola (buková), která vznikne suchou destilací dřeva. Dalšími složkami jsou kalamíny, kumarové pryskyřice z destilace kumenného uhlí, různé vosky, minerální oleje, bentitický terpentýn apod. Leštěcí smoly jsou rozpustné v lihu, benzínu a petroleji. Tvrdší smoly se docílí přidáním kalamýnu.

Rozličné druhy skel, různé rozměry leštěných ploch, teplota v leštárně, rychlosti leštících nástrojů atd., vyžadují případ od případu přizpůsobovat tvrdost směrů.

Uložení hranolů v sadě. Hranoly, u nichž nevyžadujeme mimořádnou přesnost dříků, spojujeme pro jemné broušení a leštění do větších celků pevným uložením v sadě. K tomu použijeme dosti silné kruhové skleněné nebo kovové nálenovací desky.

Usoří desky sáhlé, nesbí by vystužené žebry. Desku nahájeme tak, aby použitý tmeľ (obvykle cereáin a máľa mnohokrát terpenytina) po ní tekl. Hrany sáhlého tmeľu nenahájeme, pouze je polievame zo strany, ktorá sa má opracovať, na tenkovdobu na ni prítluho. Hrany sáhlého tmeľu, sklenené hrany sáhlého tmeľu nahájeme a my. Po vychladnutí desky se na ni v obvodu príloží tři malé tenké sklenené destičky, silné 1,5 až 2 mm, a na ně pak vodorovně přetne a horní část desky, v níž jsou otvory. Těmito otvory se na nahájené hrany nalévá alabastrův sádra, v níž jsou otvory. Těmito otvory se na nahájené hrany nalévá alabastrův sádra. Aby se sádra rovnoměrně rozpohybovala, a všechny otvory byly rovnoměrně vyplněny, sádra se nalévá nad hrany sádrové vrstvy silné 10 mm. Jako příklad je na obr. 132 uvedeno za-



132

sádrování pentagonálních hranolů. Po vyschnutí a stuhnutí sádry se spodní deska nabeřeje a sejme. Celovým kartáčem se pak odstraní sádra a tmel kolem hranolů tak, aby výčnělky asi 1 mm nad povrchem bloku, který se natře látkou nepropustnější vodou a ve vodě nerozpustnou, např. lžhovým rostokem šelaku. Látka chrání povrch sádrového bloku proti nasáknutí vodou při broušení a leštění.

Celý blok hranolů zalitých v sádře se potom brousí a leští rovinnými nástroji (kotouči). Po vyléštění se sádra opatrně rozbije, hranoly vyjmou a otíští. Leštěné plochy se potírají ochranným lesem, aby v sádře obsažená voda na nich nezaschávala skvrny, neboť celý postup opakuje znovu při broušení a leštění dalších ploch.

Leštění ploch pomocí separátoru. Leštícím nástrojem je smolný podklad, který se vytvoří jako hladina nalité smoly na leštící kotouči.

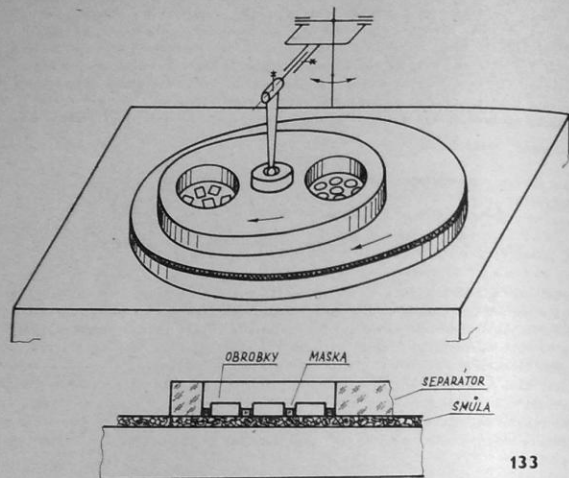
Při leštění na smůle se musí vždy ve smolném podkladu vytvořit síť drážek. Ty slouží jako větrací kanálky a tím chladí obrobek i smůlu, mezi nimiž vznikají ve styku se zrnky leštiva vysoké tlaky a teploty. Povrch smoly je tenké vrstvičky je plastický. Nerohovaný smolný polštář se může k obrobku přilepit. Pak nezbyvá, než všechno nahřát, rozebrat, omýt a začít od samého začátku znova.

Dále rýhování vhodně orientované zajišťuje pokrytí plochy leštícího polštáře rovnoměrně leštící suspenzí vody a leštícího prášku. Nádobná hrana obrobku odhruškuje leštící suspenzi do drážek, zadní hrana naopak vytahuje povrchovými napětími suspenzi z drážek. Suspenze zpuňuje a leštivo se rovnoměrně rozprostírá po smle.

Po delším leštění se drážky zaplňují, což svědčí o přetoku sudy do drážek. Lešticí plocha zůstává rovinná, zatímco u nepřetrčovaného povrchu se pomalu přemísťuje vzdutá vlna.

Leštící podklad je udržován v rovinném stavu pomocí skleněného orovnávacího koutce - separatoru, obr. 133. Separator má jeden nebo dva kruhové otvory pro vložení obrobků. Upruštěd separatoru je natenálen koutceč s kuželovým otvorem, do kterého zapadá konec kyvného ramene oscilačního polubu. Rameno je možno seřídit tak, aby separator mohl kývat v libovolném místě leštícího koutce, lze měnit velikost kyvu a jeho frekvenci. Do otvorů separatoru se vkládají ploché meazy,

rovněž skleněné a do otvorů masek výrobky. Separátor dostává tedy nucený pohyb kývavý, ale unášivý rotační pohyb od rotace nástroje. Separátor je z jednoho



133

kusu skla, má průměr větší než 400 mm a tloušťku cca 100 mm. Musí se v něm vyvrtat jeden nebo dva excentrické otvory pro masky a čelo vybrousit a vyleštit do nejlepší dosažitelné roviny. Plocha separátoru včetně děr zaujímá 75 - 80 % plochy leštícího kotouče.

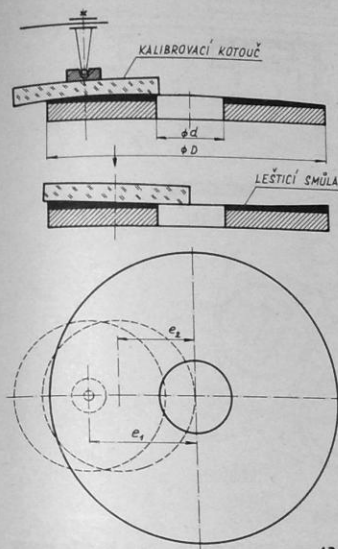
Při průměru leštícího kotouče 500 mm má separátor s cca 450 mm a otvory v něm zaujímají asi 30 % plochy separátoru. Separátor je drahý a těžký, obtížně se s ním manipuluje.

Leštění pomocí kalibrovacího kotouče. Dosud nejpřesnější leštící stroje pro rovinnou optiku pracují na principu kalibrovacího kotouče (nástroje).

Tento princip spočívá v tom, že smolný leštící podklad má tvar mezikruží obr. 134. Na toto mezikruží dosedne kalibrovací kotouč, tlustá skleněná deska, vedená v její ose kyvným čepem, který koná oscilační pohyb kolem střední excentricity e . Excentricita kotouče se může měnit od e_1 do e_2 . Kotouč je unášen rotujícím nástrojem se smolným polštářem. Podle polohy těžiště a unášivých pohybů má kotouč tendenci odleštovat se buď do duté plochy - při e_1 , nebo do plochy vypuklé - při e_2 .

Toto přizpůsobování kalibrovacího kotouče i smolné podušky je velmi pomalé, např. o jeden interferenční proužek za hodinu. Změnou e může tedy obsluha zasaho-

vat do leštícího procesu. Proškrývá obrobky na interferometru a nastaví polohu, kdy formování roviny je ustáleno, nebo se mění jen nepatrně.



134

Kalibrovací kotouč je primárně vyroben co nej- přesnější broušením volným brusivem a leštěním. Používají se rovněž kalibrovací kotouče kovové, které mají na činné ploše natečeny skleněné desky, podle možnosti se stejného druhu skel.

Tyto stroje vyrábějí firmy Precisionlap, Lap-master, Zygo, i pro veliké rozměry výrobků s do 40" (cca 1 m). Průměr leštícího nástroje je až 3,6 m (Zygo). Kompaktní kalibrovací kotouč je nákladný a těžký, proto se nahrazuje skládaným. Bylo vyzkoušeno, že poměr průměrů mezikruží D/d (obr. 134) má být 3,2 až 3,5.

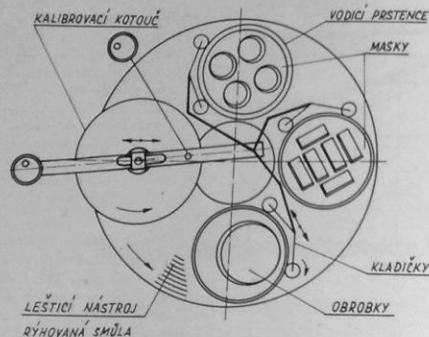
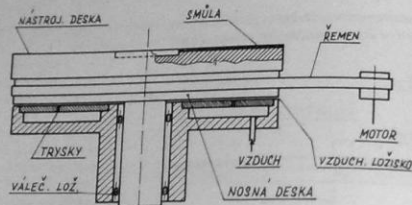
Byla popsána funkce kalibrování leštící plochy. Leštěné obrobky, které přejímají tvar smolného podkladu se ukládají do vodičích prstenců, obr. 135. V prstencích jsou vloženy masky a v maskách obrobky. Jsou-li prstence kovové, musí být na styku se smol-

ným nástrojem obloženy sklem, taktéž masky.

Protože vodičcí prstence jsou smolným nástrojem unášeny, musí být opěny kladičkami, jejichž rám koná oscilační pohyb. Kladičky jsou někdy nuceně otáčené.

Leštění nejkvalitnějších ploch probíhá pomalu, až několik hodin, rychlost otáčení leštícího nástroje je např. jen 4 ot/min při s nástroje 1 m. Tímto způsobem se běžně vyrábí planoptika s rovinností $\lambda/20$. Extrémní docílené výsledky mají odchylky od rovinnosti jen $\lambda/200$.

Planoparalelnost ploch se dodržuje na 0,1" drsnost R_a na 1 nm (10λ). Celý stroj je temperovaný, chladicí kapalina má vyhřívací a ochlazovací agregáty, udržující teplotu na zlomek K.



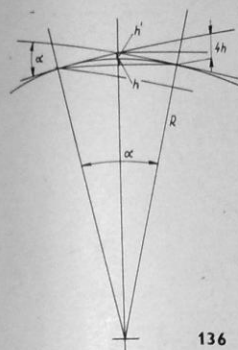
135

Jak přesnou rovinou je hladina kapaliny. Referenční rovinou u interferometru může být ustálená hladina. V dvahu případech rtuť nebo olej. Rtuť se používá jako odrazná plocha v geodetických přístrojích, astrofotobu, cirkumzenitálu, kde průměr misky je 150 mm. Nevýhodou rtuti je její jedovatosť (1 v parách). Tím, že rtuť je k většině materiálů nesměšlivá a má velké povrchové napětí, nechce zaujímat tenkou vrstvu, roztáhne se na kapky. V silné vrstvě se špatně uklidňuje. Okrajové deformace hladiny jsou velké, hladina je mnohem vydatnější, než odpovídá zakřivení zemské koule. Proto miska Nušlova-Fričova cirkumzenitálu měla průměr asi 5krát větší než s objektivu. U nynějších přístrojů je miska ze speciální slitiny mědi, na níž se vytvoří vrstvička amalgamu a to zvyšuje přilnavost rtuti, takže se dají vytvořit vrstvičky asi 1/2 mm tlustou.

Podle francouzského patentu je hladina vytvořena dvěma vrstvami, dole je rtuť a nahoře černý olej, který má větší odrazivost a ztře reflex od rtuti. V ZPA vyrobili pro kontrolu referenční desky interferometru misku z duralu, ve které byla vrstva silikonového oleje asi 2 mm tlustá, stěny misky mají od roviny úhel 20°, který zmenšuje vlnivost oleje a brání odrazu vlnových rozruchů od

stěny. Hladina se tolik nečteří. Takové uspořádání přesto vyžaduje arona hodin k ustálení a nemá se na misku přenášet vibrace.

Podle staré, ale pro tento příklad dostačující definice metru, který je desetimiliontá část 1/4 zemského poledníku, tj. 10.10⁶ m, má poledník délku 40 000 km.



136

$$\begin{aligned} \text{Na } 0^\circ \text{ případe oblouk } & \frac{40 \cdot 10^6 \text{ m}}{360} = 111\,111,11 \text{ m} \\ \text{na } 1^\circ \text{ případe oblouk } & \frac{40 \cdot 10^6}{360 \cdot 60} = 1852 \text{ m} \\ & (\text{násobní míle}) \\ \text{na } 1'' \text{ případe oblouk } & \frac{40 \cdot 10^6}{360 \cdot 60 \cdot 60} = 30,86 \text{ m} \\ \text{na } 1/100'' \text{ případe oblouk } & \text{cca } 30,86 \text{ cm.} \\ 1'' \text{ v radiánech je } & \frac{2\pi}{360 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1}{206\,265} \\ \text{Poloměr země } & = \frac{40\,000 \text{ km}}{2\pi} = 6\,366,198 \text{ km} \end{aligned}$$

Podle obr. 136, kde $\alpha = \left(\frac{1}{100}\right)''$ bude

$$h' = \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R = R \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$

$$h = R - R \cos \frac{\alpha}{2} = R \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$$

pro malá $\alpha \rightarrow h' = h$

$$\text{dále } \left(\frac{1}{100} \right)'' [\text{rad}] = \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{206\,265} = \frac{0,3086 \text{ m}}{6\,366,198 \text{ m}}$$

$$\frac{4h}{\frac{0,3086}{2}} = \frac{0,3086}{6\,366,198}, \quad \delta h = \frac{0,3086^2}{6\,366,198}$$

$$h = \frac{1}{8} \cdot \frac{0,3086^2}{6\,366,198} = 0,000\,000\,00187 \text{ m} = 1,87 \text{ nm} = \frac{\lambda}{300}; (\lambda = 550 \text{ nm})$$

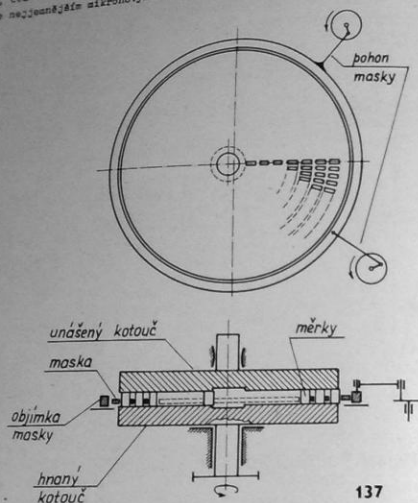
Rovinnost $\lambda/300$ na průměru hladiny 300 mm lze považovat za ideální. Nej kvalitnější plochy docílené optickým leštěním mají rovinnost nejvýše na $\lambda/200$ a to na menších plochách. Hladina o ϕ 300 mm je ale využitelná jen ve střední části, s asi 200 mm, protože okraje jsou deformovány povrchovým napětím.

Planoparalelní desky. Četné součásti mají dvě rovinné plochy, navzájem rovnoběžné - planoparalelní. Jsou to např. základní měrky rovnoběžné, optické plan-kalibry, přesné filtry, substráty mikroelektronických obvodů apod.

Klasické lapovací stroje mají dva litinové kotouče, obr. 137. Jeden kotouč je nahaný, na něm spočívá maska se zasazenými měrkami a na měrky doléhá unášený litinový kotouč, který se eventuálně zatěžuje závažím. Maska a měrkami se otáčí uvnitř objímky unášivým pohybem a objímka dostává složitý pohyb pomocí dvou excentrů.

Lapovací kotouče jsou samy zalapovány na nejvyšší přesnost, např. metodou tří desek. Jsou z jemnozrnné stabilizované litiny. Otáčky hnechící kotouče jsou

se, cca 10 ot/min. Lapování je poslední operace, po několika brousicích. Lapová se nejmenšími mikronovými lapovacími prostředky smíchávanými s olejem nebo i jinými



137

leštičnými přeský, oxidy železa a cínu.

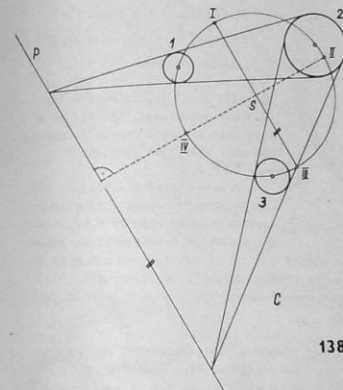
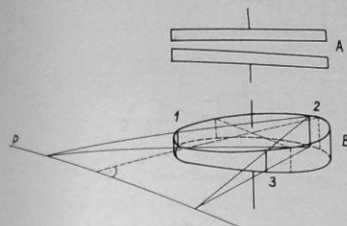
Měry se dokončují s vysokou přesností, u malých tloušťek do $10 \text{ mm} \pm 0,02 - 0,05 \text{ } \mu\text{m}$.

Obecně dochází při lapování mezi rovinovými deskami, (též při lapování v drážkách, např. u nejpřesnějších kuliček), ke vzniku klínu, obr. 138 A, B. Je to důsledek předchozích, méně přesných operací. Dokud lapovací kotouč nedosedá na všechny měry, klínovitost se mění. Jakmile jsou v dotyku všechny obrobky, klínovitost nemá tendenci se upravovat, zůstává stálá. Je nutné zavést, dokud součásti mají přídavky, proces přerušit a obrobky vhodné přeskupit. Měli bychom je vyjmout z masky (drážky), náhodně promíchat a lapovat dále. Je ale spolehlivější, provést přeskupení podle výpočtu, zejména u menších počtů měrek (kuliček), kde statistika není spolehlivá. V obr. 138 A je klínová mezera. Ve skutečnosti je klínovitost nepatrná, jen zlozky mikronu. Pro výpočet musíme vyjmout tři součásti při obvodu masky (nebo u kuliček z drážky) s odlehlostí 120° , na obr. 138 B označeny 1, 2, 3. Ty přesně proměříme a dostaneme např. míry

10,00115
10,00230
10,00135.

Do obrázku 138 B nakreslíme velikosti vyjmutých částí, ale stačí konečná, libíčí

se číslo, tedy 115,230,135 jako pořadnice 1,2,3 a totéž uděláme v obr. 138 C, kde zkušební míry nanášíme jako poloměry. Z obr. 138 B je vidět, že spojnice konců

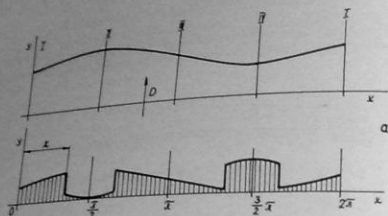


138

ke spádové přímce, můžeme psát :

$$2 \left[\int_0^x (1 + \sin x) dx + \int_{\frac{\pi}{2} + x}^{\frac{3}{2}\pi} (1 + \sin x) dx \right] = 2 \left[\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi + x} (1 + \sin x) dx + \int_x^{\frac{\pi}{2}} (1 + \sin x) dx \right],$$

$$\int (1 + \sin x) dx = x - \cos x + C$$



139

po dosažení mezí:

$$\begin{aligned} [x - \cos x]_0^x &= x - \cos x + 1 \\ [x - \cos x]_{x/2}^x &= \frac{x}{2} - \cos x \\ [x - \cos x]_{x/2}^x &= x + \cos x - 1 \\ [x - \cos x]_x^x &= \frac{x}{2} - x + \cos x \end{aligned}$$

vyčíslení dostaneme $\cos x = 1/2$
 $x = 60^\circ$.

Součástí v 60° polích není nutné vzájemně orientovat, protože se v blízkosti maxima a minima sinusovky jen málo liší, jak je vidět z obr. 139 a, b.

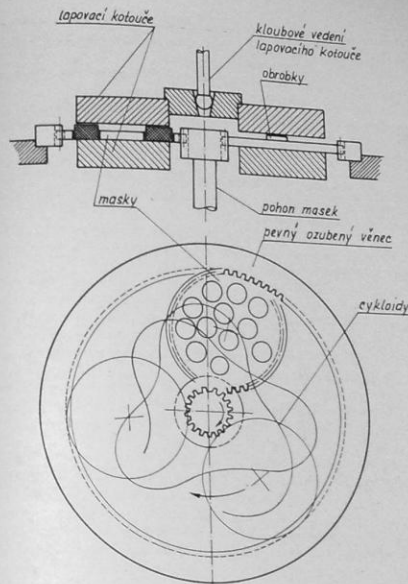
Proces lapování sledujeme občasným měřením. Jakmile libovolná součást dosáhne rozměru menšího než byl minimální rozměr před přeskupením.

ním, jsou teoreticky všechny součásti stejné a budou se odpovídat rovnoměrně. V obr. 139 a zobrazuje ploché sinusovky vlastně přídavky na dolapování. Po přeskupení má Σ přídavků (průběh "rozlámané" sinusovky) v obou polovinách klíma $0 - x$ a $x - 2x$ stejné hodnoty.

Výkonná produkční stroje pro lapování přesných planoparalelních součástí v průmyslu optiky a mikroelektroniky pracují se soustavou více masek, (3 - 5), obr. 140. Masky jsou ve tvaru ozubených kol a mají v sobě řadu otvorů pro vložení obrobků, obr. 141. Masky musí být vždy tenčí než obrobky, takže při lapování např. tenkých keramických nebo safírových substrátů je z rovné ocelové planšety.

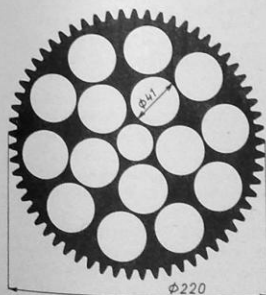
Pevný ozubený věnec vně lapovacích kotoučů masku vede, takže každý bod masky koná pohyb podle zkrácené cykloidy, vnitřní ozubené kolo rotuje a udílí maskám valivý pohyb. Horní lapovací kotouč dosedá vlastní tíhou a je ještě přitlačován závažím, pneumaticky, nebo hydraulicky. Musí být výkyvný, proto je v ose přitlačován a veden kloubem. Aby kotouče vydržely co nejdéle rovinné a neopotřebovaly se na nich zóny, přebíhají obrobky přes jejich vnější i vnitřní okraje. Tyto

82



140

stroje mají příslivou vlastnost, do určité míry vyrovnávat klívnovitost mezi deskami protože obrobky při krajích masek putují v širokém pásmu od obvodu až poblíž středu lapovacích kotoučů. Díry pro obrobky v masce jsou větší než obrobky, aby se v nich mohly i protáčet, srovnej obr. 141. Tím každý bod obrobku vykonává pohyb ještě složitější než po cykloidě a oterá jde po jeho ploše všemi směry.



141

83

Trojčlenná optická technologie (diamantová). V sériové a hromadné optické výrobě se prosazila tzv. "trojčlenná" technologie, při které se žádaný optický povrch, rovinný nebo kulový docílí třemi operacemi:

1. **frézování:** Tato operace není ve skutečnosti frézování ve strojírenském pojetí, ale broušení nástroji s vázaným diamantem,
2. **jemný broušení (lapování)** tabletami s vázaným jemným diamantem,
3. **leštění** - volným leštivem, nejčastěji CeO_2 nebo FeO_2 , koloidním SiO_2 na podložkách foliových nebo smolných.

1. **Nástroje pro frézování** jsou brusné kotouče, nejčastěji hrncovitého tvaru, u nichž aktivní část je obložena sintrovaným materiálem, v optice kovem s rozptýleným diamantem hrubšího zrnění.

Aktivní částí brusných kotoučů se vyrábějí také samostatně jako "diapratence". Protože pojivka materiálem jsou často kovy, pratec se na drážk ušetří a připevňuje. Pojiva jsou na bázi mědi, železa, chromu a niklu.

Pojivo má důležitou funkci. Spojuje, uzavírá v sobě izolované zrna diamantu a udržuje tvar nástroje. Během frézovacího pochodu musí ale zároveň uvolňovat otupěná zrna a obnažovat nová, ostrá. Pojivo musí mít určitou tvrdost, tepelnou stálost a odolnost, roztažnost, pevnost a přilnavost k zrnům diamantu. Tvrdých pojiv se používá u větších zrnitostí a vyšších koncentrací diamantu a zejména tam, kde nástroj musí zachovávat tvar.

Pro běžné druhy skel jsou to nejčastěji cinové bronzky. Velikost zrn je např. 165/125 nebo 125/100 μm . Diamantová zrna nesmí tvořit ahluky a být rovnoměrně rozložena. Důležitá je koncentrace diamantu, tj. váhový obsah zrn v 1 cm^3 pojiva, běžně se pohybuje mezi 0,32 až 0,44 g/cm^3 .

Koncentrace diamantu se označuje též číselně. Je-li koncentrace $K = 100$, znamená to, že v jednom cm^3 brusné vrstvy je 0,88 $\text{g} = 4,4$ karátů diamantu. Při hustotě diamantu $\rho = 3,52 \text{ g}/\text{cm}^3$ zaujímá objem diamantu v tomto případě 0,88 : 3,52 = 0,25 objemu vrstvy, tj. 25 %. Tak velké koncentrace se málo používá).

Dnes se sintroují výhradně syntetické diaprásky. Jsou tříděné a nejodolnější jakové, které se mechanicky nedrtí a nemelou. Jejich zrna jsou nerozrušená, tak jak vyrostla, mají tvar osmičlenný, dvanáctičlenný kosodéřevitých, kuboktáedrů a jejich náznaků, tedy zrna vesměs tupohlá s velkou pevností a odolností.

Při práci se diamantové nástroje musí vydatně chladit proudem kapaliny, protože fezná rychlostí jsou 10 až 25 m/s . Kapalinou je nejčastěji voda.

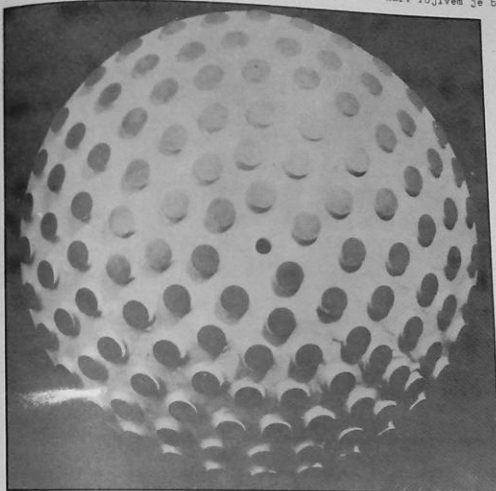
Čistá voda dobře chladí, ale nemaže, proto se emulguje s oleji, které mažou, ale málo chladí. Přidávají ethylenglykoly jsou zdravotně závadné. Bez emulzí voda také koroduje součásti a kazí se. Známá editiva jsou Emulsin, Akvol, přidává se jíh asi 5 % objemu.

Nefunguje-li dostatečně samoživující proces obnažování ostrých zrn, což se může stát např. přechodem na jiný druh skel, musí se brusný kotouč občas "obtěhnout" mokřím karborundovým brouskem, ale při malých otáčkách (ručníprotáčení), jinak ubývá jen brousek!

K frézování (hrubování) se používají též tablety s hrubšími diamantovými prášky, např. zrnitostí 160/125, nebo 125/100 (síťové velikosti) v kovovém pojivu, (většinou speciální bronz BZS - tvrdosti 100 - 170 HBr).

Příklad výkonnosti brusných tablet: tableta D/1=15/5 mm zrnitostí 125/100 hmotnosti cca 6 g odbrousí do spotřebování cca 25 kg tvrdého skla. Tím ušetří asi 50 kg karborundu SiC 200 - SiC 320 v ceně 1 600 Kčs. Tableta stojí 73 Kčs. Ušetří tedy jen na materiálu 1 523 Kčs.

2. **Nástroje pro jemné broušení** (nepravěné lapování) při trojčlenné technologii jsou destičky (tablety) velikosti D/1, pro střední rozměry optiky např. 7,5/3,5 - 10/4 až 5 - 15/5 až 8 mm . Diamant má zrní pod požadované drsnosti povrchu a druhu skla 32/22 - 22/15 μm , koncentraci diaprásky v tabletách např. 33 %, tvrdost tablet 120 až 140, nebo 140 až 170 HBr. Pojivem je bronz



142

Pro rovinnou optiku jsou tablety připájeny (stříbrem, cinovými pájkami) nebo lepeny na ploché kotouče. Hustota obložení plochy a způsob rozmístění tablet jsou různé. Tablety mohou být uspořádány do spirál, radiálně, do kruhových pásů, nebo zcela nepravidelně a i hustota po ploše kotouče může být různá.

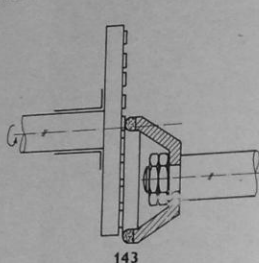
Pro sférickou optiku jsou tablety uloženy na hříbku nebo na misce, například hříbku je na obr. 142.

Uložení tablet na ploše kotouče není přesné, jejich činná plocha se musí do roviny (nebo koule) upravit zabroušením. To se děje klasickým způsobem, na liti nové desce (hříbku, misce) volným brusivem. Tím nástroj získá přesnou geometrickou plochu a zároveň se pojivo tablet obrousí a zrnka diamantu obnaží.

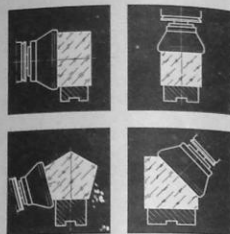
Při práci se někdy tablety zanášejí, to se projevuje menší frézovostí. Ztráta frézovosti má za následek vyhlazování (obylkání) povrchu obrobků a prodloužení nebo vůbec nemožnost následujícího vyleštění. Oživení se dělá karborundovými nástroji, nebo volným brusivem.

Frézování. Frézování v optice rozumíme broušení rovinných nebo kulových (výjimečně jiných, např. toroidních) ploch diamantovými brusnými kotouči. Z geometrie vychází tento kotouč zpravidla hrncový (pro vypuklé plochy vády). Při frézování rovinných a kulových ploch musí osy vřeten obrobku a nástroje mít pevně nastavený úhel a musí být různoběžkami (protínat se).

U rovinných ploch je to zvláštní případ, osy obou vřeten jsou rovnoběžné, obr. 143. Vřeten obrobku koná posuvné otáčky, desítky až stovky za min., vřete-



143



144

no nástroje vády vysoké otáčky, aby bylo dosaženo velkých řezných rychlostí až do 25 m/s. Pro výrobu rovinné optiky, jako hranoly, se vyrábějí několikvteřové stroje (např. LOH) stavebnicového typu. Stroj je podobný vodorovným rovinným brusným strojnickým, má podélný pohyb stolu až 1 300 mm.

Obrobky se upínají tlačením na lišty, obr. 144, dlouhé až 1 m, ustavené podélně na stole. Horizontální a vertikální vřetena mají právě dle přesné nastavení, naklápěcí vřeteno se dá sklonit do libovolné polohy s přesností $\pm 30''$. Průměr diamantových kotoučů je 200 a 100 mm, otáčky vřeten 3 000/min. Tyto stroje nevyrábějí optiku s vrcholnou přesností, ale jsou výsoce výkonné, vyrobou hranoly asi 25krát rychleji než při klasickém opracování volným brusivem.

Jemné broušení. Zavedení tabletových nástrojů neobyčejně zrychlilo přesné vybroušení ploch. Jsou-li zrnitosti diamantu, jeho koncentrace, pojivo, řezná kapalina, rychlosti atd., správně voleny, zanechává tabletový nástroj na obrobku takovou drsnost, že může následovat leštění.

Rovinné tabletové broušení se dělá na strojích různé velikosti, např. s deskou obrobků je 400 mm a s nástroji s tabletami do 500 mm (LOH PLM 400), obr. 145. Deska s tabletami je obvykle na hnaném vřetenu, tedy jako dolní, obr. 146, deska s obrobky je položena na ni a vedena čepem v kuželovitém zahloubení. To umožňuje bezvřetvé spojení a schopnost obrobků přizpůsobit se případnému házení nástroje. Kulovým čepem se přenáší přítlak, který vyvozuje pneumatický válec, protože vyžadovaná tlak nestučí od vlastní tíhy. U stroje zmíněné velikosti je přítlak až 2 100 N, otáčky vřeten 225 - 650/min, rameno s čepem koná 18 kmítů/min.

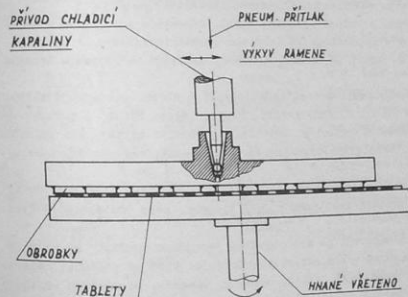
Mají-li obrobky příliš velký průměr, nebo výšku, doporučuje se umístit je na spodní vřeteno. Nástroj se pak vykyvuje kloubem a unáší.

Chladičí kapalina se přivádí středem nástrojového kotouče.



PLM 400

145



146

3. **Nástroje pro leštění.** Zabrúšované nebo lapované plochy, i když mají velmi přesný geometrický tvar, a drsnost povrchu takovou, že je možné kontrolovat pomocí interference světla, nesmí být plochami opticky hladkými. Přikladem mohou být základní měřky, kde rozdílová přesnost, rovnoběžnost a rovinnost ploch jde do extrémů, ale na ploše se nepodaří, aby byla opticky hladká.

Naproti tomu je řada výrobků, kde nejsou nutné největší přesnosti, ale vyžadujeme optickou kvalitu povrchu, jako zrcátka, kondenzátorové optiky, brýlové optiky, metalografické výbavy apod.

U těchto součástí, rovinných, kulových i sférických nedešťuje na smolné podkladě, ale na měkkých plastických podložkách. Klasickými podložkami jsou plati a platin, plati nasáklé smolou, novými materiály různé druhy polyuretanů, Syntap, MOHO, CZUBA, Berex, HS 82-84 apod. Tyto podložky jsou ve tvaru folií tlustých 0,4 až 5 mm. Jejich tloušťka ale musí být konstantní, protože se nelepují na základní plochu, rovinu, hříbek nebo misk, toroid apod. S podložkou (kopetem) musí vytvořit kongruentní plochu. Protože tyto materiály jsou měkké, nasáklé a netečou jako smoly, zrnka leštiva se do nich snadno zamačkávají. Plocha je dobře chlazená, proto tento způsob leštění dovoluje spolu s rasantním leštěním, jaký je např. oxid ceritický vysoké lešticí rychlosti. Např. brýlové čočky je takto vyleštěna cca za 20 s. Nevhodou tohoto leštění pro přesné výrobky je to, že poněkud znečisťuje původní vybrúšený tvar plochy, nejvíce vždy při okrajích, které v pásu několika desetin mm až několika mm začne. Při leštění na těchto podložkách téměř nevzniká poškřábání, naopak je možné zkrásky se "zatahují". Proto se omeďilo i u velkých (až 150 mm) keramických a safírových podložek integrované elektroniky. Nejpreciznější optika se leští na smolných nástrojích.

Lapování. Lapování je technologický proces, který nám umožňuje přizpůsobit vzájemně povrchy dvou součástí, jako negativu a pozitivu. Přizpůsobují se plochy, předchozími operacemi co nejdokonalěji obrobené, soustružené, frézované, nejčastěji ale broušené, vázané, nebo volně brusive.

Mezi lapované plochy se nanese jemný brusný prášek, smíchaný s kapalinou, nejčastěji olejem, nebo již připravené lapovací pasty. Vrstva brusiva je velmi tenká a při konečném, tzv. šarfovacím lapování prakticky nulová.

Lapování se nejčastěji obstarává výtlačky ploch, zanechané předchozími obráběním, drsností i vlnitostí. Přizpůsobuje se také ale geometrický tvar. To je důležité u součástí kalených, neboť ty značnou strukturu nabývají na objemu a tvarově se deformují.

Lapování je jako dokončovací proces neúčinnější u ploch, které mají vůči sobě alespoň dva stupně vlnitosti, tedy roviny, koule, válce. Plochy a jedním stupněm vlnitosti, jako kužele, anuloidy, toroidy, šroubovitě plochy, lze vylepšit jen směr pohybu. Např. kuželové uložení se zlepšuje rotačně, ale povrchy kuželů nelze zpřesnit.

Ve zmíněných případech byly obě součásti navzájem obrobkem i nástrojem, jako např. dvojkulové vřetenoustruhu s jeho pouzdry, nebo vřetenoustruhy s ložiskem dělicího stroje.

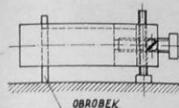
Při výrobě měřidel a nástrojů je ale obrobkem jen jedna součást, negativ je nástrojem. Zde máme volnost ve volbě materiálu nástroje. Dává se přednost nástrojům měkčím než obrobek, např. žedé litiny, bronzů, mosazí. Do měkčích nástrojů se brusivo částečně zamačkává a je účinnější, ale zamačkání nesmí být tak pevné, aby zrna v nástroji natrvalo zůstala.

Nejrozšířenější je perlitická žedá litina. Její struktura obsahuje volný

grafit, ferit a fosfitová eutektika. Nejmenší je grafitová složka, kterou brusna snadno vytěsňují a zamačkávají se místo ní. Perlit a ferit se brusivem dobře ispregnuje (šarfuje), ale tak, že otupené, nebo rozdržené zrnka se opět vyloží. Ferit má mikrotvrdost cca 180 MPa, perlit 300 - 400 MPa, kředo fosfitové eutektikum má cca 1 300 MPa a svoji tvrdostí tvoří nosnou část povrchu plochy.

Při dokončovací lapování se někdy obrobky omyjí a nástroj se otře dosucha, takže je prakticky zbaven volné složky brusiva. Zastanou jen zrnka ispregovaná, nosná část nástroje klouže téměř kov na kov, oddělena jen tenkou vrstvou filmu (oleje, petroleje).

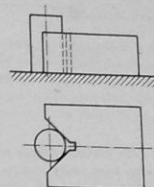
Malou koncovou plošku, mě-li být rovinná, lapujeme v trojnožce, kde kolmost



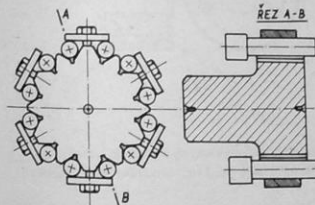
147

seřídíme dvěma opěrnými dotyky, např. šroučky, které se rovněž na desce lapují, obr. 147.

Čelo válečku lze zalapovat obdobně, máme-li prisma s kolmou dráskou, které váleček vede, obr. 148.



148

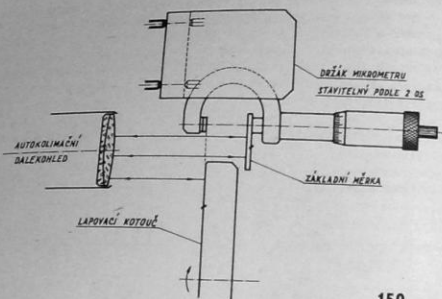


149

diamant.

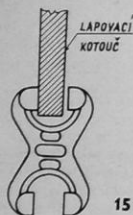
Pevný dotyk mikrometru musí být rovnoběžný s tělem měřicího dotyku. Mikrometr se upne do stavitelného dráčku a na měřicí dotyk se nasadí základní měrka,

obr. 150.
V dalekohledu autokolimatoru vidíme značku vrácenou rovinou lapovacího ko-
touce, a tu stotožníme drázkou mikrometru se značkou jejího obraz je odrazem od
touce, a tu stotožníme drázkou mikrometru se značkou jejího obraz je odrazem od

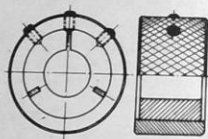


150

měrky. Tím je čelo vřetena šroubu rovnoběžné s rovinou lapovacího kotouce. Pevný
dotyk přebrousíme a na tenže strojí vyslapujeme. Při kontrole rovnoběžnosti nesmí
na vložném skleněném plánu být klínovitost, projevující se interferenčními prou-
žky, může se podle příležitosti jen měnit interferenční barva.



151



152

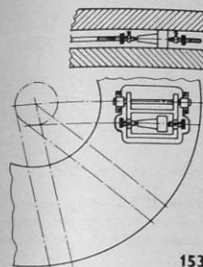
Podle obr. 151 lapujeme obkrožné kalibry, želisti posuvných měříttek, drážky
maltézských křížů, různých přesných vedení aj., kde to lze, brousíme a lapujeme
obě plochy na jedno upnutí.

Vnější váleček se dá efektivně lapovat jen rozfázovanými svíracími krouž-
ky podle obr. 152. Výrazně se zlepšuje vlnitost, drsnost i kruhovitost profilu.
Má-li se upravit i přímota válce, nebo odstranit kuželovitost, musí svírací ná-
stroj být dlouhý, alespoň polovinu délky lapovaného válce, a měl by se střídavě
obracet. Objímkou pro dlouhý váleček není jednoduché zhotovit, nejpřesnější je vytvo-

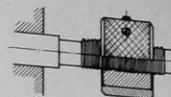
zení na souřadnicové vyvrtávačce.

Vnitřní váleček lapujeme trnem, který má kuželovitou díru a je rozpínán rov-
něž kušelem.

Lapování válcových ploch v sériové výrobě se dělá rovněž způsobem mezi ro-
vinami lapovacími deskami, obr. 153, kde meška nese kyvné rámečky, v nichž



153



154

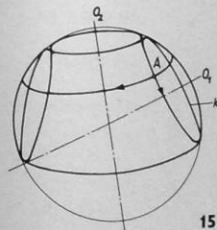
Jsou lapované plochy uloženy v hrotech.
Nástroj se dotýká válců jen v površích,
proto tendence k zlepšování geometrie je
závislá i na počtu součástí. Čím více ka-
librů lapujeme, tím lepší je jejich kruho-
vitost.

Vnější závit můžeme lapovat jen svírací maticí, obr. 154. Má se docílit
hladšího povrchu závitu a při dlouhé matici se odstraní i některé chyby závitu,
chyba periodická a do značné míry i postupná, dále kuželovitost, kruhovitost, ale
nedá se zlepšit profil závitu. Měřicí závit (mikrometry) nesmí mít váli, proto
lapujeme závit s maticí, maticí je vyřizována dlouhým přesným závitníkem a je svíra-
cí.

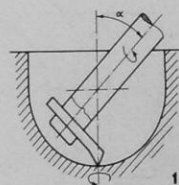
Obecně lapujeme matici jen šroubem, rozpínaným kušelem.

Kulové plochy. Koule je nejjednodušší prostorový útvar, je charakterizována
jedním rozměrem, poloměrem.

V technologii vytváříme kulové plochy následujícími způsoby:



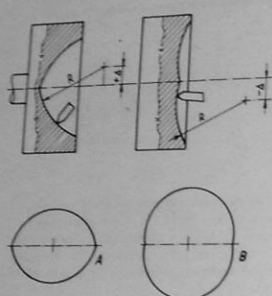
155



156

Rotaci bodu kolem dvou os, které jsou různoběžkami, obr. 155. Bod A opisuje
kolem osy Q_1 kružnici K_1 , a její rotací okolo osy Q_2 vznikne kulový pás. To je

případ vytváření jednobítkým nástrojem, např. na souřadnicové vyvrtávačce, obr. 156. Vřetenem a vytáčetím možno konat jednu rotaci, otočný stůl druhou. Je zřejmé, že tímto způsobem lze vytvořit jen kulový pás, maximálně ale polokouli je-li $\alpha = 45^\circ$ a hřít může jde osou obrobku.

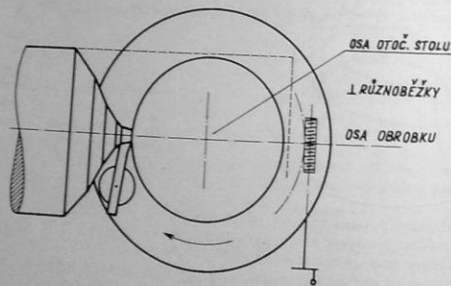


156

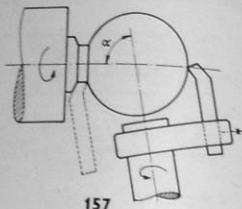
Nejjednodušším případem při soustružení koulí je použití otočného suportu, jehož osa rotace je vřetení. Pak je splněna podmínka pro vytvoření celé koule rotujícími body, kdy osy otáčení jsou kolmé různoběžky a rotující nástroj prochází osou rotace obrobku, obr. 158.

Zobrazíme, že se osy rotace musí protínat. Není-li podmínka splněna, obr. 159, kdy osa otočného suportu je souběžná s odchylkou Δ , je výsledkem dutina toroidní.

Podobně s vnějškem vysoustružíme toroidy A, B obr. 159 místo koule.



158



157

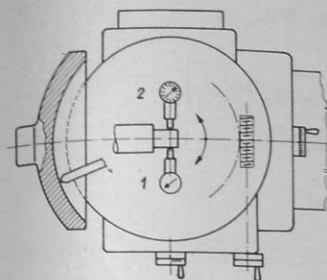
Podle obr. 157 lze dvojí rotací vytvořit kulový šep v rozsahu téměř celé koule, kdyby úhel α mohl nabývat 90° .

Nejjednodušším případem při soustružení koulí je použití otočného suportu, jehož osa rotace je vřetení. Pak je splněna podmínka pro vytvoření celé koule rotujícími body, kdy osy otáčení jsou kolmé různoběžky a rotující nástroj prochází osou rotace obrobku, obr. 158.

Zobrazíme, že se osy rotace musí protínat. Není-li podmínka splněna, obr. 159, kdy osa otočného suportu je souběžná s odchylkou Δ , je výsledkem dutina toroidní.

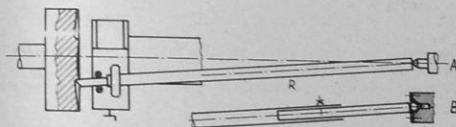
Podobně s vnějškem vysoustružíme toroidy A, B obr. 159 místo koule.

Není-li poloha otočného stolu v soustružně jednoduše nastavitelná, např. pomocí kolíků, navede se osa do přesné polohy nejlépe způsobem podle obr. 160.



160

Pro soustružení kulových ploch, misek a hříbků v optické technologii se použije vykrusovací způsob, obr. 161. Dlouhý tyč je opřena o koník, poz. A, nebo lépe



161

B. Na konci tyče je upevněn mříž, zajištěný proti otáčení kolem osy táhla a opřeno o příčné sání, které mu udělují posuv do řezu. Přísuv se dále končíkem.

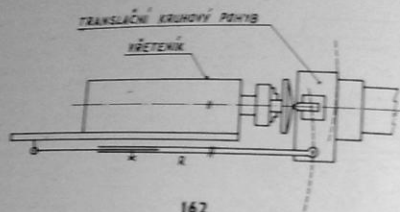
Složitější je soustružení vypuklé koule, obr. 162. Zde musí být dlouhá tyč (ojnice) otočně uložena na rámu (vřetenku). Druhý konec vede příčné sání, které pak vykonává translační kruhový pohyb. Ojnice se musí uvést do polohy rovnoběžné s osou vřetená a v tomto stavu se upevní náš tak, aby měl špičku v ose. Nedodržení této podmínky má za následek soustružení toroidní plochy, obr. 162 A. Posuv může vyvozují příčné sání, přísuv se koná samostatným dráčkem.

Kulové plochy se soustruží též podle šablony, způsoby běžnými ve strojírenství.

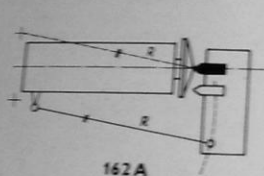
Jednobítkým nástrojem vyfrézujeme také vypuklou kouli, obr. 163. Výhodou jednobítkých rotujících nástrojů je, že se u nich nemůže uplatnit házivot,

nevýhodou je malý výkon.

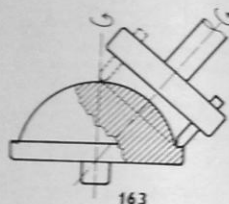
Návrhové-li nástroj víceúčelový, např. frézou, měkne opět za podmínky, že



162



162A

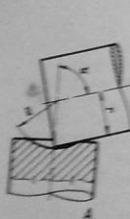


163

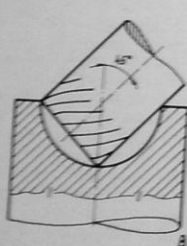
by rotace jsou rovnoběžky, vytvořit frézou určitěho poloměru r kulové hlavy nejmenšího poloměru R .

Minimální rozměr R se blíží r , maximálně $R \rightarrow \infty$. To vyplývá z jedno-
chého vztahu

$$R = \frac{r}{\sin \alpha}$$

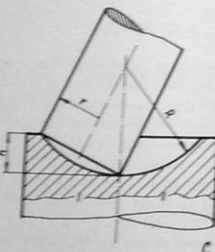


$$R = \frac{r}{\sin \alpha}$$



$$R = r \cdot \sqrt{2} = h$$

164



$$h = 2R \sin \alpha$$

kde α je úhel os nástroje a obráběcí.

Z obr. 164 A vidíme, že je hloubka hlavy ohraničena povrchní nástroje.
Obr. 164 B ukazuje, že při nastavení $\alpha = 45^\circ$ je $R = r \cdot \sqrt{2} = h$. Vyděruje se
úplně polokoule.

Zmenšování hlavy α se zvětšuje dosažitelný poloměr koule až k $R \rightarrow \infty$
obr. 164 C, ale hloubka hlavy se zmenšuje na $h = 2R \sin \alpha$, je zanedbatelná.
res hrany frázy.

Při optickém "frézování" míří bravný kotouč diamantové ošklád zoculené
radiusem r , obr. 165. Potom pro počátečný rážnice šoků R musíme nastavit úhel
vřetena

$$\alpha = \arcsin \frac{D}{2(R+r)}$$

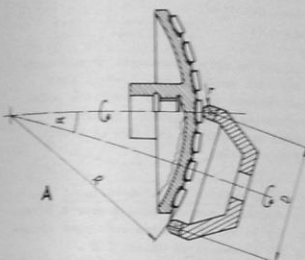
nebo

$$\text{obr. 165 A,}$$

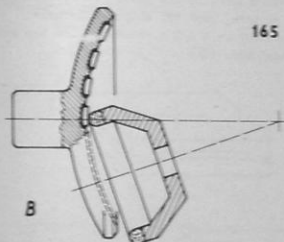
$$\alpha = \arcsin \frac{D}{2(R-r)}$$

$$\text{obr. 165 B.}$$

Chceme-li, aby vyfrézovaná plocha
měla hladký vrchůlek až do vrcho-
lu, musí se bravný kotouč v to-
to vrcholu dotýkat, jinak vyfré-
ujeme jen kulový pás. Toto pos-
tavení musí mít bravný kotouč
vždy brouš-li, jen jednu špičku.



165



Frézování nebo soustružení
kulové plochy nejde dost přesně,
slovně jím mohli broušit opti-
cké součásti, šokky nebo zrcadla.

Už počáteční poloměry hlavy
a hloubku se nerovnájí, protože
na stroji nalze R nastavit přes-
ně, obr. 166.

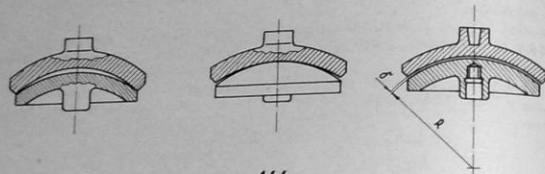
Maximálně proto každou dvojici
spolu zabrušit a tím vznikne
poloměr, který je někde uprostřed
výchozího hodnot R . Kromě toho
zabrušené dvojici hlavy-hloubky
vždy broušivem určitého arnnd,

které představuje vstříkna tloušťky δ , tím tenčí, čím je zabrušování pasta
(broušivo-olej) jemnější. Takových dvojic hlavy-hloubky je pro broušení odstupňova-
ných arnndů broušiva několik, sprevidle 2 až 4.

Zabrušováním dvojic se ale dají odstranit počáteční nepřesnosti, drsnost,
vlnitost a nekulovitost, takže zabrušené dvojice se dokonce vysokou přesností
a kongruentností ploch. Předpokladem ovšem je dobrá stabilita litiny.

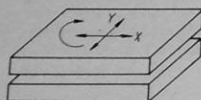
Hlavy potom slouží k vyrobování vypulých (konvexních) ploch šoků, hloubky
k broušení dutých (konkávních) ploch. Např. první hlava má největší poloměr
 $R + \delta_1$, druhá $R + \delta_2$, třetí $R + \delta_3$ atd., kde $\delta_1 < \delta_2 < \delta_3$.

Pro poslední operaci leštění se do pomocné misky (která nemusí mít přesný poloměr) naleje horká leštící směs, nechá se vychladnout do plastického stavu a do



166

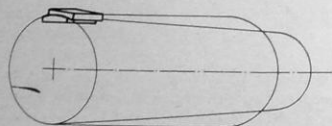
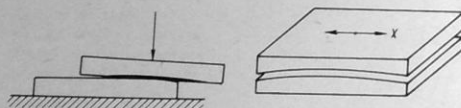
táto směs se otiskne hříbek s poloměrem R. Aby se hříbek nenašlepl na směs, použije se tenkou vrstvou vody s rozmačkaným leštícím práškem (FeO_2 , CeO_2). Tento smolný podklad je přesnou leštící plochou. Nepatrné odchylky od konečného poloměru čítek se upravují během leštění rýhováním smolného polštáře, velikostí výkyvů misky, regulací otáček vřetena, značnou excentricitu atd. Tím se docílí vyleštění poloměru v rámci zlomku vlnové délky světla.



167

Kulové plochy velkých poloměrů křivosti vytváříme též vzájemným zabrušováním desek, z počátku rovných. Tak se vyrábí většina amatérské zrcadlové optiky pro astronomické dalekohledy.

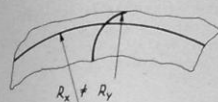
Vyjde se z toho, že dvě desky, např. skleněné, přiložené na sebe, mají tři stupně volnosti: dva posuvy podél os X a Y a rotační okolo osy kolmé k plochám, obr. 167.



168

Budeme-li plochy zabrušovat volným brusivem a využijeme jen jeden stupeň volnosti, např. tahy podél osy X, začne se vždy horní deska, která přebíhá přes nramu desky dolní obrušovat více uprostřed, zatímco dolní desce se více ubrušují kraje. To je důsledek změny polohy těžiště horní desky. Čím větší bude amplituda,

tím rychleji desky budou zabrušeny do tvaru válce, nebo tláhlého kužele, obr. 168.



169

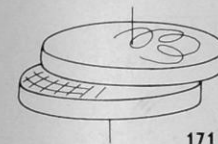
Vademe-li tahy podél dvou os X a Y, budou obecně oba poloměry R_x , R_y různé, obr. 169. Plocha nebude přesně definovatelná, bude se blížit toroidu nebo elipsoidu spod.

Pouhým otáčením desek vznikne plocha rotační, ale jiné, nedefinovatelné, obr. 170.

Tepře kombinací všech tří pohybů (otáčivých, kvazicykloidních) máme možnost zhotovit poměrně přesné kulové plochy. Vždycky je však problematické docílení požadovaného radiusu. To vyžaduje velké zkušenosti ve volbě parametrů pohybů. V podstatě je ale jedno, vyvozujeme-li pohyby ručně, nebo strojně. Sklo se nesmí držet a zahřívát rukama!

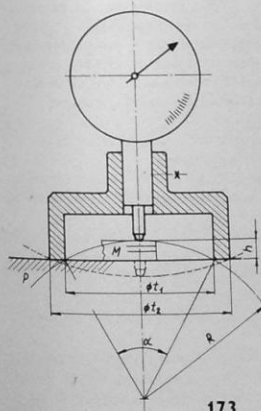
Při frézování (broušení diamantovými kotoučemi) mají včetně obrábku i nástroje pevnou, tuhou polohu.

Naproti tomu při nálešujícími jemně broušením tabletovým způsobem, obr. 171 má pevnou osu jen jedno vřeteno, např. miska s čítkami a hříbek vystlaný tabletami je opatřen kloubem. Sféra, vytvořená povrchy tablet má být rozměrově co nejblíží broušeným čítkám, v tomto případě menší, aby hříbek do misky zapadl a neobrousil na hřebcích. Styk nástroje a obrábku je tu plošný a kloub umožňuje příprso-

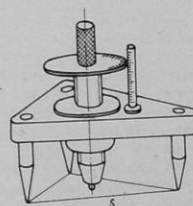


171

broušení obou kulových ploch.



173



172

Poloměry kulových ploch měříme universálními měřidly - sférometry. Klasický sférometr trojnožkový má opěrné dotyky jako vrcholy rovnostranného trojúhelníku. Opěrné hroty nemohou být zcela ostré, mají malé zaoblení, obr. 172. Měřicí dotyk je ve středu trojúhelníku a odchylka od roviny se měří mikrometrickým šroubem.

Hranové (válcové) sférometry obr. 173 mají měřicí hrany jako průniky válce a roviny. Všechny plochy, rovinné, vnější

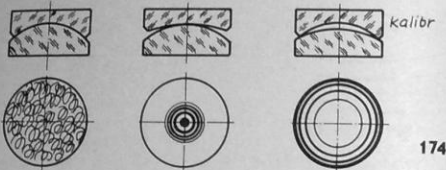
i vnitřní válcové a ještě otvor pro dychkoměr se dají vybrousit na jedno upnutí a vysokou přesností a vypouvat. Známe proto průměry hran δt_1 , δt_2 . Sférometr seřizujeme na nulu podle příložené rovinné plochy, nejčastěji optického plánu p. Vypuklé koule měříme na základě hrany δt_1 , duté na základě δt_2 . Výšku vrchlíku h lze měřit s přesností 1 μ m dychkomérem. Nestačí-li rozsah výšky vrchlíku h pomocí základních měrek M. Poloměr (průměr) koule vydychkoměru, seřídíme h pomocí základních měrek M. Poloměr (průměr) koule vydychkoměru s Pythagorovy věty

$$R = \frac{t^2}{8h} + \frac{h}{2}, \quad D = \frac{t^2}{4h} + h$$

Měrkami seřídíme sférometr na jmenovitý radius R, když sestavíme kombinaci $h = R(1 - \cos \frac{\alpha}{2})$, kde $\frac{\alpha}{2} = \arcsin \frac{t}{2R}$, tedy

$$h = R(1 - \sqrt{1 - \frac{t^2}{4R^2}})$$

Přesněji se měří kulové plochy pomocí interference světla. K metodě přímého dotyku jsou vyrobeny kalibry, jejichž poloměr je přesně zhotoven a proměněn jako normál. Tyto kalibry jsou z tvrdých druhů skel, aby odolávaly poškození.



174

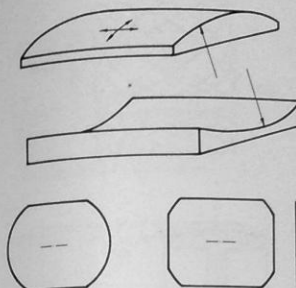
Při měření plochu čočky i kalibrů pečlivě očistíme vatou a lihem nebo éterem. Má-li měřená plocha menší poloměr než kalibr, obr. 174, dá se uvést do dotyku na vrchlík obou ploch a okolo vrchlíku se objeví interferenční kroužky. V bílém světle (deníku) jsou kroužky barevné, v monochromatickém světle a tmavé. Jestliže jsou poloměry značně odlišné, kroužky se od středu zhušťují až vymizí. Při malém rozdílu poloměrů můžeme odpočítat počet kroužků od středu k obvodu. Je-li počet kroužků n, má obloukovitý klín při kraji čočky oproti středu rozestup n. $\lambda/2$ nm (μ m).

Líší-li se poloměry kalibru a čočky o malý zlomek λ , objeví se na celé ploše stejná interferenční barva, která se dá změnit přitlakem.

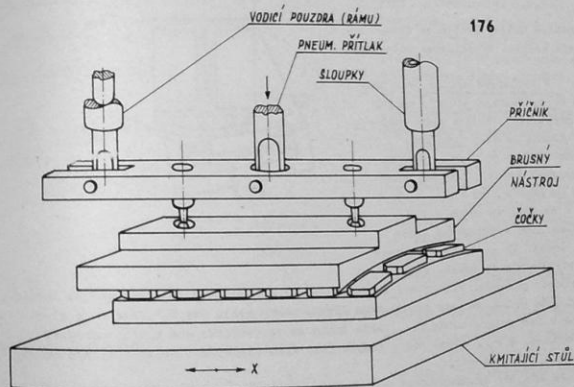
Velké čočky a k nim příslušné kalibry i velké rovinné plochy se snadno deformují, přitlakem i teplotou. Proto se lépe kontrolují bezdotykově, interferometry (sféroidinterferometry).

Z nekulové optiky se zmiňuje o výrobě válcové čočky (spojné, rozptylné). Dělejí se též tmelečné objektivy, např. anamorfovy spod. Spojné čočky se používají nejčastěji k odcítání stupnic a vernierů, anamorfovy v kinematografii a polygrafii. Obrázy válcových čoček se dělají nekruhové, aby byla patrná orientace osy válce. Mají tvary např. podle obr. 175.

Z obrázku vidíme, že válcové plochy dovolují pohyb ve dvěma stupni volnosti, lineární posuvem podél povrchu a rotací kolem osy válce. V podstatě by šlo spojit válcovou čočku vybrousit v rotující dutém válci jako nástroj a rozptylka na povrchu brusného válce. To má ale četné nevýhody, proto se dává přednost broušení



175

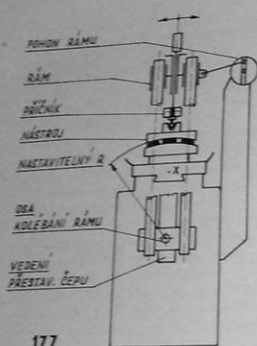


176

okolo svaislé osy, proto jsou vodící pouzdra a sloupky masivní. Stál koná asi 80 kvád/min., rám do 100 kvád/min., zdvihy maximálně 50 mm dlouhé (LOH). Brusné suspenze se přivádí dutými čepky.

Leštění probíhá za stejného režimu kaitání jako při broušení, nejčastěji na měkké polyuretanové fólii nalepené na nástroj podobný brusnému. Z obr. 178 vidíme příklad dráhy některého bodu obrobku při různých amplitudách kait.

Válcové plochy velkých rozměrů (300 mm) a velkých radiů až několik m se vyrábějí a vysokou přesností též pro rytí difrakčních mřížek, jimiž se vytvářejí



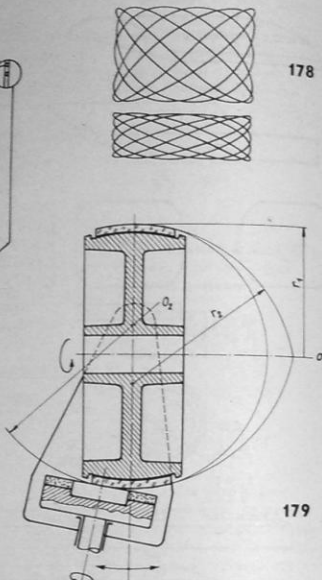
177

spektra březd. Světlo se fokusuje velkými zrcadlovými teleskopy.

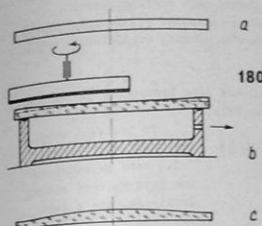
V brýlařské optice jsou běžné čočky "astigmatické", spojky i rozptylky, (vnitřní nebo vnější plocha je vždy toroidní, druhá plocha sférická). Schéma vytvoření vnější toroidní plochy je na obr. 179.

Na kovovém bubnu s cca 250 mm jsou vyfrézována sedla pro čočky. Ty se za tepla nataví viskutím do sedel, svojí sférickou plochou. Při rotaci bubnu se brousí diamantovým kotoučem vnější toroidní plocha čoček. Brusný kotouč křivavý pohybuje okolo osy O_2 , která je kolmá k ose rotace bubnu O_1 , takže čočka má ve vrchliku dvě hlavní poloměry křivosti r_1 a r_2 , které podle indexu lomu skla odpovídají dvěma optickým mohutnostem D_1 a D_2 dioptrií.

Je zřejmé, že vybroušená plocha je rotační jen podle osy O_1 . Přiložená konjugovaná plocha má tedy jen jeden stupeň volnosti, rotaci okolo O_1 . Způsob vytvoření plochy je bodový, přesto že plocha vznikne jako obálka čelní roviny brusného kotouče. Na všechny tři rotační pohyby jsou vysoké nároky co do těsnosti uložení a vibrace při otáčení. Drsnost povrchu jsou vysoké nároky co do těsnosti uložení a chlazení, ale vibrace se projeví vlnitostí povrchu, kterou nelze leštěním odstranit. Čočky se leští na měkkém podkladu (Syntepol) suspenzí CaO_2 . Některé stroje vybrušují toroidní plochu na vnitřní straně čoček (LOH).

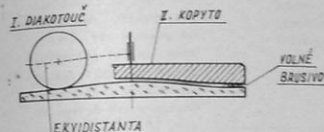


179

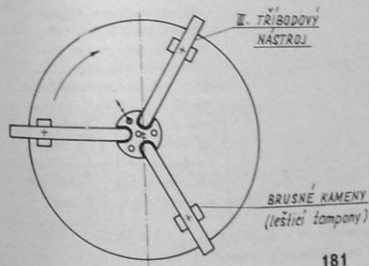
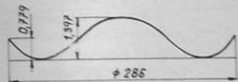


180

Minimálnou technologii sférických ploch vyvinul Schmidt pro výrobu korekční desky k odstranění otvorové vady vysoké světelného kulového reflektoru. Vybrousil a vyleštil planoparalelní desku obr. 180 a. Tu pak položil na kruhovou přivrubu vakové komory a vyfýkal vadách obr. 180 b. Prohmotou desku v tomto stavu naplnil vybrušil a vyleštil do roviny, obr. 180 c, takže po uvolnění desky nabyla tvaru podle obr. 180 d. U nás se vyrábějí tyto Schmidtovy desky s 286 mm (Monokrytaly Turnov) pro projekční televizi. Soustava je vysoké světelné a korekční deska s v meridionálním řezu křivkou profilu 1,397 mm. Takové



PROFIL KOREKČNÍ PLOCHY

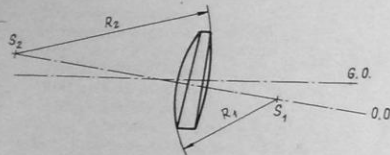
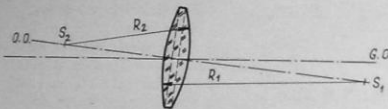
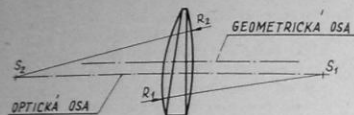


181

stroje pro přesné broušení a soustružení sférických ploch se submikronovou přesností. Souřadnice se nastavují s přesností $\pm 0,5 \mu m$, úhlové s přesností $\pm 1''$. Radiační tuhost včetně ve vzduchovém uložení je 230 N/ μm , axiální tuhost 1800 N/ μm (Moore M-18 Aspheric Generator). Na těchto strojích se soustruží kom-

paktním diamantem (bodovým nástrojem) do zrcadlových kovů (hliníku, mědi, zlata, niklu, bronzu nebo jiných slitin) přímo plochy, které mají optický povrch.
Na skalech, germaniu, křemenu aj., krystalech se sférické a asférické plochy podle programu vyrobí diamantovými koutci takového zrnění, že následuje přímo leštění.

Centrování čoček. Polotovary čočky před broušením nebo frézováním je buď výlisek, nebo vyroběný koutceček s planoparalelními čely.



182

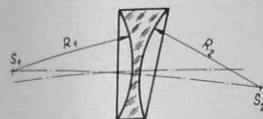
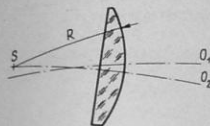
saný průměr s příslušnými tolerancemi. Centrování čoček se tedy provádí dvěma základními operacemi:

1. **Centrování**, tj. ztožnění osy geometrické s osou optickou.
2. **Přebroušení** válcové plochy čočky na předepsaný průměr.

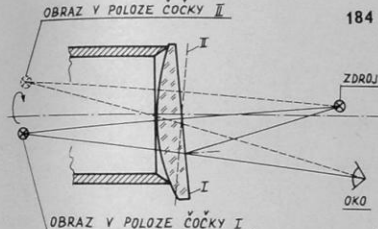
Princip centrování čoček ukážeme na případě čočky plankonvexní: do vřetena centrovacího stroju, obr. 184 upneme trubku (zvonek, kalíšek) většinou z mosazi. Konec trubky osoustružujeme buď ručním nožem, opřeným o opěrku, nebo suportem, který je součástí stroju. Vytvoříme tak pronik válcové a kuželové plochy, hranu, která je ostrá a nehází vůči ose centrovacího vřetena.

Po broušení a vyleštění kulových ploch čočky není geometrická osa (osa válcové plochy čočky) totožná s osou optickou (spojnicí středů křivosti obou kulových ploch S_1, S_2). Jak jsme předpokládali při výpočtu. Jak přehledně ukazuje obr. 182, mohou nastat při výrobě čoček různé případy excentricity dvojjvýpuklé (bikonvexní) čočky. Na obr. 183 jsou uvedeny příklady jiných druhů excentrických čoček.

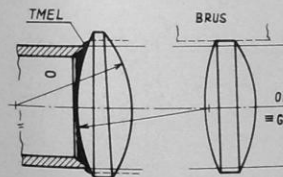
Abychom při montáži jednotlivých optických dílů do kovových objímek obdrželi centrovanou optickou soustavu, centrujeme nejprve každou jednotlivou čočku tzn., že vytvoříme novou geometrickou osu ohraničující válcové plochy (rotační osu čočky), totožnou s optickou osou čočky O.O., obr. 182 tím, že čočku přebrousíme na válcové ploše na před-



183



184



185

Konec trubky se za rotace nahuje a nanese se na ni termoplastický tmel. Sleduje se viskozita a přitlačí káňkem tak, aby čočka držela, ale dále se tlakem dřívka přesouvat - centrovat.

Plocha čočky, přiložená na hranu je vycentrovaná už z definice, neboť střed této koule musí ležet na ose kruhové hrany centrovací trubky, obr. 184.

Scentrování druhé, přivrácené plochy provedeme opticky tím, že v ní jako v zrcadle pozorujeme značku (křížek na osvětleném papíře, na matnici lampičky apod.), obr. 184.

Pokud není přední plocha plankonvexní čočky kolmá k ose vřetena, odrážena značka v rotujícím zrcadle rovněž rotuje (koná kruhový translační pohyb). Tlakenem dřívka na plochu působíme tak dlouho, až se obraz značky zastaví.

Po stuhnutí tmele zkontrolujeme, zda se čočka nepohnula a tím je připravena k obroušení obvodu, obr. 185.

Centrování konvexní plochy vytváří zrcadlením obraz vzdáleného předmětu, (v optické dílně často okenního rámu nebo lampy) ze plochou, obr. 186.

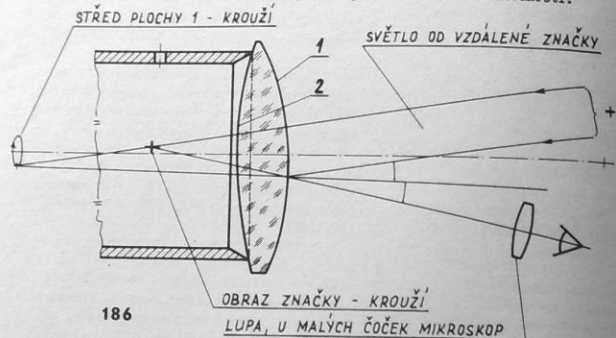
Pokud je plocha 1 čočky nevycentrovaná, leží její střed mimo osu a při rotaci krouží. To se projeví též kroužením obrazu značky. Toto kroužení je u větších čoček patrné okem, u menších čoček si poskládáme lupou a u nejmenších mikroskopem.

Podobně centrujeme konvexní plochy čoček.

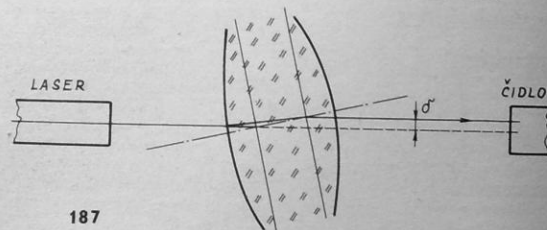
Rozdíl je v tom, že obraz značky vytvořený zrcadlením na duté ploše je reálný a leží před čočkou.

V poslední době se objevily centrovací metody s použitím laserového svazku. Světlo laseru se přivádí dutým vřetena. Je-li čočka nevycentrovaná, prošlý svazek, soustředěný do ohniska krouží okolo osy vřetena. Dopadá na židlo, např.

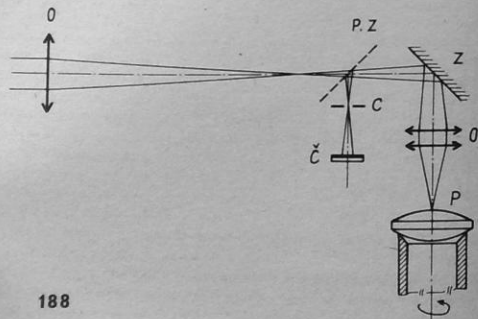
kvadrantovou fotodiodu. Po zesílení fotoproudu přichází signál na obrazovku osciloskopu, kde vytváří kroužek. Jeho průměr je měřítkem rozcentrovanosti.



186



187



188

Tato metoda je názorná, ale ne příliš přesná, protože odchylka svazku světla závisí na sinu malého úhlu, kdežto odrazné metody na dvojnásobku úhlu dopadu, obr. 187.

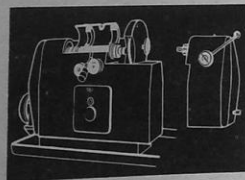
Odrazná fotoelektrická metoda je znázorněna na obr. 188. Světelný svazek se odráží od zrcadla Z a je objektivem O soustředěn na centrovanou plochu čárky P. Je-li plocha rozcentrována, odchyluje se svazek a po odrazu na zrcadle Z a polopropustném zrcadle PZ je snímán fotočidlem Č. Tato metoda je citlivější.

U brýlových čoček je polotovarem výlisek s poměrně hladkým obvodem. Spojné i rozptylné čočky se brousí a leští na autosazech, trojfázovou diamantovou technologií. U těchto čoček se obvod neupravuje, protože je optik musí stejně obrousit, podle tvaru obrouček. Místo centrování obvodu se střed čárky označuje tečnou s černé barvy. Optik musí zasadit čočky do objímek tak, aby rostla střed čárky souhlasila s optickým rozesupem nositele brýlí, který je u dospělých lidí 58-65 mm. To platí u brýlí na délku. U brýlí na čtení nebo na práci se sazí středy čoček přiblížit, protože osy očí se protínají ve vzdálenosti 350 i méně mm.

Centrovací stroje. Pro centrování pomocí tlače se používají stroje, podobné malému soustruhu. Na tomto stroju se dá centrovací trubka přesoustřit, čožke se přitlačí a vycentruje, obr. 189.



189



190

Obroušení obvodu se ale provede na jiné stroju, což podmiňuje, aby vřeteno (quill) s natírací čočkou bylo vyjímátné. Po vycentrování se tedy vřeteno přendá do broušícího stroju, obr. 190, kde se podobně jako při centrování upne v prizmátu, nebo válcovém vedení odklopným upínadlem.

Obvod čočky se brousí diamantovým kotoučem, buď zapichovacím způsobem, tedy jen přisuvem pomocí vačky, nebo i osovým pohybem (tlačí vačkou) brusného kotouče, což zajišťuje přesnou válcovitost obvodu čočky.

Rozptylným čočkám se většinou vyrobují fasety. V takovém případě se použije tvarovací brusného kotouče, který brousí jednu, nebo obě fasety, obr. 193.

Na stroju s obr. 189 se dají centrovat čočky do $\phi 120$ mm.

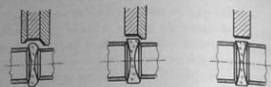
Tento stroj, viz. obr. 189 může pracovat též bez tlače čoček. Princip spočívá v tom, že se čožka upne mezi dvě trubky (kalíšky, zvonky), z nichž jedna je ve vřetenu a druhá

soustředně a vřetenem v koniku. Přítlak se vyvozuje pružinou, obr. 191.

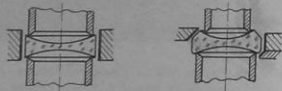
Čochka se samostatně ustředí v případech, kdy okrajové části v místě styku a kalifky mají dostatečně velký úhel, aby centrovací (radiální) složka přítlákové síly přemohla tření na této klínu. Minimální úhel je 17° . Ploché čochky nelze tedy centrovat takto axiálně přítlakem. Jde o ale za pomoci manuálního přítlaku, jak vidno dále.



Obr. 192 ukazuje broušení v seoscentrujících kalifkách, brusný kotouč je jen jeden a má jednu nebo dvě fasety, též obr. 192.



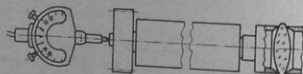
193



194

rovná čochka odchyluje svazek a ten při rotaci opisuje kružnici. Radiální tlakem na čochu se její poloha vycentruje. Že se udává přesnost odchylky centrování plochy od přesné polohy. Při 10 m vzdálenosti se dá indikovat odchylka do $\pm 10''$, při 5 m $\pm 20''$. Protilehlá upínací vřetena a dvě vřetena brusná jsou ve vertikální poloze, obr. 194.

Některé centrovací stroje mají axiální polohu upínacího kalifku sníženou dýchokřmen, který tak kontroluje zároveň tloušťku čochy, obr. 195.



195

PRUŽINY

Každé těleso v pevné fázi je pružinou, (cibla, přídržná deska, vřetel). Pružinami jsou i kapaliny a plyny, ale také pole (elektromagnetická, elektrostatická, gravitační).

Některé součásti, nebo jejich spojení potřebujeme extrémně tuhé. Potom nám pružení překáží a snažíme se množství a rozložení materiálu tuhost zvýšit. Do jisté míry to jde u nerezů, nádob, loží strojů apod. Nejde to např. u ložiskových kalifek. Tam pomáhá jenom volba materiálu. Ten je charakterizován velikostí Youngova modulu pružnosti E. Co do tuhosti, síla/deformace (N/m) by nejlépeší konstrukční materiály byly :

st. číslo	látko	E. 10^6 Mpa	st. číslo	látko	E. 10^6 Mpa
6	diamant	1,0	4	beryllium	0,28
76	osmium	0,37	26	železo, oceli	0,21
77	iridium	0,54	27	cobalt	0,21
78	rhenium	0,47	28	nikl	0,21
	kerbid boru	0,45	29	mangan	0,20
44	ruthenium	0,42		nové stříbro	0,13
43	technicium	0,42		bronz	0,11-0,13
74	wolfram	0,40		mosaz	0,10
	korund	0,36-0,46		dural	0,08
45	rhodium	0,38		bakelit	0,0005
42	molybden	0,35		kaučuk (prýž)	0,00002 - 0,00008

U součástí, které chceme použít jako pružiny, musíme vřít v dříve další hlediska.

Má-li pružina sloužit jako oscilátor (křemenná hodiny), požadujeme, aby měla stálou frekvenci. Ta zase závisí na rozměrech E a teplotou, na teplotní roztežnosti, a chceme aby měla minimální útlum.

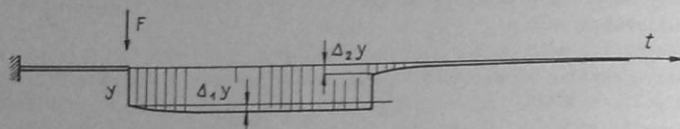
Ve vyzkumu útlumu jsou nejlepší pružinami monokrystaly neplastických látek. Jako příklad lze uvést krystal křemene, dnes většinou syntetického, vhodné vyrobou z čístečného a vyleštěného s minimálními poruchami krystalové sítě. U krystalů, které nelze plasticky deformovat se jejich stavební částice (atomy, ionty, molekuly) v síťce vzájemně pružně vychylují. Stav napjatosti, vyvolaný vychylující silou vymizí, když síle přestane působit. Proto krystal nespotebovává žádnou práci, pouze akumuluje energii a opět ji vydává.

U tvárných materiálů dochází při namáhání v některých místech krystalů (mikrokrystalů) k napětím, které vedou k dislokacím posunu mezi atomy sítě. Ty se spotřebují práce a v těchto dislokacích se vytvářejí nové ustálené stavy, překračuje se místní mez kluzu. Při návratu tělesa jako celku do výchozí polohy by tyto dislokace měly zaujmout svoje původní pozice, k tomu je ale potřeba, aby práce a síly opětně zmačkaly. Jelikož se část návratné síly nedostává, opět práce a síly opětně zmačkají. Zato reologické vlastnosti materiálu nejsou u polykrytalických látek velmi složité a projevují se relaxací - postupným, vícenásobným souvazným časovým vyrovnáváním napětí. Při relaxaci se posunují zvětšují podíl plastické deformace na úkor elastické.

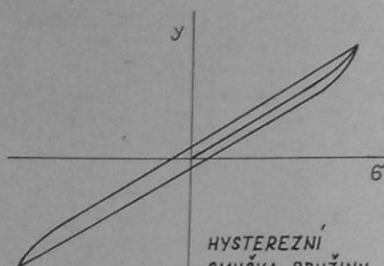
Ne základě vyrovnávání napětí musí docházet opět ke tvorovým změnám, neboť každá změna napětí má za následek deromaci a opětně. To se projevuje doprůčkováním.

Zetříváme-li náhle např. kovovou listovou pružinu podle obr. 196, pruhne se její konec na hodnotu y. Jak plyne čas, přibývá ještě deformace, až se po dlou-

hé době téměř ustálí na hodnotě $y + \Delta_1 y$. Pomine-li zatížení po době t , nevrátí se pružina hned do původní polohy, ale odpruží zhruba o y . Potom bude zase dlou-



196



197

ho dopružovat, od hodnoty $\Delta_2 y$, a do původní polohy se vrací asymptoticky. Je-li y velké, tj. část materiálu se deformovala plasticky, nevrátí se pružina nikdy do původní polohy, zůstane reziduální deformace.

Tu lze zrušit jen opačnou výchylkou pružiny. Zaznamenáme-li průběh oboustranných výchylek jako funkci napětí $y=f(\sigma)$, objeví se místo grafu přímky hysterezní smyčka, obr. 197. Protože plocha smyčky představuje pohlcenou práci, bude se pružina opakovaně vychylovaná zahřívát.

Pro měřicí pružiny volíme takové materiály, které mají nepatrné plastické deformace a namáháme je tak nízkým napětím, aby se hystereze prakticky neprojevila.

Důležitými hodnotami pro všechny pružiny jsou velikosti E a G , dále jejich změny s teplotou (termoelastické koeficienty), součinitelé teplotní roztažnosti. Nejčastější materiály jsou :

- oceli (patentovaný - strunový drát, tenké planžety)
- bronz, nejlépe beryliové (drát, planžety)
- wolfram (těžký drát, planžety)
- speciální slitiny, nivarox, elinver apod., (drát, vlásy a hnací pera)
- tavený křemen (tenká vlákna)
- tvrdá mosaz (drát, planžety)
- zlato (topená pérka, fólie, drát)
- niklová mosaz - pakfong (drát a fólie, planžety).

Některé materiály se při trvalém jednostranném zatížení velmi pomalu plasticky deformují, vykazují creep. Patří sem materiály polykrystalické, např. zinek, cín, olovo a jejich slitiny, ale i látky amorfni. Např. skleněná tabulka je dobrou pružinou pro krátkodobé namáhání, ale prohne se trvale (teče) při zatížení dlouhodobém. Podobně se chová řada plastů (teflon, PVC, plexi-sklo).

Pružiny v jemné mechanice slouží nejčastěji :

1. K měření síly, tahu, tlaku nebo momentu (dynamometry, barometry, deprezské přístroje).
2. K vyvozování síly nebo momentu (číselníkové úchylkoměry, vratné pružiny).
3. K akumulaci a pozvolnému vracení energie (těžná pera hodin aj. strojů).
4. Jako součásti oscilátorů (mechanické i krystalové hodiny, vibrátory).

Sroubo
Důležité ro
d průměr
D₁ vnější
D₂ vnitřní
D_s střední
L₀₀ středov
U pružiny k
D_{1max} nejd
D_{2max} nejd
D_{smax} nejd

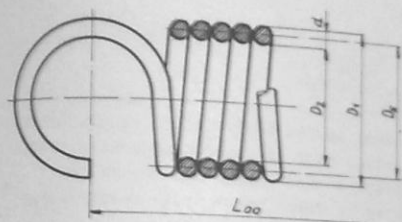


Ručně se
váleček
né díry
vine kval
Pružina
leží na
V h
1. Beztr
2. Trnov
1. Beztr
stoupání
lovité,
Bez
mají pom
Pri

Šroubovité pružiny.

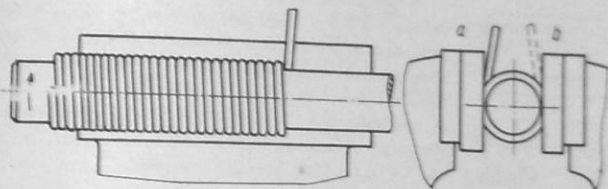
Důležité rozměry tažné šroubovitě válcové pružiny jsou podle obr. 198 :

- d průměr drátu
 - D_1 vnější průměr nezatížené pružiny
 - D_2 vnitřní průměr nezatížené pružiny
 - D_3 střední průměr nezatížené pružiny
 - L_{00} středová délka tažné pružiny neroztážené, mezi středy ok.
- U pružiny kuželovité je :
- D_{1max} největší vnější ϕ , D_{1min} nejmenší vnější ϕ
 - D_{2max} největší vnitřní ϕ , D_{2min} nejmenší vnitřní ϕ
 - D_{3max} největší střední ϕ , D_{3min} nejmenší střední ϕ .



198

V přístrojích jsou pružiny často z ocelového patentovaného drátu (strunového). Při jejich navíjení vznikají vysoké vnitřní pnutí, která se časem superponují s funkční namáháním uvolňují a pružina mění postupně svoje vlastnosti. Proto se měří i jiné pružiny nepouští - stabilizují na teplotu 250-330°C. Strunový drát v nenapjatém stavu má pevnost 120-290 MPa (dle tenzí, čím vyšší).



199

Buďně se vinou pružiny jednotlivě, nebo v malých sériích pomocí trnu. Trnec je váleček ze silnější kulatiny, na nějž se strunový drát upevní, většinou do příčné díry nebo zářezu. Otáčením trnu mezi dvěma dřevěnými špalíky, obr. 199 se navine kvalitní, povrchově nepoškozená pružina, tak dlouhá, jak dlouhý je trn. Pružina vždy odpruží, proto její průměr je větší než průměr trnu. Odpružení záleží na průměru a vlastnostech drátu. Průměr trnu je nutno vyzkoušet.

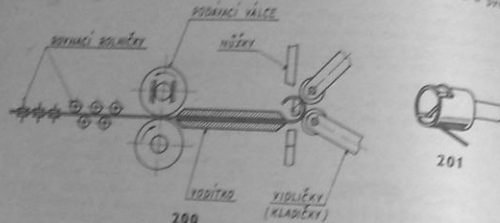
V hromadné výrobě jsou zavedeny dva typy navíjecích automatů :

1. Beztrnové (vidličkové např. AU1, AU3, URM 125 spod.).
 2. Trnové (např. SFM 10/70, SFM 25/70, TAZ 8/70 spod.).
1. Beztrnovým způsobem se navíjejí šroubovitě pružiny s pravočárným i levočárným stoupáním závitů. Pružina je nejčastěji válcovitá, ale lze vinout i tvary kuželovité, dvojkuželovité, soudečkovité spod.

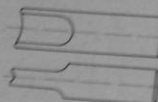
Beztrnové, jinak zvané vidličkové automaty se hodí pro vinutí pružin, které mají poměr $D_1/d > 4$ a rovněž pro pružiny dlouhé.

Princip beztrnového navíjení je na obr. 200.

Děsí se se svitku protáhne soustavou rovinných vidliček, které jej napřít, protože ve svitku od uvolnění drát uvolní poloměry osnutí. Transport drátu a prv.



tladující aho vyvíjí dvojice válek, které drát svírají a protlačují tlakem vodítkem a vidličkami, nebo kladivkami. Podávací váleky mají na úvodě zapichnuté drátové oddělníky rovinné váleky. Válek se točící odvíjí a pohyb drátu se přerušuje jen o vidličky nebo kladivky. Při začátku vlnití by se volně konal drát nezakroužil o vidličky, proto se musí první část ušlechť rutoh pomocí klíče, obr. 201.



VÍDELEK

202

sílně se namáhají.

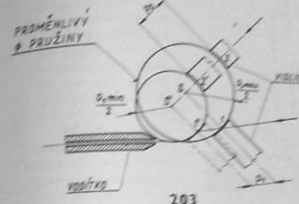
Kladivky se vyrábějí z nástrojové oceli, jsou kalené a popouštěné, mají malé tření, protože se drát po nich odvíjí, ale něže se seřizují, používají se pro svídky pro velké dráty a pro větší posuvy $D/6$.

Přední seřizovací vidličky nebo kladivky pro daný průměr pružiny se dá ukázat, nebo pružnosti od. Opotřebení vidliček od se následně zvláštní průběhu pružiny.

Seřizovací pružiny se navíjejí z drátu čtvercového nebo obdélníkového profilu. Takový drát se namotává kolem své osy, proto jej lze vadou a snížit tření kladivky a přisluhujícím profilem, ale někdy se kombinuje jedna vidlička a jedna kladivka.

Složitější je případ navíjení pružin o proměnlivém průměru, např. kuželových. Vidličky musí odhánět navíjení drátu svého polohy a snažím se vyjít s tím pohybem co nejjednodušším. Na obr. 203 je schéma přeměňování vidliček lineárně pohybu v začátku-li navíjení od největšího průměru pružiny D_{max} jsou vidličky v poloze 1 a 2. Drátky ve vidličkách mají seřizovací $D_{max}/2$, nebo

podávat větší, aby drát naklovený po horní vidličce. Ury svou vidličkou odvíjí do středu S. Začíná-li zmenšovat průměr drátu, přibližuje se vidlička 2 souřadce pohybu do polohy 2'. Zároveň musí vidlička 1 vykonávat tenový pohyb, aby její osa stále zůstala do středu S'. Vidíme, že vidlička se vidličkou 2 přibližuje v vzdálenosti $2 \cdot l = D_2$ musí vidlička 1 vykonávat dráhu $l \cdot l$, tedy D_1 směrem k S'.



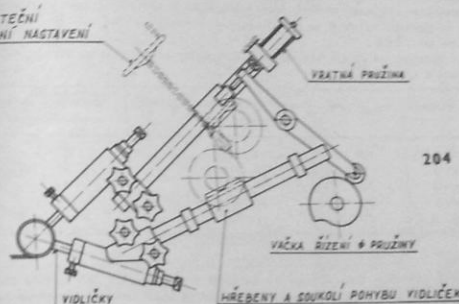
203

Drát nemá nacházet ani vykládat po horní vidličce!

Číslové schéma pohybů vidliček je na obr. 204. Vidíme, že vidličky mají soustředěné hřebeny a jejich pohyb je veden osouhlným svitkem. V soustředěné režimě jsou vidličky typu ovládnutých válek.

Další součástí automatu je

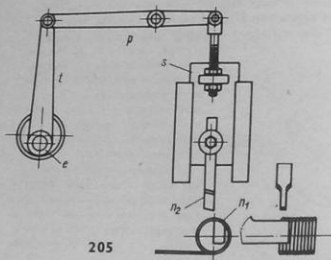
POČÁTEČNÍ RUČNÍ NASTAVENÍ



204

střihací mechanismus, obr. 205. Jakmile je pružina navinuta do správné délky, oddělí se horní podávací váleky a tím se zastaví posuv drátu. V následující okamžiku dá válekový hřídel impuls k vyřazení střihacího mechanismu, takže spojka excentru e a uvede se do pohybu táhlo t a pásova p sdělí a vstátní nožem n_2 . První část drátu n_1 je stále zasažena dozadu navíjecími se pružiny v takové poloze, aby první část drátu zůstala ve vidličkách.

Vidličky, resp. jejich zakružovací drátky mohou být nastaveny tak, že vytvářejí rovinný oblouk pružiny. Mírná vychýlení se dá docílit toho, aby rovinný oblouk přelétl do kruhového, takže nabíjecí konec pružiny může první zvlát na správné, odbočující straně, směrem od prvního nože. Tímto napravením se docílí,



sénlivým stoupáním. Někdy je pružina složitá, má např. soudečkovitý tvar a ještě proměnlivé stoupání, závrtné konce mohou být i s předpětím. Tyto složitě pružiny se vyrábějí výhradně na vidličkových automatech. Schéma vidličkového automatu je na obr. 206.

Automaty se dělají pro následující průměry drátu, průměry pružin, délku pružin a výkon :

d [mm]	D_{\max} [mm]	největší rozvinutá délka prutiny [mm]	maximální počet prutů/sín
0,2 až 1	22	5. 300	185
0,8 až 3	50	10. 000	98
2,0 až 5	80	17. 300	93
3,0 až 8	110	22. 300	61
5,0 až 12,5	180	26. 000	44

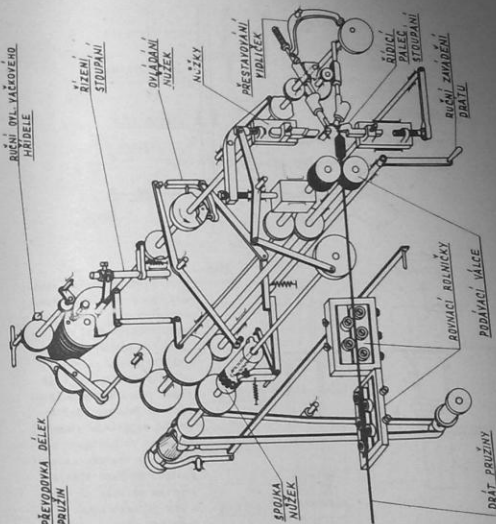
2. **Trnové automaty.** Jsou vhodné pro navíjení pružin menších délek, dále pro pružiny namáhané kroucením, které mají tangenciální konce, pružiny s poměrem $D_1/d < 4$ spod. U pružin, kde tangenciální konec musíme odstranit, jsou tyto automaty nevhodné, neopak pružiny s tvarovými oky, vedenými do osy pružiny (vstředěnými) prodlouženými lze použít jen trnových automatů.

U trnových automatů vzniká šroubovice pružin ohybáním drátu přes povrch trnu při jeho rotaci. Ohybný drát po navinutí a uvolnění snadno odpruží. Velikost odporu je závislá na průměru drátu a průměru trnu a na mechanických vlastnostech drátu. Dá se zhruba spočítat, ale v praxi se většinou využívá. Důležité je tu zkusenost a sázemý technolog, volba se provádí podle tabulek. Schéma trnového automatu je na obr. 207.

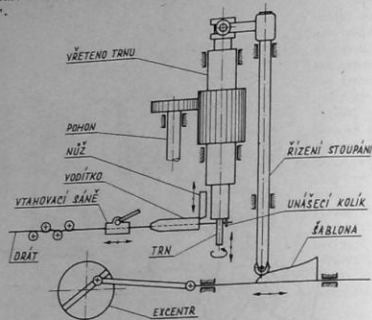
Schéma trnového automatu je na obr. 207.

že navíjená pružina
je předepjatá - závity
doléhají na sebe.

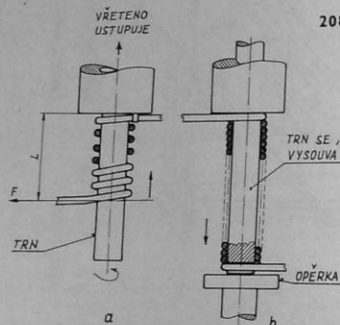
Težné pružiny mohou, ale tištěné musí mít závit distancovaný, stoupání je větší než průměr drátu d. Pro tento případ nastčí vychylování vidlíček, ale mezi závitů se umísťují, jeden nebo dva řídící palce, obr. 206, které určují stoupání šroubovice. Palce jsou řízeny váčkami, zejména v případech, kdy se nejvíce pružiny a pro-



rolnítek. V náročných případech se drát musí předem rovnat (drezovat) ve zvláštních rovnáčkách, kde je protahován rotačně vřetenem s vlnkově nastavenými "kameny".



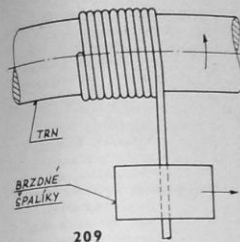
207



208

Drát je sevřen samo-
svěrným mechanismem vta-
hovacích sání a posunut
skrz vodítko mezi naví-
jecí trn a unášecí člen
(kolík, ozub, zářez).
Vřetenem se roztáhne a je
osově posouváno prostřed-
nictvím šablony, jejíž
profil zajišťuje stoupání
pružiny. Po navinutí n
závitů se vřetenem zastaví
pootočí poněkud zpět, aby
pružina odlehla od trnu
a mohl ji odstříhnout. U
svislých vřeten pružiny
samy padají do zásobníku,
u vodorovných jsou vy-
fouknuty stlačeným vzdu-
chem.

Podle obr. 208 a ustupuje vřetenem oproti ústí vodítka, takže trn je namáhán ohybovým momentem $F \cdot L$. U malého posuvu D , d a dlouhé pružiny se trn ohýbá a může dojít i k jeho zlomení. V takovém případě je lépe pracovat podle obr. 208 b, kde trn není na ohyb prakticky namáhán. Zde se vysouvá z vřeten a závitů jsou těsně na sobě. Proti vyseknutí zavedeného začátku drátu se někdy pou-

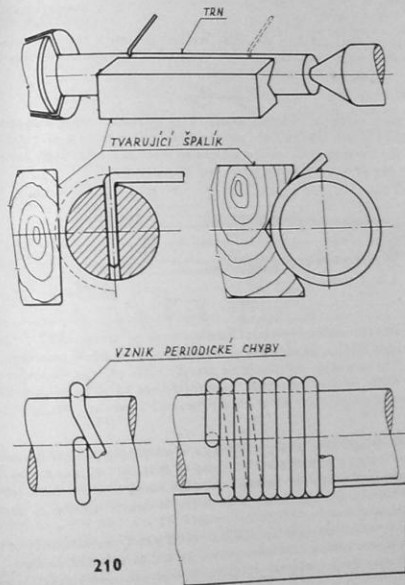


209

žije opatrné odpružení destičky.

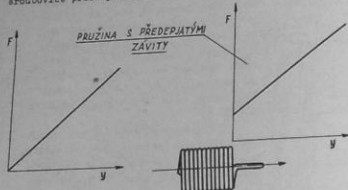
Ve vzorkových dílnách, pro jedno-
tlivé kusy nebo malé série se pružiny
navíjejí na ručních navíječkách, nebo
na soustruhu. Princip je vždy trnový.
V příkladu podle obr. 209 se drát
brzdí sevřením mezi špalíky upnutými
do suportu, kterým se pohybuje podél
lože ručně, nebo lépe strojně, posuvem
 $s = d$.

Podle obr. 210 je pružina tvo-
řena přítlakem rovného, nebo prismatic-
kého prvků. Jím není nutné posouvat,
neboť nabídnutí závitů si jej sám vy-



210

mačkává a tím vyvoluje potřebný přítlak. V obou případech je pravděpodobné, že šroubovice pružiny bude mít periodickou chybu.

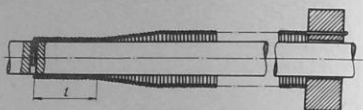


211

chují přesnými závitními. Pružina ale nejdě zhotovit přesně. V těchto případech se navine poněkud tušší (se strmější charakteristikou). Jedinou praktickou možností změkčení nás napoví deformační rovnice

$$y = \frac{8F n}{G} \frac{D^3}{d^4}$$

Počet závitů měnit nemáme, okna jsou hotová, G je konstanta. Zbývá tedy odbrusit nebo odleštit povrch pružiny, čímž zmenšíme d (na ovál nebo úseč profilu) a současně D . Neříšíme-li pružinu je většinou v hřídeli, ale to je spíše formální, protože by zde postačilo vláknové těsnění, které nedovolí protočení. Při něm platí



212

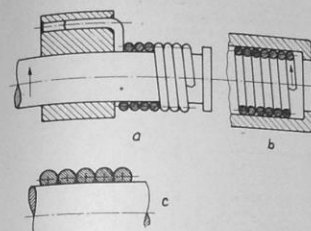
Příklad šroubovitě pružiny vyvolující moment k ose je na obr. 212, (pohon střední závěrky). Pružina má mít plochou charakteristiku, proto je dlouhá. Kuželovitá část je s předpětím navlečena na hřídel, takže příslušná řada závitů v délce 1. Pevný konec pružiny je ve většině v hřídeli, ale to je spíše formální, protože by zde postačilo vláknové těsnění, které nedovolí protočení. Při něm platí

$$T = t e^{\alpha x}$$

$f \leq 0,1$, $\alpha = 2K$ [rad] na 1 závit. Zvolíme-li t při náběhu pružiny rovno 1, bude s 5 závitů $T = 23$ t, a deseti závitů $T = 535$ t. Pružina tedy nemůže proklouznout. Zde ještě vidíme, že při natažení dolehnu další závit v kuželovité části a pružina tvrdne. Tím po vypuštění závěrky "vystřeluje". Pružina je navinuta na vidličkové automatu.

Nutno poznamenat, že tlakové pružiny jsou při větších délkách nestabilní (vzpěr) a musí být vedeny na trnu nebo v díře. Nestabilní je ale také dlouhá pružina kroucená, svížená i rozvížená a musí se vést. Kromě toho zkrucovaná pružina na-

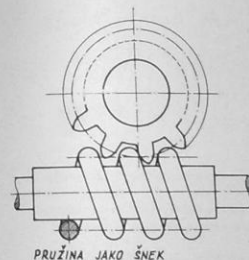
bývá na délce s každou otáčkou o tloušťku drátu! U fotoaparátů, budíků aj., se šroubovitě pružiny používají též jako volnoběžky (sítové rohetky a západky). V obr. 213 a lze hřídel protáhnout skrz šípky, proti volnému konci, kdy pružina odlehne. V obr. 213b je pružina ve válci. Požadujeme-li "tvrdý" záběr, vyrobíme pomocný trnes a smírně umístíme pružinu plošky, obr. 213 c. Při dostatečné počtu závitů spíše pružina přetřhne, než bychom hřídel protáhli.



213

Pružina, navlečená s předpětím na hřídel absorpční regulátoru zadržává funkci braku. Nejde zde o přesný převod, ale o lehký chod s malým třením. Kolečko je z teflonu. Pro čistotu se hřídel lehce počinuje, pružina navlečena a zabíje.

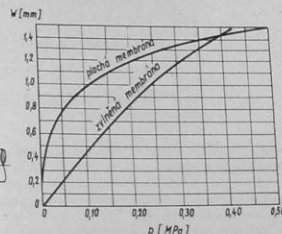
Tím je celek propájen, obr. 214



214

Tlakové pružiny. Tento typ pružin (membrán, bubínků, měch - vlnových) vyrobených z plechu se deformuje za tlaku plynu nebo kapaliny. Deformace se přenášejí obvykle mechanickým převodem na ukazovatel přístroje, nebo elektrické čidlo, popř. působí na vypínací či regulační členy servomechanismů.

Plochá, rovná membrána je pružina s neptíkovou charakteristikou, obr. 215. My však potřebujeme charakteristiku příčkovou, aby při lineárních převodech byly dílky stupnice rovnoměrné. Proto si musíme pomáhat zvláštní membránou, které jednak závislost napětí, jednak umocní zvětšení maximální deformace a tím citlivosti přístroje.

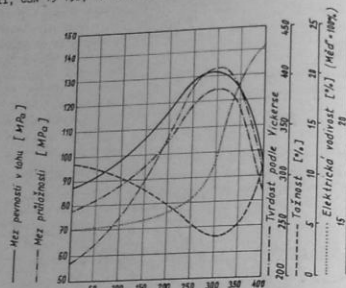


215

V sériové výrobě mají mít všechny membrány stejné charakteristiky. Je to velmi obtížné, neboť tvar charakteristiky je výslednicí mnoha technologických činitelů (stejně tloušťky plechu, homogenity a tvárnosti materiálu, rozstředění zrn tečení při tvarování, tvaru a velikosti zvlnění, tepelného zpracování).

Podle zpracování měkké membránové materiálu rozdělil do dvou skupin:

1. Materiály, u nichž zpracování končí zvlněním membrány.
Cínový bronz CuSn 6, ČSN 42 3016, CuSn 8, ČSN 42 3018
Niklová mosaz MS M 14, ČSN 42 3256
Korozivzdorná ocel, ČSN 17 246.
2. Materiály, které se tepelně zpracovávají po zvlnění
Beryliový bronz Br B2
Oceli, ČSN 19 152, 19 191, 13 180.



216

Beryliový bronz je nejrozšířenějším materiálem pro výrobu náročných přístrojových membrán a bublinek.

V měkkém (zkaleném - zasočeném) stavu má velkou tažnost, po teplotním zpracování vysokou pevnost, tvrdost a stabilitu ve vytvrzeném stavu. Vyleštěný je i značně korozivzdorný.

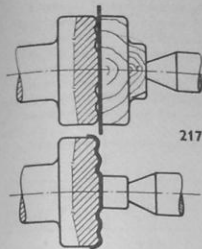
Důležité vlastnosti beryliového bronzu jsou v grafu, obr. 216 v závěslosti na výši popouštění teploty [°C]. Modul $E = 0,134 \cdot 10^6$ MPa, $G = 0,048 \cdot 10^6$ MPa (ve vytvrzeném stavu).

Výchozím materiálem membrán jsou tenké pásy (planžety). U pásů tenkých než 0,3 mm dodává hutí poměrně široká tolerance, proto si závod pásy převálčovává.

Fosforový bronz CuSn 6 se vyznačuje na teplotu 590°C, niklová mosaz na 630°C a korozivzdorná ocel na 1 100°C. Žhánění se provádí v ochranné atmosféře štěpného čpavku.

Redukce tloušťky válcováním je asi 30 %. Beryliový bronz se zahřívá v ochranné atmosféře na 780°C a zmačká se do proudící vody 20°C teplé.

Z pásů se prostřihují kotoučky, které nesmí mít otěp, pomačkání a škrábny. U nejpřesnějších membrán nelze ani převálčováním dodržet toleranci tloušťky.

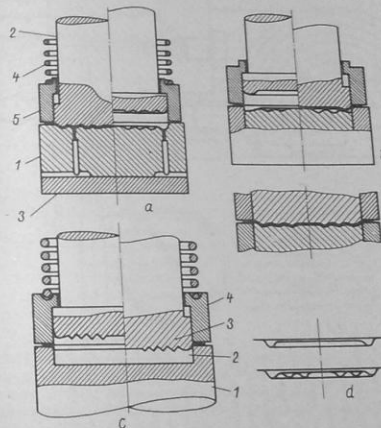


217

ky 2 μm, proto se kroužky na tuto přesnost pasivují. Prošťuje se individuálně každý kotouček. První pasivací 10 % roztoku H_2SO_4 se odstraní okraje, druhou pasivací (ve vodě s kyselinou sírovou a oxidem chromovým) se pasivuje na tloušťku.

Ve výrobové výrobě se zkvalitňují membrány tvarují kovotlačitelským způsobem na soustruhu, obr. 217. Matrice (koppyto) se přitom též upravuje.

V sériové výrobě je zavedeno několik postupů, obr. 218 a,b,c. V obr. 218 a jsou matrice i razník kovové, pozice 1,2. Matrice se podkládí pryžovou podložkou, která reguluje se maximum tlaku. Tvaruje se na několik odeřů lisu, popřípadě se matrice pod razníkem



218

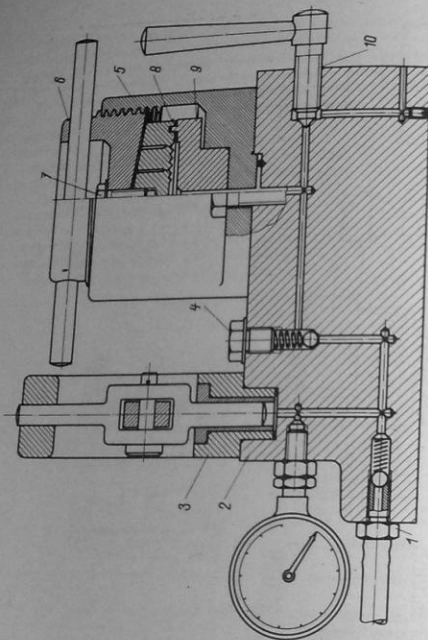
protlačí, nebo se hydraulickým lisem stlačí a ponechá určitou dobu a vydrží.

Na obr. 218 c je tvarování do pryže. Ivar membrány má jen razník, kdežto protlaček, pozice 2 je pryžová podložka. Guma se chová jako kapalina, je téměř nestlačitelná, proto vtiskne membránu do profilu razníku.

Jsou-li vlny, hlavně krajní, hluboké, membrány praskají. V takových případech se lisuje na 2x, nejprve obvodově hluboká vlna a dalším nástrojem zbývající střední, obr. 218 d.

Při hydraulickém tvarování působí tlak na všechna místa membrány stejně. Po-
stačí k tomu polovina ná-
stroje a malý výkon vysokotla-
kové pumpy. Nevýhodou je
složitější zařízení materiá-
lu, při němž se musí otevřít
tlaková komora. Příkladem tvo-
vání vln ukazují obr. 219.
Výtvorem v přírůstku 9 se
tlací kapalina pod membránu.
Tvarovací nástroj je hladce
vyleštěn a na dně vlněk má
odvzdušňovací průduchy, aby
vzduchový polštář nebránil
vyplnění tvaru nástroje. Dále
na obrázku značí: 1 sací pří-
vod kapaliny, 2 odlištěk čerpa-
la, 3 plunkřové čerpadlo,
4 zpětný ventil, 5, 6 bajona-
tový závr nástroje, 7 šroub,
8 tvarovaný nástroj, 9 přírů-
stek membrány a těsnění, 10 vý-
pustný ventil.

Ve velkovýrobě je plunkřo-
vé čerpadlo nahrazeno zubovým,
které dává tlaky cca 100 MPa.

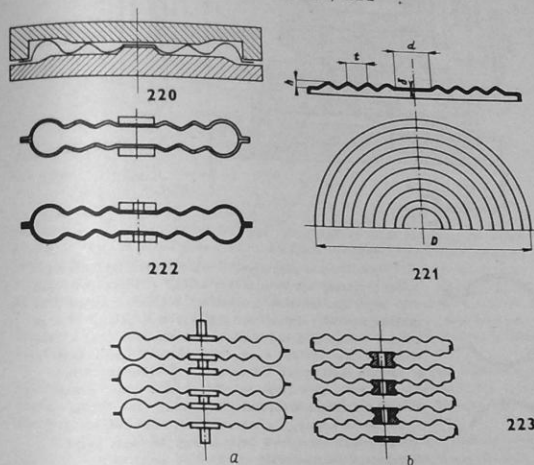


219

Tvarované bronzové membrány se tepelně zpracovávají. Vytvrzování bronzů, zvláště berylových na pérovou tvrdost a pružnost se provádí zahřátím na vytvrzovací teplotu cca 300°C, prodlouženou a pomalým ochlazením v peci programově řízené. Aby se membrány neortily, obr. 220, ukládá se do opěrných vložek,

zanášejících prutů, kdežto u bronzů se pomalým ochlazením prutů po tvarování uvolní-
jí. Bronzy nevykazují po vylícování a tvarování texturu (anizotropii) jako větší-
na oceli.

Běžné tvary membrán jsou na obr. 218, 221, 222



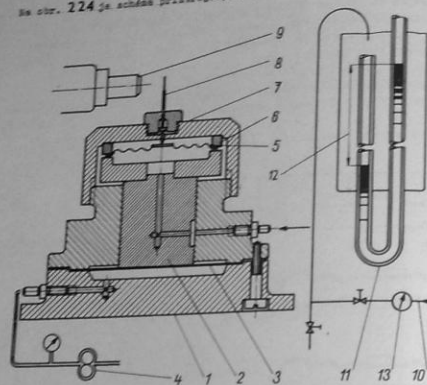
Na obr. 222 jsou membrány spojeny již do bubínků (krabiček, dóz, kapali). Uzavře-
né bubínky označujeme jako aneroidové, neboť mají vnější tlak, otevřené bubínky
jsou napojeny na zdroj tlaku a říkáme jim manometrické.

Na střední plošinku membrán připevňujeme destičku pro přenos převodových prvků
a pro upevnění na rám přístroje.

Ke zvýšení celkové deformace spojujeme sadu bubínků (2 - 12) do bloků,
obr. 223 a aneroidových, obr. 223 b, manometrických.

Po připevnění středové destičky zkoušíme pružnostní vlastnosti membrány. K
nejdůležitějším patří zaměření charakteristiky, závislosti osové deformace na tla-
ku. K tomu potřebujeme přesný zdroj tlaku a měřidlo zdvihu.

Na obr. 224 je schéma přístroje pro optické odečítání.



224

Značí tu : 1 podstavec, 2 plunžr, podepřený membránou 3 a tlačný upínací tlakem zdroje 4. Měřená membrána 5 je zajištěna kroužkem 6 v upínací matici 7. Matice 7 se přitahuje ručně, ale upínací tlak vyvozuje plunžr 2. 8 je anisotropní čidlo, na jehož konci je skleněná destička s délkovým měřítkem (délky 10 mm s intervalem 0,1 mm). Zdvih se odečítá mikroskopem 9 s přesností $\pm 0,002$ mm. Zdroj měřícího tlaku je 10, přerušovaný ručkovým nebo vodním manometrem 11. Tlakový rozdíl odečítáme na stupnici 12. Tlak je redukován ventily z tlaku měřícího manometru 13.

Deformaci tlustých a velkých membrán stačí měřit číselníkovým ůchylkoměrem.

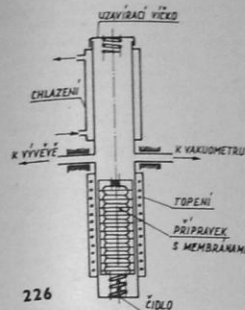
Většina bubínků se vytváří spájením membrán cínovo-olovnatou pájkou (60 % Sn). Na obr. 225 jsou tři příklady spájených spojů, obr. 225a, s rovinnými čelými přírubami, nejběžnější, obr. 225b, zasunuté membrány, obr. 225c spoj vystužený zesíleným kroužkem.

Připravené plochy podle obr. 225a se očistí, u tlustších membrán smrkováním, u tenkých pasivováním. Plochy se tenče pocinují, páječkou, nebo přiložením na měděnou plotěnku s nanášenou vrstvičkou pájky.

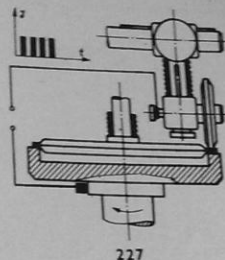
V malých sériích se membrány přilozí k sobě, sestředí a propájejí. Nepříznivé je zatečení většího množství

pájkou do štěrbin na styku membrán.

V hromadné výrobě se membrány pocinují, přilozí páječkou plochami k sobě a tak se do přípravku podle obr. 226 sestředí a narovná stědy potet (10-50)



226



227

bubínků. K sobě jsou tlačeny pružinou. Přípravek se vloží do komory ve tvaru dlouhé trubky. Ta má na jednom konci vytápění (odporové), na druhém konci chlazení (vodní) a vzduchotěsný závěr. Komora má v polovině délky dva duté žepy. Ve zrnitějším poloze topné části dole se bubínky zahřívají na pájecí teplotu. Po spájení se komora otočí chladič částí dolů, bubínky přepadnou a ochladí se.

Anodizované bubínky pájíme v podtlaku (tlačí vakuumem), proto se jedním žepem komory odsává vzduch, druhý žep je spojen s vakuumetrem. Tak se vyhodně spojí operace pájení a kompenzace.

Cínovo-olovnaté pájky jsou plastické a spoj je právě v místě, zejména u způsobu podle obr. 225a, kde rozpínací síla membrán je největší. Tím se pájka podílí značnou měrou na hysteretickém bubínku. Částečné zlepšení přináší spoj vystužený kroužkem, obr. 225c.

Výrazné zlepšení reologických poměrů vnáší do technologie membrán svařování. U některých ocelí se dobře osvědčuje svařování přechodovým elektrickým odporem, aplikace bodového svařování.

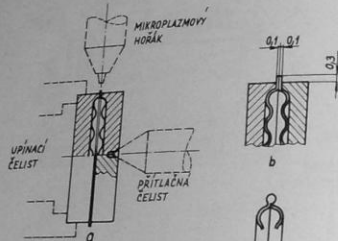
Uspořádání je na obr. 227. Sestředěné membrány jsou přitlačeny na zlatu s beryliové mědi, která je odolná a má dobrou elektrickou vodivost. Kraj membrán je za rotace svařován tak, že proud prochází přes přitlačnou kličku, rovněž z beryliové mědi. Svařuje se stejnosměrným proudem z pulsního zdroje. Tak se dá energie pulsu a jejich frekvence seřát s rotací. Sváry se překrývají a tím se zajistí neprodyšnost spoje.

Výhodou svařování je to, že málo ovlivňuje okolí svaru, i když materiál je poněkud měkčen. Celý bubínek má stejný Youngův modul E. Znamená se creep a podíl hysterese od pájky.

Membrány z bronzů se bodově (švově) svařují hůře, protože přechodový odpor mezi elektrodou a membránou je téměř stejný jako mezi membránami, takže někdy

dojde k přivaření elektrody k bubínku. Pro odporové svařování musí být plochy velmi dobře očistěny. I tak dochází někdy k propálení nebo neprovaření a tím k netěsnosti.

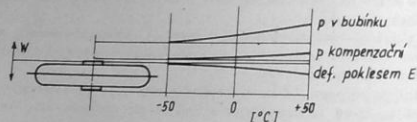
Plazmové (mikroplazmové) svařování. Posadí mikroplazmového hořáku je možné svařovat membrány od nejtenších tloušťek 0,02 mm. Svařovat můžeme prakticky všechny pružinové materiály, včetně těch, které nelze pájet nebo svařovat jiným způsobem, invar, austenitické vytvrditelné slitiny Fe-Ni-Cr (17 249), Inconel, Hastelloy apod.



228

Svařování mikroplazmatem probíhá za rotace, obr. 228. Membrány jsou upnuty stisknutím mezi centrovací kroužky tak, aby mezi plochy nebyla mezera. Je-li mezera větší než 0,2 tloušťky plechu, materiál se nespojí. Přesazení okrajů nesmí být větší než 0,4 tloušťky membrány. Vycentrování musí být přesné, nejvýše několik setin mm, zvláště u tenkých membrán. Plazmový hořák musí být zapálen řadu minut před svařováním, aby se prohřál a plazma stabilizovalo. Pro každý materiál membrán a jejich tloušťky jsou v tabulkách rychlosti svařování (otáčky vřetena). V průměru se rychlosti pohybují mezi 200 - 600 mm/min (švýcarský stroj Plasma fix 40 - argonový).

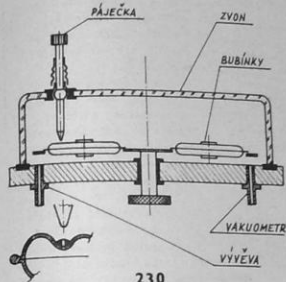
Ploché zesilovače membrány se dělá užší než pro pájený spoj, posuvy jsou na obr. 228 b. Hořák je vykloněn nad spáru mezi membrány a svár se uskuteční na jednu otáčku. Plazmové svařené bubínky jsou ve všech parametrech lepší než pájené, ale technologicky náročnější a dražší.



229

U všech pružinových materiálů kromě tzv. samokompensačních slitin, velmi drahých, se mění modul pružnosti E a teplotou. Aneroidové bubínky jsou typickým příkladem, kdy zejména u letových a meteorologických přístrojů musíme počítat s velkým rozsahem pracovních teplot, např. - 50 až + 50°C. Předpokládáme, že bubínek zcela evakuujeme. Když modul pružnosti E a rostoucí teplotou klesá, bude se při konstantním atmosférickém tlaku zvětšovat podle obr. 229 bubínek smršťovat. Kdyby v bubínku byl uzavřen atmosférický tlak, bude se při stoupání teploty expanzí vzduchu roztahovat, viz. křivku p. V obou případech by bubínek

fungoval jako teploměr, místo jako barometr. Z deformací křivek vlivem změny E a E vyplývá, že lze nalézt takovou hodnotu tlaku uvnitř bubínku, která expanzí bude kompenzovat "smrknutí" vlivem poklesu E. Zkoudu jen malé chyby vyšších řádů. To je "kompenzační" náplň.



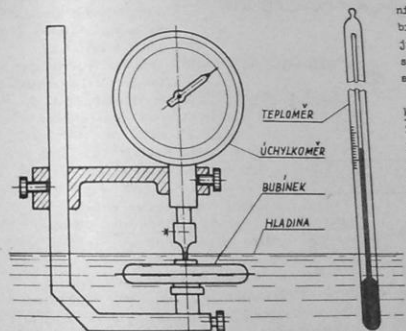
230

se podrobně bubínky v tlakové komoře cyklickému zatěžování změnami tlaků, které přesahují cca o 15 % dolní i horní hranici provozních tlaků.

Podobně při teplotní stabilizaci se bubínky aktivně ochlazuje ponořováním do láhve s suchým ledem (CO₂) a do teplé vody.

Kontrola teplotní kompenzace, obr. 231.

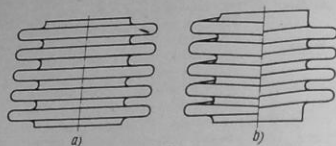
Zpravidla postačuje kontrola dvou hodnot, na minimum a maximum teplotního rozsahu. Bubínek je upnut v měřidlo a ponořuje se do chladicí a horké lázně. Rám má být z málo roztažného materiálu, nejlépe invaru a měřicí nástavec dýchkoměru je z tepelně izolačního materiálu.



231

Přítlačné pružiny dýchkoměru je uvolněno, aby vyvíjela sílu 0,2 N. U tenkých membrán je na závadu konstantní tlčení mechanismu dýchkoměru, lepší by bylo optické nebo elektrické měřidlo.

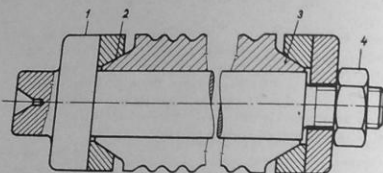
Vlnovce (měchy). Pungují jako měřicí prvky, podobně bloku manometrických bubínků, jako přestavné sílové pružiny, nebo nahrazují neprodyšný píst se značným zdvihem. Poněvadž tažení při jejich výrobě je mnohem větší než u membrán, musí se vyrábět z tvárnějších materiálů (bronzu, nerezavějících ocelí, tolučku).



232

Vlnovce se rozdělují podle počtu komor (2,3,4...) a podle jejich tvaru (paralelní nebo šroubovitě), obr. 232.

Mechanický způsob tvarování. Podle obr. 233 se počáteční, měkké vlny vytlačují např. na rozkladím trnu, na který se navlékne trubka - výchozí polotovár vlnovce.



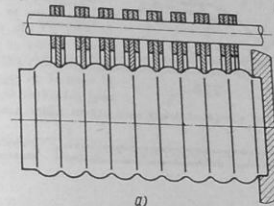
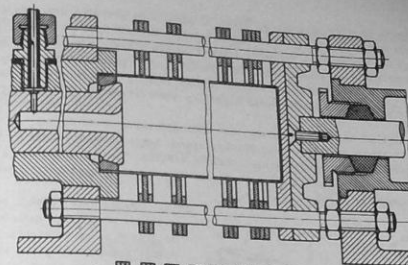
233

Účelem trnu je vytvořit správné počáteční roztáčení komor. Aby trubka po první fázi šla svléknout, je trn dělený tak, že se nejprve povolí matice 4. Segmenty 3, které jsou navléknuty na válcové části trnu 1 a staženy kuželovými plochami 2, mají skladbu podle dolní části obrázku. To dovoluje rozebrat celek postupně vyjmutím částí 5.

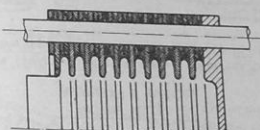
7,8,6,9. Prohloubení a kalibrování komor následuje podle obr. 234. Je zde řez vlnovcem. Dvojitá kladítka je v jeho dutině. Válcování postupuje od komory ke komoře po roztáčích, u šroubovitých komor posuvem suportu.

Hydraulické tvarování. Tenkostěnná vytlačovaná trubka se dnem je založena do hydraulického zařízení podle obr. 235. Otevřený konec je vodotěsně upnut kuželovým rozpínacím zařízením. Kolem trubky se v pravidelných roztáčích nastaví dělené kroužky, osově posuvné po vodičích tyčích. Zaznačné soustavu tlačít píst sažené vlevo, přičemž zpětný ventil brání kapalnině uniknu. Kolečky se pak při pohybu pístu vydují do prostoru mezi kroužky, obr. 235b. Způsob má výhodu v tom, že při dokončení zdvihu poklesne tlak, objeví-li se ve

234



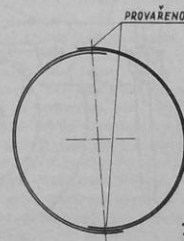
235



b)

stěně trhlinka. Současně se tak kontroluje neprodyšnost. Nevýhodou hydraulických způsobů neopak je, že materiál se vytahuje a nejvíce ztenčuje v určitých místech, kde se dříve soustředilo napětí.

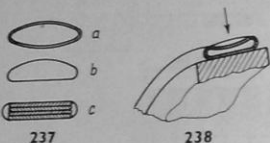
U měchů velkých průměrů, např. 120 mm je výhodou materiálem pláňeta z korozivzdorné oceli, tloušťky 0,1 - 0,2 mm. Aby se zajistila neprodyšnost měchů, dělají se i dvoupláškové. Tehdy jsou pláňety zakrouženy do tvaru trubek, zasunutou do sebe podle obr. 236 a odporově provařeny na protilehlých místech. Tím se zajišťuje symetrie i pro budoucí deformace. Potom tvarujeme vlny měchu.



236

Trubkové pružiny (Bourdonské pera). Používají se převážně pro měření vnitřních tlaků. Pro menší tlaky vyhoví dobře pružiny mosazné (tombak Ma-85), pro tlaky od několika MPa nejlépe bronzové (CuSn 7) a pro tlaky vyšší ocelové, nekalené nebo kalené. Volba materiálu může být ovlivněna nejen požadovanými tlaky, ale také teplotami a prostředí, ve kterém se měří (výpary kyselin, rtuťové páry, agresivní plyny). Proto se vyrábějí i pružiny z korozi-vzdorných ocelí a jiných materiálů.

Na rozdíl od membrán a vlnovec, kde směr deformace spadá do osy, je směr deformace trubkové pružiny a tvar křivky, kterou konec opisuje, složité. Tyto pružiny nepovažujeme za nej přesnější tlaková měřidla. Ukazují a chybou do 4 % a jen nejlépe z nich dosahují 0,5 %. Přesto jsou Bourdonské manometry nejrozšířenější měřidly tlaku.



237

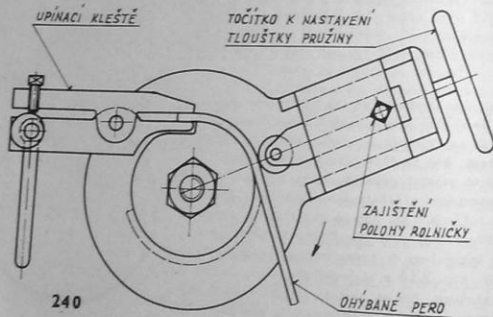
238

nejčastěji kolem 270°, jen speciální druhy mají oblouk menší nebo větší (180° - 12x360°).



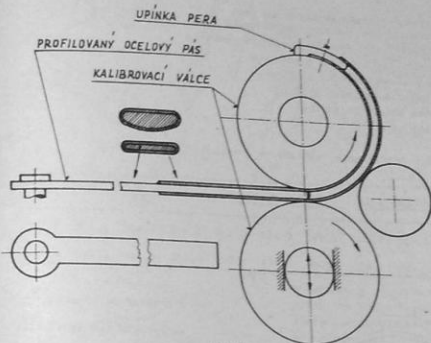
239

Aby se stěny trubky při zakružování neortily, obr. 238 naplní se trubky písek (nejlépe zleťový a ostrý) zrnky, které mají velké tření) a dobře setřese.



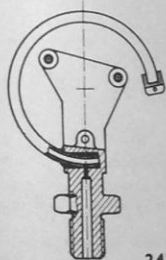
240

Oba konce se zasádkují, nebo sploští, obr. 239 a trubka se mezi válcičky ohýbá, obr. 240. Místo písku lze trubku také naplnit vložením profilované tyčky z lehké tavitelného kovu (na bázi Woodova kovu - Bi 49,4 %, Cd 10 %, Sn 12,5 %, Pb 27,7 %). Po ohnutí se pružina vyvalí ve vodě a kov a teplotou tavění pod 100°C vyteče. Musí se však chránit vstřívkou tuky, aby se neměli na stěnu trubky a nezvyšoval hysterezi. Pro menší oblouky trubky lze použít vložené vstřívky.



241

Přesnější profil trubky se dosáhne válcováním. Trubka se navlékne na ocelový profil, mající tvar její vnitřní dutiny. Profilový pás zabíhá mezi válce, rovněž profilované, které na něj trubku přitlačí a tím kalibrují, obr. 241.



242

Hotové pružiny se jedním koncem vloží do vyfrézované drážky v tělese manometru, kde se zalije pájkou a ze strany šroubení provrtá. Drážka má být malá, aby mohla působit jako tlumič při rychlých tlakových rázech, které mohou poškodit převodový mechanismus. Druhý, volný konec pružiny se opatří nástavcem, nesoucí první převodový člen pákového mechanismu, obr. 242.

U přesnějších pružin je nutné stabilizace, nejlépe tlaková - pulsační i teplotní, a odstranění prnutí od ohýbání a pájení. Pružiny pro vysoké tlaky jsou ocelové, ve tvaru válcové tyče, provrtané nevelkým otvorem a zahnuté do podkovy. Jsou z jednoho kusu se šroubením.

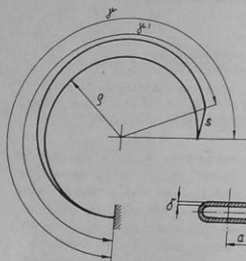
Deformační čára konce bourdonského pera je složitá křivka. Její průběh je funkcí řady konstrukčních a technologických veličin, které nelze ve výrobě udržet konstantní. Také výpočet dostaneme jen přibližné hodnoty. Podle Feodosjeva a podle obr. 243 lze výpočet provést ze vztahu

$$\frac{f - f'}{f} = \Delta p \frac{1 - \mu^2}{E} \frac{r^2}{b \delta} \left(1 - \frac{\delta^2}{a^2}\right) \frac{\alpha}{\beta + h^3}$$

ρ je střední poloměr nesetříděného pera
 f je středový úhel oblouku nesetříděného pera
 f' je středový úhel oblouku setříděného pera
 Δp je rozdíl tlaků uvnitř a vně pera
 a velká polosa ovalního profilu
 b malá polosa ovalního profilu
 δ tloušťka materiálu trubky
 h parametr pera $\frac{\rho \delta}{a^2}$

α a β jsou koeficienty, závislé na štiřlosti profilu a/b .

$\frac{a}{b}$	1	1,5	2	3	4	5	6	7	8	10
α	0,750	0,635	0,556	0,493	0,452	0,430	0,416	0,406	0,400	0,390
β	0,088	0,062	0,053	0,045	0,044	0,043	0,042	0,042	0,042	0,042



243

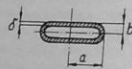
Při úhlu $f' =$ celému počtu závitů ($n2\pi$) vymizí všechny členy kromě f'^2 , takže $S = f' (f - f')$. Směr deformace g se získá měřením na souřadnicovém mikroskopu, když zaměřujeme značku na konci pera. Pero se zatěžuje stoupajícími měřicími tlaky Δp .

Z velikosti a směru deformace g stanovujeme převodový mechanismus na ručku manometru. Konstrukce je až na výjimky ustálena tak, že první členem je táhlo t spojující konec pera a rameno ozubeného segmentu, obr.

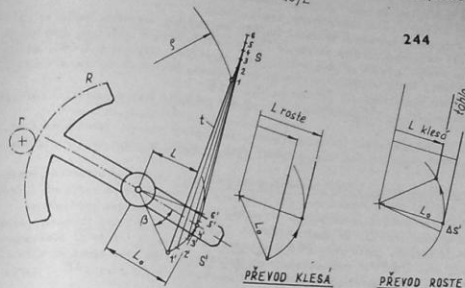
Z poměrné deformace $\frac{f - f'}{f}$ se vypočte skutečná délka deformace čáry s , obr. 243 z rovnice

$$s = f \frac{f - f'}{f} \sqrt{2 - 2 \cos \varphi - 2 f' \sin \varphi + f'^2}$$

pro
 $f' = 90^\circ (\frac{\pi}{2})$ je odmocnina 1,75
 $f' = 180^\circ (\pi)$ " 3,72
 $f' = 270^\circ (\frac{3\pi}{2})$ " 5,8
 $f' = 360^\circ (2\pi)$ " 6,28



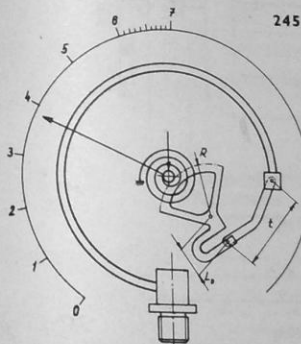
Z obr. 244 vidíme, že celkový převod deformace Ω sestává ze dvou převodů, konstantního $p = R/r$ a proměnného, $\Delta \omega = \Delta s/L$



244

PŘEVOD KLESÁ

PŘEVOD ROSTE



245

Konec pera opisuje deformační křivku s , kterou sleduje horní řep táhla t , zatímco dolní konec profilu kruhový oblouk o poloměru L_0 .

Oxantitý celkový převod

$$\Delta \Omega = p \Delta \omega = \frac{R}{r} \frac{\Delta s}{L}$$

L je složitá funkce úhlu natočení segmentu a táhla, v první přibližnosti $L = L_0 \cos \beta$. Účinné rameno páky L závisí na úhlu natočení segmentu vůči spojnici koncových bodů táhla t . Převod se tedy s deformací pera mění. V poloze 1' podle obr. 244 se účinná délka L zvětšuje do polohy 2' a převod tedy klesá (je degenerativní) až do situace, kdy táhlo t je kolmo k rameni segmentu L_0 . Při další deformaci se účinná délka L opět zmenšuje a převod Ω roste (je progresivní).

Konstrukčně se ozubený segment s táhlo volí tak, že obě hodnoty L_0 a t jsou při montáži justovatelné. V našem příkladu se L_0 upravuje přibýváním "podkovy", délka t ohybáním táhla. V jiných konstrukcích přestavení řep, nebo zasunutím do jiného otvoru v táhla.

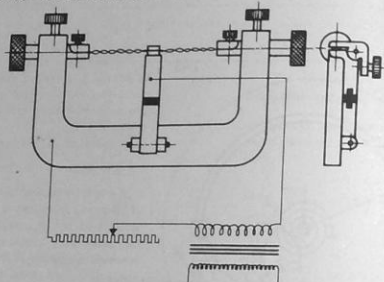
Podle obr. 245, zatížení-li manometr kontrolním tlakem $p = 0,4 \text{ MPa}$ a ručka bude ukazovat méně, přiblížíme podkovu tak, že se zmenší rameno L_0 . Tím se převod zvětší a ručka ukáže blíží hodnotu, atd.

U dnešních manometrů se žádá, aby měly rovnoměrnou stupnici. Ručka se sd počítat na stejný tlakový přírůstek Δp o stejnou hodnotu. Není-li tomu tak, musí se převod upravit na progresivní, nebo regresivní, viz. obr. 244. Zmenšou účinné délky táhla může počáteční polohu segmentu nastavit tak, aby převod rostl, nebo aby klesal. To je vidět z obr. 245.

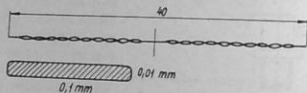
Kontrolují se 3 tlakové údaje, 0, střední provozní tlak a maximální přípustný.

Na hřídel pastorku, který nese ručku, se upevňuje vlásek, jehož moment působí proti deformaci pera. Tím se vymezi vále v osubení a všech čepech převodu.

Šroubovitá měřicí pásky (mikrokátorové pružiny). Tento typ měřicích pružin zavedla švédská firma Johansson. Jde o jedno z nejdůmyslnějších zařízení, které bylo u délkových měřicích přístrojů zavedeno. Pouhým mechanickým způsobem se působení minimálních sil se dosáhne převodu 1000 až 5000:1. Tenký bronzový pásek je upnut do rámečku podle obr. 246 a zkroucen od středu ke koncům do obrotových šroubovic, obr. 247. V takovém stavu se stabilizuje jeho tvar tepelným zpracováním. Zahřeje se elektrickým proudem, nebo se rámečky podle obr. 248 se skrou-



246

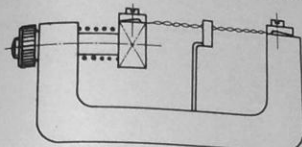


247

cenými pásky vloží do pece a stabilizují za pomalého chladnutí. Je to zdoluhavější, ale pásek se lépe vytváří. Jestliže zatáhneme za konce, rozvinuje se střed pásku úměrně s natažením a na něj přilepený ukazovatel ve formě tenké skleněné trubičky ukazuje úchytky.

Pásek se získá válcováním v miniaturní stolici z tenkého drátu z beryliové-

ho bronzu. Střed pásku, který má na obou koncích 5 až 15 závitů se při měření natačí u mikrokátoru asi o 90° , u jiných měřidel až o 360° . Větší díly vyžadují pásky a většina počtem závitů.



249

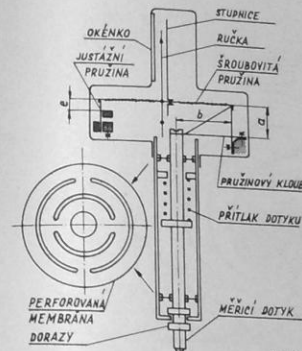
Celkový převod je dán počtem závitů pružiny, posazení ramen páky a/b a volnou délkou justační pružiny z. obr. 249.

Pásky mají profil 0,01 x 0,1 mm a délku cca 40 mm. Protože jsou tak tenké, mohou se formovat a stabilizovat složené 4 - 5 na sobě.

Schéma přístroje "mikrokátor" je na obr. 249.

Šroubovitá měřicí pružina je přilepená (nebo přilepkována) k jedné straně na trojúhelníkový nosič, vetknutý k rámu přístroje jako křížový pružinový kloub. Aktivní část nosičku je přišroubována k měřicímu dotyku.

Dotyk je osově veden dvěma perforovanými pružinami, protože zdvih je malý (několik setin mm) a omezen dorazy, aby se pásek nepřetáhl. Druhý konec mikrokátorové pružiny je připevněn k justační pružině. Její volná, pružící částka se reguluje přemístováním opěrné hrany. V rozsahu měřidla kontrolujese souhlas ručky na stupnici podkládaním základních měrek pod dotyk přístroje. Jestli-

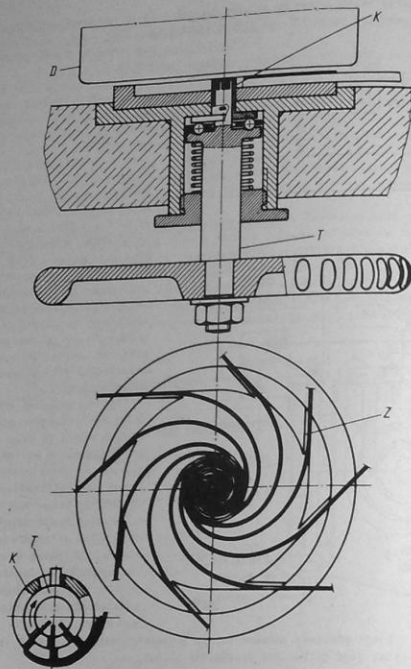


249

že se ručka v údaj přebíhá, znamená to, že justační pružina je příliš tvrdá, proto prodloužíme její délku. Při zpochybňování neopak.

Jako ukazovatel je na pásek přilepkována tenoučká skleněná trubička o $\phi 0,05 \text{ mm}$. Ke zviditelnění ručky se obarví její konec v délce cca 3 mm tuší a poblíž konce se přilepí tenká se začerněného cigaretového papírku. Aby měřidlo ukazovalo správně i ve vodorovné poloze, musí ručka být staticky vyvážená a to se docílí kapátkou šelaku na její druhou konci. Stupnice měřidla je dělená na $1 \mu\text{m}$ nebo na $0,1 \mu\text{m}$. Pro tlumení kmitů a rychlé ustálení je mezi pásek a otvor v proliis číselníku kápnutá kapka oleje.

Měřidlo je pozoruhodné i tím, že nemá nikdy třecí člen, všechny části se pohybují na pružinách.



250

Vlázky. Používají se u řady měřicích zařízení, jako u elektrických přístrojů, kde jímáme magnetický moment cívky, u dýchloměrů, kde zajišťují jednostranný záběr ozubení, u hodin, kde jsou součástí oscilačního systému. Často slouží také jako přívody elektrického proudu.

Materiálů k výrobě vlásků je mnoho: nekalená nebo kalená ocel, nejdůležitější druhy bronzů, samokompensační slitiny, jako elinvar (35 % Ni, 10 % Cr, 3 % W, 2,5 % Mn, 0,4 % Si, 0,7 % C + Fe), nivarox (30 % Ni, 7,3 % W, 0,9 % Be, 0,7 % Mo, 0,1 % Si + 61 % Fe) a dále Isoval, Durinval, Nispan, Conel, Chronovar, Metelinvar, někdy i zlato. Vlázky jsou z tenkého pásu vyválcovaného s přesností

mikronů z taženého drátu. Přestože tvary ušlechtilých materiálů jsou velmi malé, asi 1 kg, musí se odlít ingotky ještě zbravovat povrchových vrstev, aby materiál několikakilometrové délce drátu, drát pro hodinový vlásek tloušťku 0,02 mm např. s 0,07 mm. Tenké vlásky se vřívají na jeden průchod stolicí, u tlustších u tažených per). Ze válcovací stolicí se vřívají a válcovávají na dráky (např. délku). Rovný pásák je nutno dát trvalý spirálový tvar. Určující veličinou je stoupání spirály, jehož se dosáhne tím, že se navinuje více pásáků současně (pro hodinové od 4, pro přístrojové 10 i více).

Používá se přípravků různých typů, které mají společný základ v tom, že se na sebe doléhající pásy navíjejí na společný náboj. Takový přípravek je na obr. 250, (dimenze zde neodpovídají skutečnosti). Pásky procházejí tangenciálními zářezů Z do bubínku, v jehož středu je upevňovací náboj ve tvaru dvou rozřezaných trubiček k a T. V něm se konce pásů přiskřipí a otáčením se celý rulič navine. Pak se náboj vytáhne, pásy se teplem zarovnájí destičkou D a bubínkem je připraven k tepelné stabilizaci.

Kromě vnitřního konce, který se odstřihne, má vlásek tvar blízký Archimédově spirále $r = r_0 + k\varphi$ [rad]. Má-li hodinový vlásek tloušťku $t = 0,08$ mm a stoupání $s = 8t$, pak $(r - r_0) = 8t = 0,64 = k\varphi$ [rad] $= k \frac{\pi}{180} \varphi^\circ = k \cdot 2\pi$ pro 1 závit. Tedy $k = 0,64 \frac{180}{\pi \cdot 360} = 0,1018$. Větknutý vnitřní konec má $r_0 = 2,5$ mm. Rovnice tedy bude mít tvar

$$r = 2,5 + 0,102 \frac{\pi}{180} \varphi^\circ$$

Vnější závit spirály má pro $z = 10$ závitů,

$$r = r_0 + z k \frac{\pi \cdot 360}{180} = 2,5 + 10 \cdot 0,102 \cdot 2\pi = 8,9 \text{ mm.}$$

Délka východního pásáku je

$$l = \frac{r_0 + r_z}{2} \cdot z \cdot 2\pi = 2\pi \cdot 10 \cdot \frac{2,5 + 8,9}{2} = 358 \text{ mm}$$

S je stoupání spirály, t. tloušťka pásáku a z počet závitů.

Na obr. 251 je příklad hustého hodinového vlásku, kde stoupání spirály je $s = 4t$. Navíjecí trn je váleček, rozřezaný osově a zbylé půlměřičky jsou excentricky rozešmuty, každý o tloušťku vlásku t . Do zářezu se vloží jen dva pásy, ale každý má dvojnásobnou délku vlásku. V bubínku jsou dva tangenciální zářez, obr. 251a. Jeden z vlásků tu můžeme sledovat, je vytěrněn.

Délka pásů je stanovena tak, že po navinutí těsně za-



STOUPÁNÍ SPIRÁLY

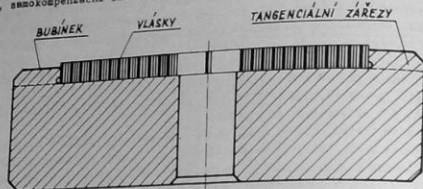
$s = 4t$

251

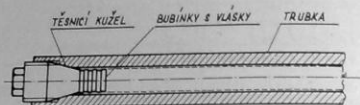
plní bubínky, konce jsou vtlačeny do válcové části.

Pro stabilizaci se bubínky naskládají do trubky, obr. 252 a ta se profoukne ochranným plynem podle druhu vlásků (svitplynem, dusíkem, argonem). Trubka se

utěsnění a zahřívá v peci na stabilizační teplotu (ocel 600°C, beryliový bronz 300°C, samokompensační slitiny okolo 550°C).

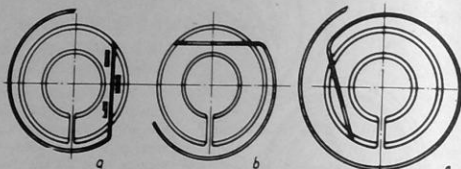


251 a



252

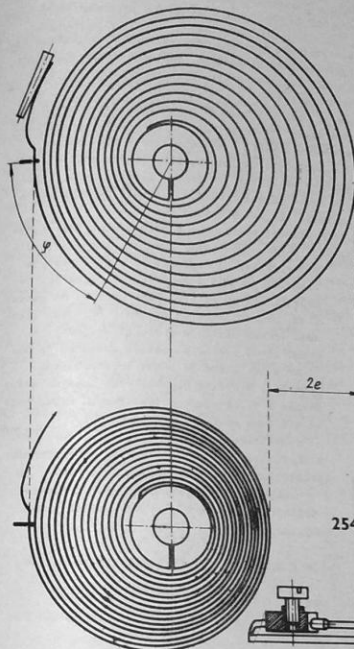
Po stabilizaci se vláska vyklepou nebo pinzetou vytáhnou ze střed z bubínku. Střed u vnější konce spirály se upravují.



253

Vnitřní konec vlásku se zformuje ohnutím a ukládá do "pouzdra vlásku". Dříve se vláska upevňovaly kolíkem, dnes je převážně vkládáme do zásevu a v něm se zatekují, např. zásevy podle obr. 253 a. Vlasek je nutno vystředit (do počátku myšlené spirály, který má vycházet z osy) a rovina vlásku musí být kolmá k ose.

Pouzdro vlásku je rozšířené, aby pružilo, protože vlasek musíme orientovat úhlově vůči hřídeli (setrvačka, deprezáce cívky, spod.). Při seřizování se pouzdro vlásku rozpíná vsunutím šroubovku do rozšíření. Jak vidíme z obr. 253, je nevhodná orientace vlásku podle pozice a, protože drážka je blízko vetknutí vlásku a ten nestačí odpružit, snadno se deformuje. Nejvhodnější je případ podle pozice c, ale nejčastější podle pozice b.



254

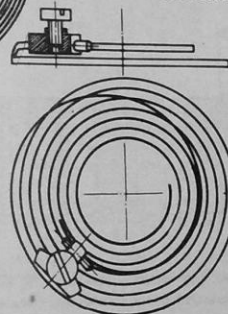
Vnější konec vlásku upevňujeme zpravidla zakolíkovaním, obr. 254. U hodin, kde se doba kmitu reguluje délkou vlásku měníme v určitém úhlu jeho podepření tzv. zámkem. V úhlu φ a v neutrální poloze vlásku je část spirály upravena do kruhového oblouku. I tak vlasek "dýchá" excentricky, diametrálně od zásevu, viz. kótu 2e. Je zřejmé, že nesmí nikde škrtnat. Hodinkové vláska musí připouštět velkou amplitudu (cca 270°), proto mají hodně závitů (12-15).

Vláska elektrických měřicích přístrojů (voltmetrů, ampérmetrů atd.), jsou v podstatě dynamometry, měřící točivý moment cívky. Slouží zároveň jako přívody proudu do cívky a poádá se, aby měly malý elektrický odpor. Tomu vyhovuje beryliový bronz. Ve zvláštních případech tvrdě válcované zlato. Vnější konec vlásku musí být otoč-

ný okolo osy cívky, aby se dala nastavit ručka na nulu.

Vyhnutím konce vlásku nad jeho rovinu a úpravou tak zvané Breguetovy křivky, obr.

255 se dá docílit koncentrického dýchání vlásku.



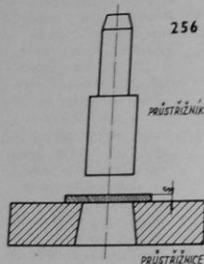
255



V přesné mechanice je řada oborů, kde převládá část výrobků je vytvářena na lisech. Takový obor je např. výroba buďků. Pouzdra, základní desky (platiny), ozubená kolečka (některá včetně zubů), klíčky, páčky, listové pružiny atd., se lisují. Podobně je tomu u palubních přístrojů.

Materiálem je převážně plech. U hodin, leteckých přístrojů, fotoaparátů i jiné je to hlavně tvrdé válcované mosaz, která se dobře zpracovává v prostřihovacích nástrojích (popř. se dodatečně i obrábí) a má dobré třecí vlastnosti. Jinými jsou to různé druhy bronzů (anodizované buďinky a mnoho jiných pružin), nebo železo i hrubé ocelové plechy (plantety na závesy, pružinové klouby, pera, lamely i šepelky). Plech se zpracovává ve formě pásů stříhaných z tabulí nebo dlouhých plátek navinutých v kotoučích, několik set metrů dlouhých.

Prostřihování. V nejjednodušším případě oddělujeme z pásu plechu část materiálu ve tvaru kruhového kroužku, obr. 256. Vystříhaný kroužek, který je pro nás výrobek, je vystrážek, zbytek pásu je odpad. Vyjmačně v nenáročných případech je prostřihník podle obr. 256 upevněn na beranu lisu, prostřihnice na stole. U přesného lisování vedeme nástroje vodícími stojáčky. K prostřihnutí plechu po obvodu kotoučku je potřeba síly, která je během prostřihování prokročná. V určité hloubce však dosáhne maxima a to označujeme jako řeznou sílu, podle níž také musí být dimenzován lis.



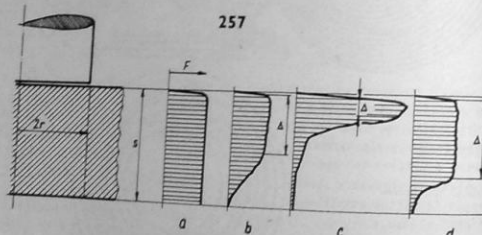
256

Zvětšíme si detail vystřížku, obr. 257 a sledujeme jak vypadáji poměry při průchodu prostřihníku materiálem.

Kdybychom předpokládali, že oddělování střížných ploch je čistý smyk, platila by rovnice

$$F = S \cdot k_s$$

kde F značí střížnou sílu, S plochu stříhu,



257

kteří je zde $2 \times$ re, při tloušťce plechu δ a k_s je pevnost ve smyku. Poněvadž však při hranách prostřihníku a prostřihnice nastává též pohyb, koriguje se v

práci součinitel pevnosti k_s podle zkušenosti a uvádí se podle druhu materiálu, uspořádání nástrojů a dalších vlivů. Hodnoty se uvádějí v tabulkách. Prostřihník, který by měl během prostřihování konstantní odpor, by vykonával práci

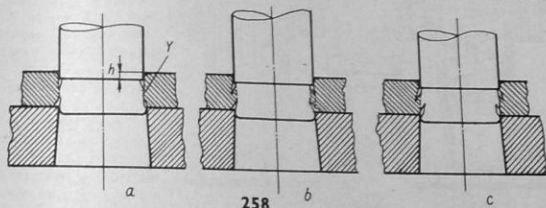
$$A = F \cdot s$$

kteří je dána plochou diagramu z obr. 257 a.

Ve skutečnosti odpor prostřihníku probíhá podle některé z čar b, c, d a vedlejších skicích. Z počátku, kdy prostřihník vniká do materiálu, odpor silně a rychle, materiál se stlačuje, až se dosáhne meze pevnosti kombinované ze smyku a chybu. Po další část dráhy Δ odpor dosáhne maxima a řezná síla níže klesá. Ky. Jakmile toto rozdělení materiálu je ukončeno, klesá prudce řezná odpor a po se poslední krystalizaci kovu.

I zde představují plochy diagramu b, c, d práci, vykonanou prostřihníkem. Tato práce je podstatně menší, než vychází výpočtem z předešlé rovnice, velikost skutečné práce je ovlivňována hlavně druhem materiálu a jeho zpracováním (tvrdé a měkké mezi prostřihníkem a prostřihnicí). Ostatní vlivy, jako ostrost řezných hran, mazání, tuhost lisu a nástrojů, posaz mezi plochou prostřihníku a tloušťkou materiálu apod., mohou tvar diagramu více či méně posunout. Velikost skutečné práce se pohybuje mezi 1/3 až 1/6 práce z předešlé rovnice.

Velmi důležitou otázkou, jednak z hlediska hladkosti vystřížku, jednak z hlediska řezné síly a práce je vlně mezi prostřihníkem a prostřihnicí. Je známo, že vlně se musí pro tutéž tloušťku plechu měnit hlavně podle tvrdosti materiálu. Pro měkké materiály (ocel, mosaz) ukazuje správné poměry prostřihování obr. 258



258

Prostřihník je menší než prostřihnice. V určité hloubce h se počnou u hrany prostřihníku i u hrany prostřihnice vytvářet obvodové trhlinky, které mají jistý směr. Správné vlně je dosaženo tehdy, jestliže se hroty těchto tržných spár setkají v místě Y. Vystřížek tím vyjde hladký, poněkud kuželovitý, ale s minimální vynaloženou prací.

Má-li prostřihník příliš malou vlně, tržné spáry se minou a materiál se musí stříhat dále po nějaké ploše, jak naznačeno čárkovaně v obr. 258 b. Potom vychází diagram blízký obr. 257 a.

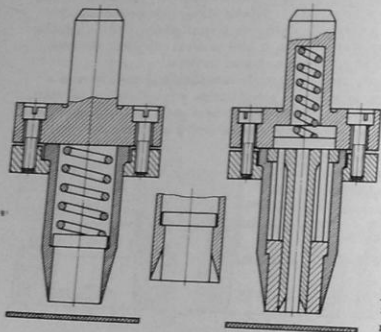
Stejně špatný výsledek dá i prostřihník s velikou vlně. Ještě horší případ může nastat podle obr. 258 c, kdy ustřížení nastane podle čárkované čáry, čímž

se spodní tržnice přikryje a může být na závadu při dalším opracování.

Ke skur jakosti povrchu je také otepění řezných hran nástroje. Jejich vyštípání, nebo navýšení tloušťky. Velikosti vliv byly vykoušeny v několika pokusech a řada autorů udává tyto hodnoty v tabulkách podle tloušťky materiálu a jeho tvrdosti buď přímo v mm nebo v procentech tloušťky plechu pro danou tvrdost. Rozšířené a velmi používané je např. tabulka Woodworthova. Zhruba se dá říci, že se vřde pohybuje u oceli mezi 5 - 12 % tloušťky.

Prostřihovač. V obr. 258 naznačený nástroj má pouze průstřížník a průstřížnici. Svou přesností je ovládnuta zcela na přesnost lisu, který je proti přesně prostřihovací nástroj ve stojáncích velmi hrubý stroj. Přesnost práce získá proto hlavně na vedení beranu lisu a na pružení součástí. Nástroj je sice levý, ale nelze od něho očekávat velkou přesnost. Dá se použít jen pro hrubší výrobu, malá série kusů a též jen pro kruhové výstřiky.

Nepoužívanější operace s nástroji. Prostřihovač a pružinový vyhazovač, obr. 259 slouží k prostřihování obvodu součástí z pásu nebo obvodu s dírou. Tyto nástroje jsou určeny pro měkké kovy (měď, hliník, mosaz), nebo nekovové materiály (papír, celuloza, plexisklo, dýha spod.). Průstřížník tvoří trubka s ostře vyroboucími bity. Úkos se řídí druhem a tloušťkou materiálu (papír 15°, kov až 45°). Šikmý výbrus je vždy na straně odpevu. Podložkou je měkký materiál, nejčastěji hlazené dřevo. Nástroj nesmí nikdy vnikat až do podložky.

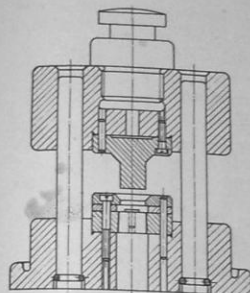


259

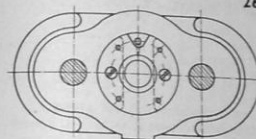
vadím, opatřeným pryží. Princip objasňuje obr. 261. Ocelová šablona s tlustějším plechem (kalená) má přesný tvar součástí, která může být i roslahlá a klenutá. Hrany jsou ostré. Planeta musí šablonu přetlačovat podle tloušťky, ale vždy alespoň o několik mm, aby se o ni mohla přitlačit pryž opřít. Pryž je neporovitá, pružná (pneumatikového typu). U planet od 0,02 až 0,5 mm vychází výstřik přesně a má ostré hrany. Tak se prostřihují různé nesbírny.

Nástroje zabudované do vodících stojánků. Jsou nejpreciznější a v přesné mechanice nejdokladnější, a to hlavně stojánky se sloupkovým vedením. Spodní část stojánku se upevňuje na stůl lisu, horní část je za stopku upevněna v beranu a

Prostřihování v pryži. Drahé a složitě prostřihovací nástroje lze při práci s tenkými tvrdými planetami nahradit pro menší série prostřihovacími. Ocelová šablona s tlustějším plechem (kalená) má přesný tvar součástí, která může být i roslahlá a klenutá. Hrany jsou ostré. Planeta musí šablonu přetlačovat podle tloušťky, ale vždy alespoň o několik mm, aby se o ni mohla přitlačit pryž opřít. Pryž je neporovitá, pružná (pneumatikového typu). U planet od 0,02 až 0,5 mm vychází výstřik přesně a má ostré hrany. Tak se prostřihují různé nesbírny.

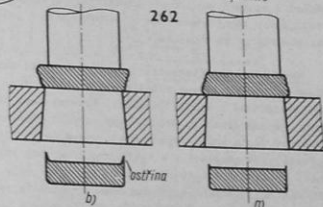


260

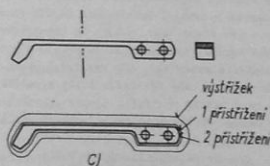


udělat pouhý výstřik tj. obvod součástí. U tlustších plechů nevychází dostatečně rovno a přesně. Proto se v případě potřeby přistihuje (okružuje) v přistihovacích nástrojích. Na obr. 262 a je příklad správně přistihovaného výstřiku, na obr. 262 b neaprávně položený výstřik (zabudou velké ostřiny), na obr. 263 c je dvakrát přistihovaný indexovací pružina.

Analogicky obrys se přistihují také díry součástí (v hodinářství je běžné označovat jako kalibrování). Touto operací,



263

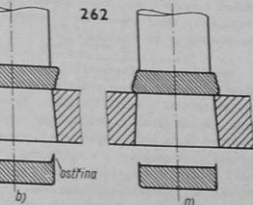


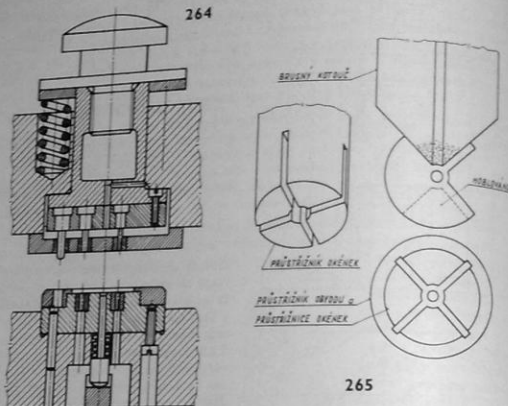
261

sloupky zajišťují přesné vedení, nesdílejí na přesnosti lisu. Vodící stojánky se dělí na svařované nebo odlévané a jsou normalizovány (ČSN 22 6201). V nejjednodušším provedení je na obr. 260 prostřihovač používaný v hodinářské praxi. Průstřížnice je směřem dolů mírně kulová, průstřížník vždy válcový nebo prismatický a přesně vyztužený. Na takovém nástroji lze

správně

262



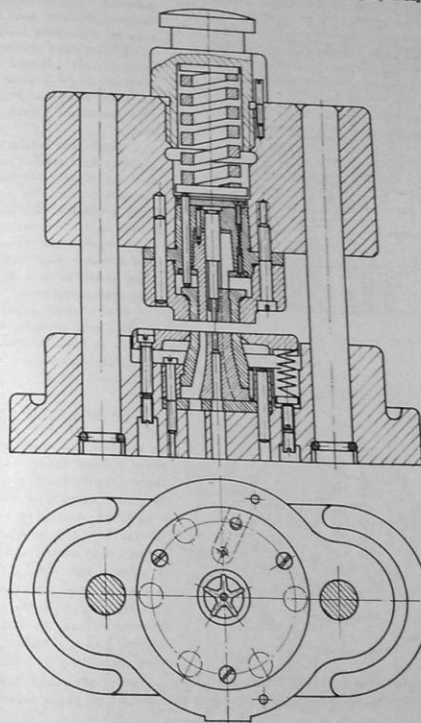


kteřou předchází vyvrtání děr jako hrubování se dociluje neobyčejně přesných průměrů i rostečí děr, které slouží jako ložiska přímo, nebo k zalisování kmenů. Průstříšnický těsný vedení opraví nepřesnosti v poloze předvrtaných děr. Kalibrovací nástroj je na obr. 264.

Sloučené průstříšnicko. Je nejdokonalejší mezi průstříšnicko. Slouží v jednom stojánku dvě nebo několik operací, které se provedou na jeden zdvih lisu, např. vystříšení obvodu a děrování. Všechny jeho pracovní části jsou jednoznačně vedeny, jednak sloupky, jednak samy po sobě. Dna se k vedení horní části stojánku používá často kulíkových hníd, které mají malé tření. Hodí se pro výrobu nejpřesnějších součástí i z tenkého plechu, kdy vůle mezi průstříšnickem a průstříšnicí klesá pod 0,01 mm. Průstříšník bývá dole, průstříšnice nahoře. Složitější nástroj na vystříšení ozubeného kolečka (s raménky a dírou, bez ozubení) ukazuje obr. 266. Průstříšník obvodu je dole a je dosti složitý, takže jej nelze vyrobit z jednoho kusu. Proto se skládá ze dvou částí: z průstříšnicku obrysu, raménka a náboje. Průstříšník slouží zároveň jako průstříšnice okének mezi raménky a pro otvor, obr. 265. Po vystříšení je silnými pružinami přidržováno vtičeno kolečko opět do pásu materiálu a s ním se vysune z pracovního prostoru. U tlustších materiálů, kdy výstříšek pevně drží v pásu, se používá válečků, které ze celé plochy výstříšku je při průstříšňování seřazena mezi čela nástrojů, takže se neděle ohýbat ani bortit, což je základní předpoklad přesného výrobku.

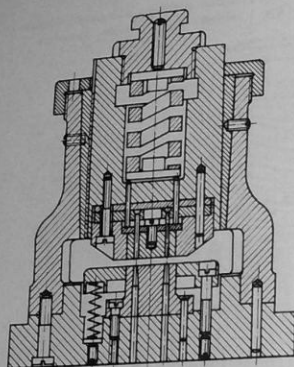
Sloupkové vodící stojánky. Tento druh stojánků je v jemné mechanice nejrozšířenější. V hodinářském průmyslu se používá až na výjimky pouze tento typ sto-

jánků pro jejich vysokou přesnost, kterou si dlouho podržují. Sloupkový stojánek se skládá ze tří částí, obr. 260, 266: základní desky, sloupků, desky pro

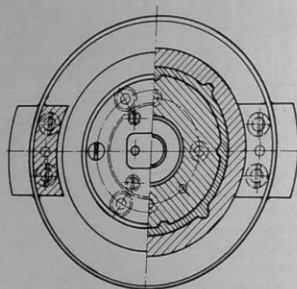


upnutí průstříšnicku. V poslední době ještě přibude kulíkové vedení.

Trvanlivost řezných hran průstříšnicku a průstříšnice je do značné míry závislá na přesném a co do polohy stálém vedení. Vůle mezi průstříšnickem a průstříš-



267



stírať, a z horního tělesa, které slouží jako vedení. Vysoké přesnosti tohoto nástroje se dosáhne tím, že jeho funkční součásti lze obrábět na jedno upnutí.

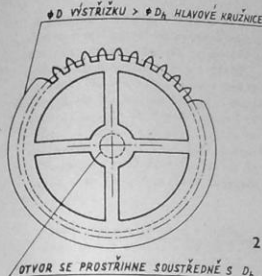
Zvonkové prostřihovačlo. Je nástrojem na dřevování součástí povrchově hotových které potřebují dodatečně vyrobít soustřednou díru. Používá se hlavně na dřevování středu ozubených koleček. Větší ozubená kolečka jsou dřevována před frézováním ozubení. To lze dělat v tom případě, že díra je dostatečně veliká, aby kolečka šla naskládat na sebe a střídit trnem za tuto díru, nebo i při upínání koleček

nicí má být při každém z tlačení řezů stálá a jen to zaručuje jakostní a stejné výstřiky. Zhoršení kvality, způsobené přirozeným otupováním řezných hran se dá několikrát odstranit přebroušením, ale vyběhané vedení stojánku se jen obtížně opravuje. Proto sloupkové stojánky jsou vyráběny s největší pečlivostí.

Tvary jsou voleny tak, aby stojánky byly snadno opracovatelné a aby skýtaly záruku přesné vzájemné polohy. Pro použití v jemné mechanice byly před léty firmou Zeiss-Ikon sestaveny noray, které jsou velmi rozšířené a také v našem průmyslu jemné mechanice byla v podstatě tato norma zavedena.

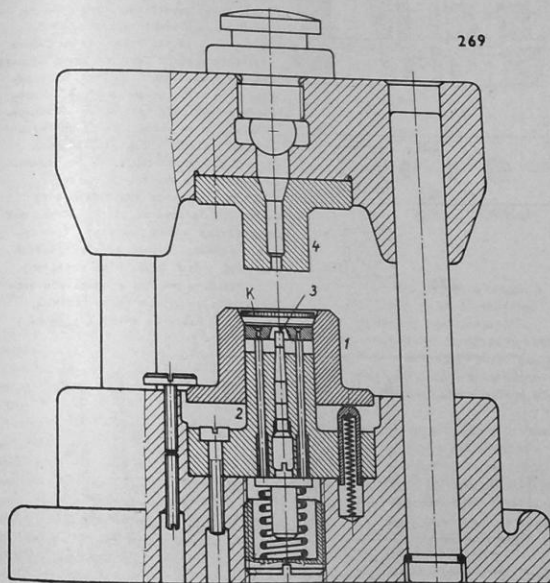
U symetricky uspořádaných stojánků mají sloupky odlišné průměry (o jeden až dva mm) proto, aby nedošlo k otočení horní desky o 180° .

Stojánek s vřecovým vedením. Pro velké série součástí se osvědčil stojánek, který má místo sloupků vedení vřecové. Tento druh je rozšířen zejména ve výrobě americké a německé a tvrdí se, že vydrží v provozu několik let, než je nutno jej vyředit nebo opravit. Uspořádání ukazuje obr. 267. Stojánek je lity ze šedé litiny popř. i z ocelolitin a skládá se ze spodního tělesa, ve kterém jsou podobně jako u sloupkových stojánků uspořádány průstřiháky a



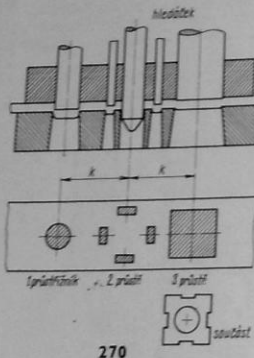
268

za vřec v případě, že se nepodaří tak vysoká přesnost (bážd u bodů). Malá a přesná ozubená kolečka pro náramkové hodinky, sáčkové nástroje apod., lze velmi těžko pro frézování ozubení vystředit tak, aby díra, předem prostřihaná byla soustředná s vyřezávaným ozubením. Proto se v kolečku vystřihnou jen okénka, při frézování ozubení se střídá za vřec a díra se dodatečně prostřihuje podle ozubení ve zvonkovém prostřihovači. Výstřitek kolečka v tom případě musí mít větší průměr než hlavová kružnice ozubení, takže fréza ubere i přebytečný materiál až ke špičce zubů, obr. 268



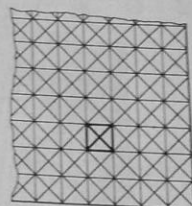
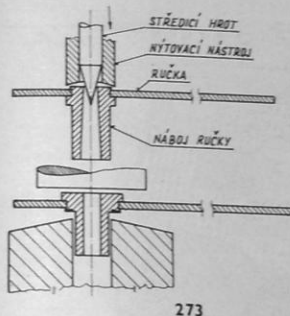
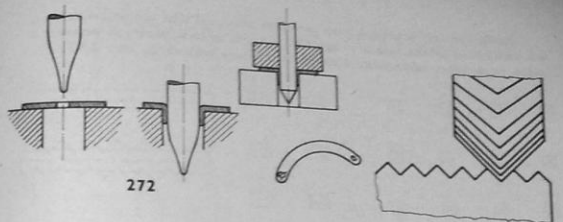
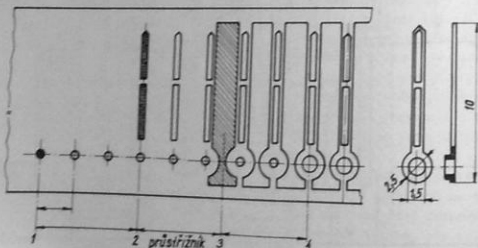
269

145

[illegible]

Postupové postřikávkovádo. Podle obr. 270 se má s plechu vystihnout dola naznačené součást. Použijeme k tomu tři prstínišník, nebo skupin prstínišník. První prstínišník kruhového díru, druhé skupině okénka a třetí obvod. Postupovému sádky v tom, že na jednom výstřiku pracují postupně první až n-tá skupin prstínišník, přičemž krok pokládání je stále stejný a odpovídá rozložení prstínišníkových skupin. Postupové nástroje se montují do sloupkových stojánek, které mají u složitějších případech i čtyři sloupky. Kolík, zakončený kušeľovým hrotem, je hledáček, který zabíhávním do vystřikové díry ustaví pás do správné polohy dříve, než prstínišník začne pracovat. Tyto nástroje dovolují výrobu nejsložitějších výstřiků a jsou také velmi rozšířeny.

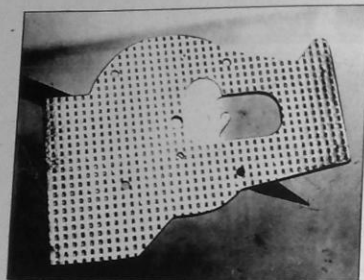
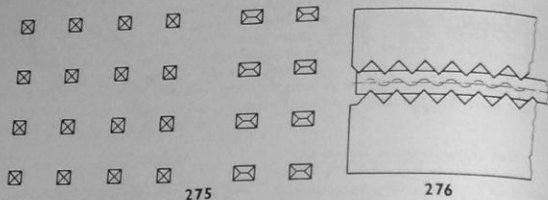
Příkladem použití postupového prostřívadla je výroba ručky hodinek, obr. 271. Ručka se vystřihuje v ná -



stroji na 5 kroků. Tohoto případu, protože ruky jsou velmi štíhlé a blízko u sebe nejsou prstíčky na každém kroku, ale několik kroků (3 až 4) může být vyměněno. Město je s tím trochu roztáhne a to pospívá jeho seřizování. Rozstředí prstíček jako tučnou rukou. První prstíček vytváří otvor, druhý okraje v ruce (pro nanesení světlic barvy), třetí vytváří obrys ruky, který zůstane v pánu drát za konec a u náboje. Čtvrtý (prstíček) provádí vytváření náboje v díře od prvního prstíčku a pátý ušlechťuje ruku u náboje a u konce.

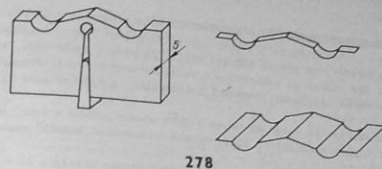
Protáčení náboje se dělá průtačníkem, který má kušeľový nebo jinak formovaný náboh, obr. 272. Nejprve se hrotem vystružíme protí dří a pak kušeľem roztáhne tak, až vnější plocha plníne k průtačníku. Takový způsob se protahují dří některé lamely k rýsovým clonám (místo vytváření šed), přičemž se použije ocelové měkké planšety. Žádáme-li větší přesnost dří, nebo vnějšího rozměru vytáku jako zde, je vřele míti průtačníkem a průtačník senní než tloušťka materiálu, který je protáčením zeslaben. Potom je potřeba spolehlivý střeň, resp. vyvažovač, neboť vytáček ulpí na průtačníku, nebo na průtačníci.

Ručky kvalitních hodinek nebo leteckých přístrojů musí spolehlivě držet a mít zajištěnou polohu, proto se opatřují nábojem, vysoustruženým na automatu a ručka je na náboj nanávaná. Někdy je díra náboje kuželovitá, obr. 273.

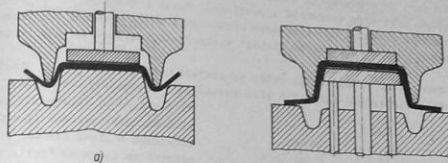


277

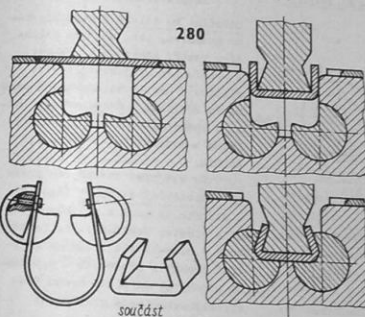
Rovnění desek. Základní desky přístrojů (platiny) jsou prostřihovány nebo předchozí zacházení a pásy poněkud zdeformovány. Tento nedostatek odstraníme vyrovnávacími a rýhovanými vyrovnávacími čelistmi. Podle obr. 274 jsou desky vyfrézovány tak, že na jejich povrchu vznikne síť pyramidek (ČSN 22 6201), obr. 275 nebo ostří (DIN), obr. 277. Při stlačení mezi deskami se platina pružně nerovná, (byla-li prohnutá) a na povrchu vzniknou pnutí. Ta jsou zesílena zamatknutými vrcholy desek do té míry, že na povrchu se dosáhne meze kluzu. Tím se pnutí po celé ploše vyrovnají a po odlehčení zůstane deska rovná. Používá se desek vzájemně přesazených o polovinu rosteče řádek, obr. 276, nebo s vrcholy stojícími proti sobě. Vyrovnávací deska má na povrchu sice vtisky, které ruší její vzhled, ale funkci přístroje neovlivní. Při vyrovnávání nejčistších součástí např. při výrobě náramkových hodinek se používá vyrovnávacích desek rovných, na povrchu jen zbrošených.



278



279



součást

Ohybní. Má-li být materiál (zejména pružný) ohybný do přesného ohlu, je potřeba hlavně v tom, že nelze předem stanovit velikost odpružení. Proto se dělají různé zkušební nástroje, obr. 278. Nejvýhodnější místo ohybu se může přizpůsobit. Materiál pro celou sérii při ohybnosti musí být stejnorodý, jinak se vlivy odpružení projeví nestojností ohybu. Příklady ohybů jsou na obr. 279, 280. Ohyb na dvakrát, obr. 279a nesprávný, protože materiál je částečně tažen, obr. 279b správný. Na obr. 280 je dvojitý ohyb do ohlu přes 90° pomocí otočných válečků ve spodní čelisti ohybádky.

Tahy. Tahy vyžadují tvárný a tahový materiál (měkké oceli, tombak). Důležitá je tu hladkost nástrojů, oblé hrany, dobré masání, správné konstrukční i silové přizpůsobené přidržovače a vhodné typy lisů.

SOUDADNICOVÉ VYMĚŘOVÁNÍ A ZHOTOVOVÁNÍ DĚR

V nástrojářství, ve výrobě měřidel apod., je přesné vyměřování, vyvrtávání a vyrobování děr jednou ze základních i velmi náročných prací. Přesnými děrami jsou opatřeny mnohé přípravky, obráběcí i kontrolní, a nejvíce snad lisovací nástroje.

Pojas přesných děr rozumíme nejen jejich přesný průměr a tvar, ale hlavně také přesnost jejich rozmístění. Díry, vrtané na normální vrtačce nemají žádnou z těchto vlastností:

1. Průměr díry je nepřesný, i dobře nabrušené vrtáky hřeší a díra je většinou vlnitá.
2. Při sačátku vrtání i do označeného důlku vrták uhýbá a strácí tím přesnou polohu. Jakost povrchu díry se dá zlepšit vystružením, nelze však zlepšit její polohu.

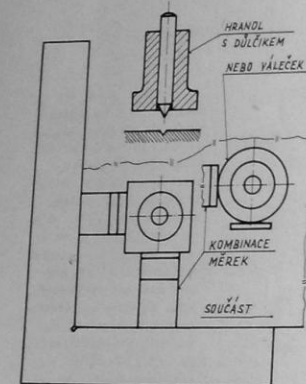
Tyto nedostatky vrtání snižují dobře nástrojářské, kteří si vytvořili vlastní způsoby dosažení přesných děr ještě před sávedením soudadnicových strojů.

Přesné díry se dělaly a dosud v menších nástrojářských dílnách na soustruhu a lící desku, v hodi-nářství na desce se "pay".

Nejpoužívanější metody.

Středění na dőlék. Pomocí přesného dőlíku, obr. 281 se poloha díry vyměří základními měrkami. K označení použijeme válcového dőlíčku s hrotem zalapovaného přesně do součásti o čtvercové základně a známé délce strany, nebo válečku s koncentrickou dírou pro dőlíček.

Ke stejnému účelu jsou určeny "pointovací strojky" (Hauser), u kterých je hrot v přesném vedení - pinole. Souřadnice se nastavují v rozsahu 100 x 100 mm měřicí šrouby s přesností $\pm 0,001$ mm. Do pinoly se dá místo hrotu vložit mikroskop nebo miniaturní vrtací vřeténko.



281

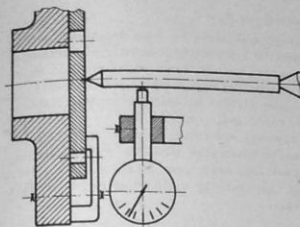
Součást označená dőlky se potom upne na lící desku soustruhu a do dőlku se opře pomocný hrot, obr. 282, který se středí dýchylkoměrem. Správná poloha se ustaví poklepáváním. Díra se předvrtá vrtákem a vysoustruží nožem.

Dá se docílit polohy díry lepší než 0,005 mm, protože dýchylkoměr ukazuje vždy dvojnásobek absolutní hodnoty dýchylky.

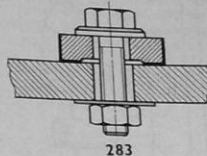
Knoflíková metoda I. V místě, kde mají být přesné díry, vyvrtají se otvory s takovou přesností, jakou dovolí normální vrtačka. Díry jsou jen pomocné a procházejí jimi šrouby, upevňující knoflíky podle obr. 283. Na průměrech konfliktů nezáleží; musí být jen kruhové a musí být známa jejich velikost.

Poloha se nastaví základními měrkami. Používá se dvou způsobů:

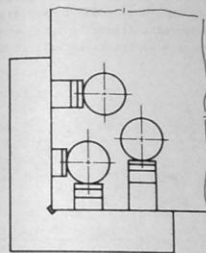
pravidelné souřadnice se vynášejí od dőlíku, obr. 284. V některých případech je však výhodnější použít trojúhelníkového vynášení (triangulace). Potom se měří



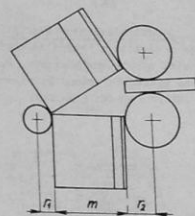
282



283



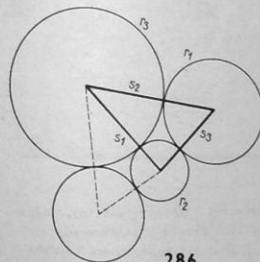
284



285

vládají jako strany trojúhelníků mezi knoflíky, obr. 285. Po sestavení se šrouby upevní, měřky se odstraní a postupně se středí na jednotlivé knoflíky.

Knoflíková metoda II. Je založena na poznatku z geometrie, že libovolnému trojúhelníku se dá nakreslit jednoznačně trojice kružnic, které mají středy ve vrcholech a vzájemně se dotýkají. Máme-li tedy tři díry, určíme jejich vzájemné vzdálenosti, a tím dostaneme strany trojúhelníku s_1, s_2, s_3 . Podle obr. 286 sestavíme trojici rovnic, např.

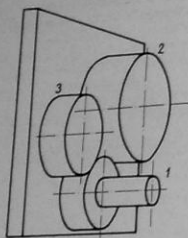


286

$$s_1 + s_2 + s_3 = 2(r_1 + r_2 + r_3)$$

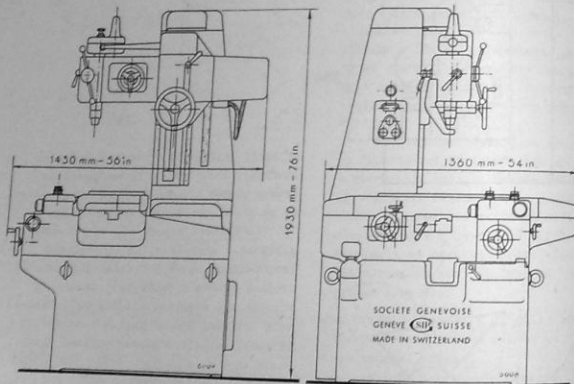
$$s_1 = r_2 + r_3$$

$$s_2 = r_1 + r_3$$



287

Souřadnicové vyvrtávačky. Uvedené nástrojářské metody jsou přesné, ale pomalé a složité a nehodí se dobře pro velké rosteče děr. Rozvoj nástrojářství si vynutil stroje souřadnicové, nejprve označovací (pointovací) později vyvrtávací. První vyvrtávací stroj byl vyroben v roce 1922 švýcarskou firmou Société GENEVOISE (SIP). Pravidelné souřadnice se nastavovaly šrouby a odečítaly na velkých dě-



288

lených kružnic. Poněvadž šrouby jsou zároveň podávacími i měřicími orgány, podléhají opotřebení a strácení přesnosti, která při delších šroubech je omezená. U pozdějších strojů, které v našich dílnách pracují, jsou již nepřesnosti šroubů korigovány šablony. V roce 1933 bylo podávací ústrojí nahrazeno hydraulickým a

Z nich vychází řešení

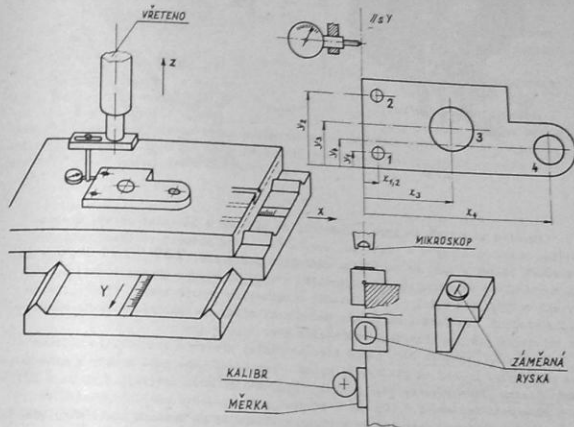
$$r_i = \frac{S_2 + S_3 - S_1}{2}, \quad D_i = S_2 + S_3 - S_1,$$
 a podobně pro $D_2 = D_3$.

Když vysoustružíme, nebo vyrobíme trojici knoflíků s vypočtenými průměry a složené je, vznikne trojúhelník, který má na vrcholech jejich středy. Knoflíky mají v tomto případě různé délky, aby je bylo možno celé objíždět dýchlo-
 měrem, např. podle obr. 287.

Nejúčinně vystředíme nejdelší knoflík a na jeho místě dohotovíme díru. Tak pokračujeme až k nejkratšímu. Někdy jsou knoflíky koncentricky vybrané jako kalíšky a středí se za jejich vnitřní průměr.

měřící funkce svěřena přesnému pravítku, ze kterého se odečítá nastavení souřadnic opticky. Pravítko se silově nedeformuje a nepodléhá opotřebení, zůstává tedy trvale přesné.

Schéma souřadnicové vyvrtávačky SIP o rozměrech stolu 700 x 315 mm, pracovní délkou $X = 400$ mm, $Y = 250$ mm je na obr. 288. Jiné stroje používají odečítání na optickém šroubu (Lindner) nebo nastavují souřadnice základními měrkami (Pratt a Whitney), popřípadě i elektricky. Přesnost nastavení souřadnic u menších typů



289

vyvrtávek se tím dostala na garantovanou hodnotu dvou mikronů v rozsahu 200 x 200 mm, 400 x 250 mm.

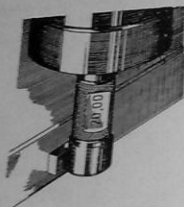
Některé poslední stroje mají jako odebírací měřítka rastrová pravítka. Odebírací systémy jsou fotoelektrické a převádějí údaje pravítka na digitální výstup. Často pracují ve spojení s řídicím počítačem jako CNC stroje a provádějí složité programované operace vrtací, frézovací i brousící.

Souřadnice Z (hloubky) se odečítají nebo i vypínají podle měřítka. Vřeteno má vypínací dorazy. Přesné hloubky se najíždějí podle dýchlooměru, eventuálně základních měrek až cca na 5 μm.

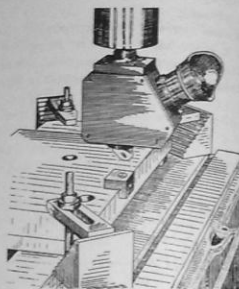
Výměřování souřadnic. Výkresy pro souřadnicové vyvrtávání mají kóty vztaheny vždy k určité základně, nejčastěji ke stranám, trojicí pravý úhel, obr. 289. Je-li nutné dodržet přesně polohu děr k této základně, musíme s výměřováním počít na hranách, resp. na plochách kolých k výměřované rovině.

Paralelnost vztahných ploch s vedením stolů X, Y kontrolujeme dýchlooměrem, upraveným na vřeteno vyvrtávačky.

Navezení osy vřetena na hrany od nichž odměřujeme souřadnice je znázorněno v pravé části obr. 289 a na obr. 291.



290



291

Používá se k tomu kalibru, vloženého do vřetena a základní měrky, kterou držíme rukou kvůli citu v přítisku, obr. 290. Jiná možnost zmaření optickým způsobem záleží v tom, že použijeme úhelníku podle obr. 289, 291, který má na horní ploše vazezanou sámskou destičku s vyrytým ryskou přesně v prodloužení svlé roviny. Mikroskop je ve vřetenu, u některých strojů bývá i přestavitelný vůle vřetena. Zmařování na pouhou hrana není nikdy spolehlivé. K takto zmařené poloze se již jen přitlačí souřadnice děr.

Vyvrátání menších děr. Každá dírka se napřed předvrtá šroubovitým vrtákem a bez přestavení polohy se pak vytočí nožem. Vyvrátací nože jsou upnuty v držácích umožňujících jemné přestavování radiusu. Nejjemnější nože vyvrátají dírku od ϕ 0,4 mm s přesností nastavení 0,005 mm. V případě potřeby ještě menšího průměru se dírka udělá vrtákem a výstružníkem v pouzdru, které se na povrchu podle dírky přebrousí a zalusuje.

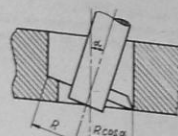
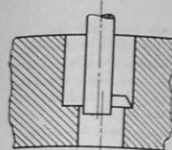
Vyvrátání větších dír. Princip vyvrátání jednobřítým nástrojem je z hlediska geometrie plochy nejpřesnější. Jednobřítý nástroj nehází a také nemůže vzniknout kuželová plocha častá při soustružení.

Chybe, ke které dochází odklonem α osy vřetena od osy podélného posuvu Z se projeví tím, že válec bude mírně eliptický, jedna poloosa se zmenší o hodnotu

$$\Delta R = R(1 - \cos \alpha)$$

Je-li poloosa kružnice, kterou opisuje špička nože R. Při malých α je $\cos \alpha$ hodnota jen nepatrně menší než 1, takže u prakticky možných odchylek os se eliptičnost neprojevuje, obr. 292.

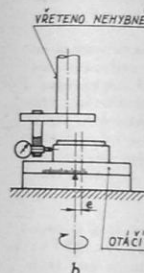
Otočné dělicí stoly. Běžná je dílna, rozstavit několik děr na rozečtné kružnici. Pracujeme správně s otočným dělicím stolem, tedy v polárních souřadnicích ρ a φ . Úhlové odstupy φ odměřujeme dělicím stolem, obr. 293 a, ale napřed musíme stotožnit osu obrobku 3 s osou otočného stolu 2.



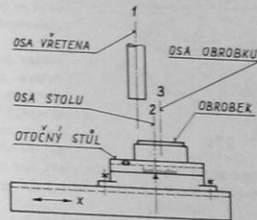
292

nice X, Y této polohy zaznamenáme a teprve potom odměříme souřadnice X, Y nebo X. Pouze když rozečtnost souřadnic ρ , nejlépe nastavíme oběma směry X a Y podle vztahu

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$$



b



a

293

c

Když stotožňujeme osu vřetena s osou stolu a obrobku, musíme otáčet vřetenem s úchylkoměrem, obr. 293 c, aby nám excentricita ε ukázal úchylkoměr jako 2ε .

Není-li k dispozici otočný stůl, nebo nemá-li dostatečnou přesnost, musíme souřadnice středů děr nastavovat pravdouhle. K tomu je nutný výpočet souřadnic X, Y každé dírky, nebo použít Woodworthovy tabulky, kde jsou souřadnice již vypočteny pro počty děr 3 až 100 a pro $\rho = 1$.

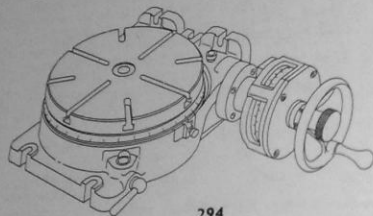
Přesné otočné stoly (např. Moore, přesnost $\pm 4''$) obr. 294 pracují velmi rychle a snižují možnost omylů. Stoly jsou natolik robustní a tuhé, že dovolují i frézovací operace. Při vyvrátání děr stoly v nastavené poloze blokuje.

Nejpřesnější stoly s optickým odečítáním úhlů mají přesnost $\pm 1''$, např.

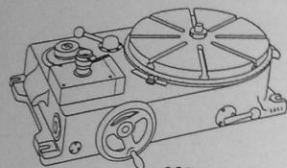
SIP PD - 28, průměr stolu 300 mm, obr. 295.

Pro díry v obecné poloze, např. orientované ke kuželovému nebo válcovému plochému jsou určeny sklápěcí stoly, např. SIP PI - 2. Otočná osa stolu se nastavuje a přesností $\pm 5'$ sklápěcí osa a přesností $\pm 1'$, (s stolu 180 mm).

Firma Moore, aby zvýšila přesnost nastavení sklápěcí osy, dává přednost umístění otočného stolu na sinusovém stole (hlavně pro měřicí účely).

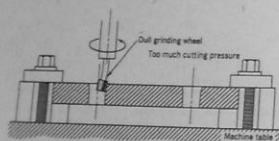


294



295

kotoučku příliš nesledí, ale když byl jen o málo menší než díra, dochází k velkému tlaku a tím k jeho uhybní vlivem pružení. Díra může vyjít nevalcovitá (trumpetovitá), obr.

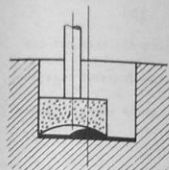
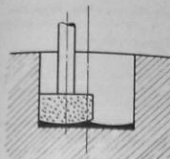


296

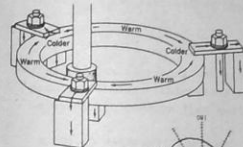
ky (troubky) s disantovým brusivem. Schéma vybrušovacího vřeténka s turbínovým pohonem je na obr. 298. Přívod tlakového vzduchu 1 jde dutým vřetenem. Vnitřní přetlak se zabírá vnikání prachu do ložisek vřeténka vyvrtávkou 1 a turbínou. Základní excentricita e osy turbíny se nastaví za klidu vřeténka šroubem 2, který posouvá příčné sánky 3 proti sánkám 4. Výstřednost je taková, aby brusný kotouček právě ještě vešel bez dotyku do díry. Při běhu vřeténka a turbíny se

Nejprve se brousí díry slepé, mají-li mít rovné dno, obr. 297. Čelo brusného kotoučku se musí často ořezávat.

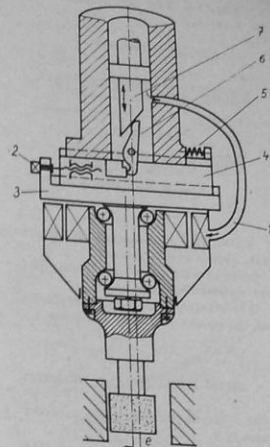
Při planetovém broušení se na vřeténka vyvrtáček dají přidělat turbíny (např. Moore se 14 000 - 50 000 ot/min). K vybrušování děr v kalených součástech se pro velkou trvanlivost osvědčily brusné kotoučky s planetovým broušením. Osa hlavního vřeténka navádíme do osy děr podle souřadnic, kdežto osa brusného vřeténka je excentrická. Válcové plochy průchodných děr se brousí snadno a velmi kvalitně. Na rozměrech brusného ko-



297



299



298

pak e zvětšuje pohyb sánky 4, které tlačí proti pružině 5 páka 6, nakládná klínem 7 otočným a vřetenem, ale ovládným za běhu vidlic z vnějšku vřeténka.

Planetovým způsobem se dá vybrousit velice přesná díra. Její geometrickou přesností a dráhou povrchu můžeme zlepšit jen zalapováním.

Při přesném souřadnicovém obrábění, právě jako při výrobě optických

prvků nebo i dělicích strojů musíme počítat s deformací způsobenými teplotní dilatací nebo i malým mechanickým pnutím.

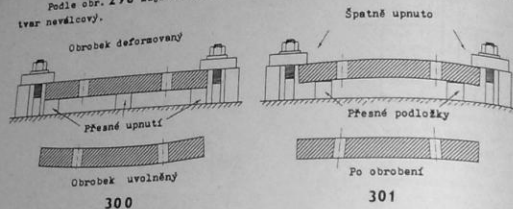
Rozteč dvou děr v ocelové desce, vzdálených 100 mm se zahřátím o 1°C změní o

$$\Delta l = \alpha l_0 (t - t_0) = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 1 = 0,00115 \text{ mm},$$

tedy o hodnotu přesnosti měřicího šroubu nebo pravítka. Při zahřátí o 10°C už vzdálenost vzroste o více než setinu mm, u mosazi o 0,018 mm a u duralu o 0,022 mm.

V důsledku nerovnoměrného odvodu tepla má přebroušený kroužek podle obr. 299 nekrhovitost, zmařenou ve spodní části obrázku.

Podle obr. 296 mají broušené díry v důsledku otupeného brusného kotoučku tvar neúměrný.



300

301

V obr. 300 je deska ve správně upnutém stavu. Jelikož ale byla původně ohnutá, vyjdou otvory sblížené.

Deska původně rovná, podle obr. 301 v důsledku špatného upnutí bude mít otvory po uvolnění šikmé.

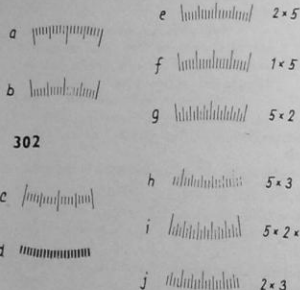
Tyto příklady nejsou nijak výjimečné, dochází k nim téměř vždy, je jenom otázka jak vysoké požadavky na výrobu a na měření stanovíme.

DĚLENÍ A DĚLICÍ STROJE (PŘÍSTROJE)

Jde o výrobu dělených kruhů a rastrů. V zásadě rozlišujeme dva typy dělicích strojů :

1. pro dělení kruhových stupnic na n dílků,
2. pro dělení lineárních měřitek (stupnic).

V obou případech lze dělení naměřit s proměnlivými intervaly ručním nastavením, správně ale jde o dělení s konstantním intervalem, kruhové stupnice např. po 1° , $1/2^\circ$, $20'$, $10'$ apod. Lineární měřítka mají nejčastější interval 1 mm, ježné měřítka 0,1 mm, 0,01 mm apod.



302

Příklady kruhových dělení a jejich značení jsou na obr. 302

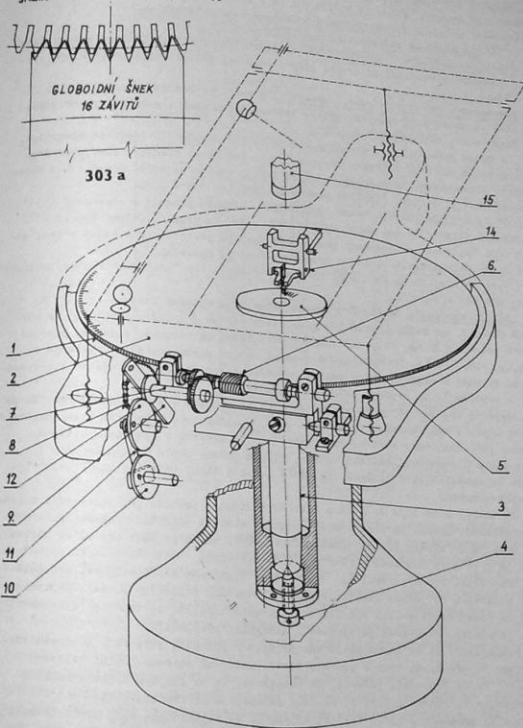
- a) jednostranné dělení s číslováním uvnitř
- b) jednostranné dělení s číslováním vně
- c) oboustranné dělení
- d) dvojryskové dělení.

V pravé části obrázku je základní interval dělen na 2 díly a ty dále na 5 dílů (2×5).

f základní interval dělen na 5 dílů (1×5).

g základní interval dělen na 5 a dále na 2 díly (5×2).

ŠNEKOVÉ KOLO $\phi 500 \text{ mm}$, $z = 1080$



303

- h základní interval dělen na 5 dílů a dále na 3 díly (5x3).
 i základní interval dělen na 5 dílů pak na 2 díly a ještě na dva díly (5x2x2).
 j základní interval dělen na 2 díly a dále na 3 díly (2x3).
 k dělicí stroj má dva autonomní mechanismy:

1. dělicí mechanismus - obstarává přestavování (podávání) stolu a děleným prvkem (kotoučem, pravítkem) přetřít vždy o interval dělení (vzdálenost rysak, políček).
2. záporný mechanismus (rycí, expoziční) vytváří po každém podání stolu na dělení kotouči nebo pravítku rysku, drážku, díрку, díru, nebo rysky, proušky, zářky atd., fotograficky exponuje.

V našem průmyslu jsou zaváděny hlavně dělicí stroje SIP (Societe Genevoise, Švýcarsko) a OFD (VEB Feinmess Dresden, NDR). Obě firmy dodávají stroje ve dvou různých provedeních, předně jako "precizní" tj. stroje nejvyšší přesnosti a dále, ve dvou chybách $\pm 1''$, resp. lineární chybou na délce do 1 m $\pm 2 \mu\text{m}$.

Druhý typ jsou stroje zvané "produkční". Kruhový pracuje s přesností $\pm 30''$ do průměru dělení 300 mm, např. OFD KP 300, resp. do průměru dělení 750 mm - KP 600. Produkční stroje mají menší přesnost než precizní, ale velký výkon, např. 60 rysaků/min., kdežto precizní 10 až 16 rysaků/min.

Jako příklad je na obr. 303 nakreslen schématicky "precizní" kruhový dělicí stroj TKF 500 firmy OFD.

Dělicí zařízení. Základem přesnosti stroje je mateční ozubené kolo 1. Má jemné ozubení, na každý stupeň tři zuby, tedy celkem $3 \times 360 = 1080$ zubů na roztáčném průměru 500 mm. Paty zubů jsou profrézovány do hloubky, aby zuby poněkud pružili, obr. 303a. Do mateřského ozubení zabírá globoidní šnek, takže je v záběru 16 zubů a nepřesnosti v poloze subových mezer se průběžně částečně vyrovnávají - průměrují. To zaručuje celkovou přesnost.

Mateční ozubený šnek je spojen s plochým kotoučem 2 zvaným platforma. Ta je jednou provždy sešroubována se zvislou osou 3, spolu jsou opracovány, aby neházel ozubení vůči dvojitému kuželi. Kuželovitá osa je uložena v konusovém ložisku. Aby nedošlo k sesazení takového kužele, je osa opěna zdola nosným šroubem 4, kterým se vymezí vůle v uložení obr. 304. Tento těžký celek se musí lehce otáčet tlakem nehtu.

Globoidní šnek 6 je ze záběru s kolem odklopný, protože při centrování obrobku 5 (děleného kruhu) se platformou protáhá a sleduje výchylku dychlokověru.

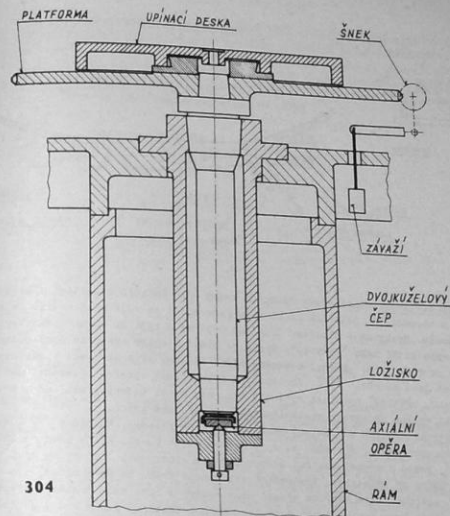
Šnek je do záběru tláčen závažím obr. 304, záběr je tedy bez vůle. Hřídel šneku je v přesném hrotovém uložení, rovněž bez vůle.

Při dělení kruhu se šnek na 10 potočení platformy otočí vždy 3x, při dělení po intervalu 20° jednou do kola. Pro tyto intervaly dělení by se tedy periodická chyba šneku neprojevila. Při jiných intervalech dělení se tato chyba projeví, proto je zřejmé, že i šnek je vyroben s maximální přesností.

Pohon šneku se děje od rohatkového hřídele 7 převodem 3:1, nebo alternativně 1:1. Také na přesnosti těchto převodů závisí interval otočení. Další klíčovou součástí, co do přesnosti podávání je rohatka 8. Ta je spojena pevně s rohatkovým hřídelem 7, kdežto příčka 9, nesoucí západku se na hřídeli volně otáčí.

Cyklus podávání probíhá tak, že hřídel 10 je poháněn motorem, kvůli přesnosti chvění oddělený od stroje. Otáčí se měkkým feritkem. Na hřídeli 10 je přestavitelný excentr, velikostí excentricity se řídí pohyb ojnice 11. Ta udílí kývavý pohyb ozubenému kolu 12. Toto kolo kývá pak v příslušném převodu příčku, nesoucí západku.

Je zřejmé, že mechanismus excentrů a ozubených kol se dá seřadit tak, aby



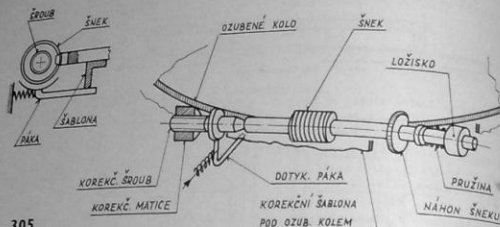
304

západka odsádkala libovolný počet zubů rohatky, až do jejího plného obvodu. Interval dělení se snadno seřadí podle návodu k obaluse stroje. Zároveň je jen okolnost, že západka donesla rohatku do nastavené polohy a klasifikující rychlosti až k male, takže nemůže dojít k přeběhnutí polohy vlivem setrvačných momentů.

V době, kdy se západka vrací a odsádkává po zubech rohatky, probíhá u klasického cyklu právě rytí rysak. Tyto, byť neopatrné rázy se někdy projeví na rysce, nebo na stopě, kde diamantový rysák napeřel vrativku rastru.

Dělicí stroje jsou opatřeny počítadly, které musí vypnout stroj po vyřtí posledního rysku.

Výroba přesného matečního kruhu se vřetinnou přesností je velmi náročná a výrobce (OFD) nikdy nepublikuje jak toho dosáhneme. Jiné firmy (SIP) se spokojí s matečním kolem méně přesným a přesnost dosáhnou korekčním zařízení, jehož princip je na obr. 305. Šnek je uložen na levé straně v hrotu, který není první, ale je součástí korekčního šroubu. Tento šroub se natáhne v korekční matici. Hrot tedy ustupuje, nebo se posouvá vpřed podle chyb matečního kola. Kolo je přesně proměřeno a chyby každé roztáčky naneseny na korekční šablona pod platformou. Velikost i směr chyb snímá dolíková páka, přitlačovaná na šablono.



305

Rycí zařízení. Jemné rysky dělených kruhů (pro optické odečítání mikroskopu jako u theodolitů, dělicích stolů nebo hlav apod.) se rytí většinou do skleněného kotouče. Rysky mají tloušťku 0,002 až 0,01 mm a rytí se diamantovým krystalem ve tvaru ostří nebo "sekyrky". Ryska je vlastně vytlačená rýha do plasticky tvrdého povrchu skla, přičemž nevzniká žádná tříška, sklo se nemá vyštípat. Typy rysok jsou na obr. 302. Zorientovat a nabrousit správně diamant, seřadit jeho polohu, přitlačit, rychlost rytí stá tak, aby nebyl patrný rozdíl mezi první a poslední ryskou je vysoce specializovaná, mistrovská práce.

Konstrukce rycích mechanismů umožňuje rytí na rovině, kuželové i válcové plochy dělených kruhů. Převážně se ryje do rovinných ploch. Kruhy jsou ve formě mesikruží, jeden z obvodů, vnitřní nebo vnější je centrovací. Za něj je kruh středí a upíná do přístroje. Vystředění skleněného kruhu ze mechanického obvodu je ale velmi obtížné, jsou potřeba přesné uchylkováče a není vždy dostatek místa. Proto se někdy kruh centruje při rytí jen zhruba. Skutečný střed kruhu se definuje pomocnou centrovací kružnicí, která se po upravení kruhu na centrovací desku vyryje diamantem vně nebo dovnitř blízko dělené stupnice. Ryska se pak při středění na montáži lépe zaměřuje mikroskopem, než hrana kruhu.

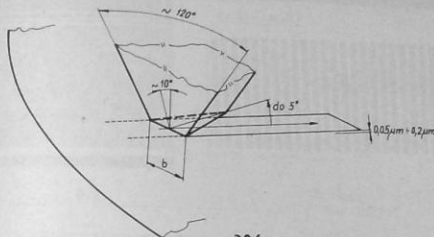
Skleněné kruhy se zhotovují převážně z floatového skla. 10 až 15 tabulí se slepí termoplastickým tmelem, vybrousí trubkovým diamantovým nástrojem a obrousí na kuleto vně i uvnitř. Potom se kruhy teplem roztaví. V méně náročných případech se dělení vytváří přímo na floatovém povrchu, jinak se aktivní plocha ještě opticky brousí a leští.

U skla nemá diamant nikdy přebíhat hranu! Vystřipává sklo.

Přesné vzto, měl by polohu rysky zajišťovat jen dělicí mechanismus. Ve skutečnosti často rycí část stroje je choulostivější a náchylnější k zanášení chyb. U kruhů a velkých počtem rysok, nebo rastrových políček - např. 10 000, trvá vyrytí okolo 16 hodin. V té době není možné udržet konstantní teplotu řádu 13, zabránit otečením, nebo pohybům budov, základů apod.

Dřáček diamantu je obvykle upraven v hrotech 14 obr. 303, v nichž se nakládá. Sám nesoucí dřáček nemohou být bez vůle a dále působí zvedací věčky na složitý obdelníkový pohyb nože do řezu a zpět. Mohou se projevit i nehomogenity ve skle nebo na povrchu vlivem opracování a diamant pak "rejdne" po skle.

Při rytí políček matic kruhových rastrov (IRC - inkrementální rotační řídící) se nejlepším kontrastu dosáhne seřezáváním povrchové napětí kovové vrstvy. Vratve je z několika komponent naprovaných současně tak, aby se dosáhlo příslušné přilnavosti ke klu a současně aby se docílil hladký řez diamantovým nástrojem. Zde má diamant vřídání geometrii, tupý úhel čela, malý úhel hřbetu, řezný úhel napřik k rysce a rozřezané boky obr. 306.

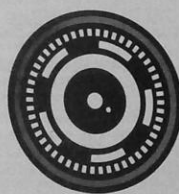


306

Na obr. 307 je fotografie IRC, 200 čar/2K, střední průměr 44 mm, délka rysok 6 mm, šířka rysok 251 μm. Světla políčka jsou sryta, tmavě napeřeny kov. Na obr. 308 je kódovaný kruh, od obvodu postupně 500, 50, 5 rostecí na obvodu. Při středních průměrech 49 mm, 41 mm, 34 mm. Délka rysok je 2 mm, nejdelší místo mezi políčky 110 μm. Na obr. 309 je výsek IRC 2500 rysok, střední průměr 27,5 mm, délka rysok 5,5 mm. Sůňavost světelných polí je vytvořena dvojím rytím každého políčka. Je zde vidět centrovací ryska. Šířka rysok je 16,6 μm, hranová neostrost asi 0,3 μm.



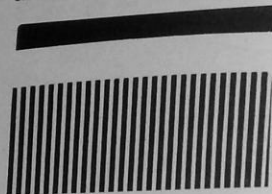
307



308

Diamant nemá poškodit hladký povrch skla, ale musí z něj sekrábnout společně vrstvičku kovové slitiny, zanechat ostré rožhraní např. u 10 000 rysok, nemá se otupit. Zde je nutno odstranit drnění (poskoky) které se při některých parametrech rytí vyskytují.

U lineárních rastrů jsou vzrhy a mezery paralelní. U rastrů kruhových nelze v tak jemných rozměrech vytvořit rysku sbíhavou do středu. Proto světla políčko má boky paralelní, takže políčko křivé. Má-li být i sryté políčko sbíhavé, musí se rýt na dvakrát jako v obr. 309.



309



310

Často se používá techniky rytí do vosku. Skleněný nebo kovový kruh je potažen tenkou vrstvičkou vosku, která se nástrojem sryje (seškrabuje). Tak se dají vytvořit i tlusté rysky, nebo různé obrázky. Nástroj má ostří paralelní a rovinnou podložku, aby vrstvička vosku byla odstraněna po celé délce ostří. Obnažené místo na skle se potáhne buď naleptá, nebo ve vakuu pokoví. Rýže se ocelovými rydlí.

Skló se leptá při jemných rysech v parách kyseliny fluorovodíkové, při hrubých rysech přímo kyselinou. Oceli se leptají perami nebo nanášením (ponořením) v kyselině dusíkové. Technikou rytí do vosku se vyrábějí zejména stupnice dělicích posuvných měřitek (pětá a dvousestinových) a rovněž jejich verníery (nomie), číselné popisy i firemní značky.

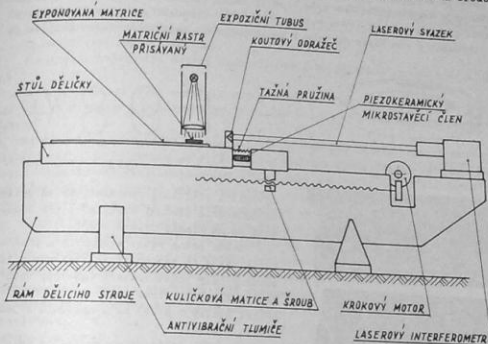
Ryčí mechanismy se v poslední době nahrazují u lineárních i kruhových dělicích strojů zařízeními expozičními. Dělený kruh nebo pravoúhlo je opatřeno napájecí vlnou vrstvou chromu. Na ni se nanese tenká fotocitlivá vrstva (např. fotorezist) která se vytváří.

Rytí kruhové matrice (IRC) se na takto připravený polotovár vycentruje, vakuumě píše se a expozice expozičním tubusem s rovnoměrným rozdělením světelného toku.

Matrice dlouhých lineárních rastrů (ILO) se vyrábějí pomocí krátkého matričního rastru délky 5 až 10 mm s frekvencí 25,50 nebo 100 rostečů na mm. Použije-li se rastr 5 mm dlouhý (s 500 čarami) je krokování pravítka např. 1 mm. Každé políčko se proto překopíruje na pravítko škrát a tím se dají zmenšit chyby výsledného měřítka.

Proti rytí mají expoziční techniky některé výhody. Expoziční zařízení nemusí mít žádné třecí pohyblivé mechanismy. Při kontaktním kopírování je písávací matrice vedena pružinami a nemůže uhybat ve směru měřítka. Rysky, číselnice a jiné značky se mohou promístat a exponovat též přes objektiv (projekční litografie) při značném zmenšení. Předlohu lze ve zvětšeném měřítku dobře zpracovat. Např. při výrobě rotačních rastrů lze políčka vytvořit sbíhavá do středu kruhu. U lineárních

ních i kruhových rastrů lze exponovat větší počet políček najednou, přičemž krokování nemusí souhlasit s počtem políček a tím se dají zmenšit některé chyby. Klasické dělicí stroje mají stůl s měřítkem krokovaný přenášán šroubem a rohatkou. Chyby šroubu jsou někdy korigovány šablounou, vedenou podél šroubu (jako u kruhového dělicího stroje). Moderní dělicí stroje mají podávání šroubem



311

a kulíčkovou maticí, obr. 311. Šroub pod stůl vždy o interval, ale jen přibližně. Poloha stolu je přes koutový odražeč odměřována laserovým interferometrem a ten dává povel, jak velké napětí má být přivedeno na piezoelektrický člen. Teprve tento člen dotlačí stůl a pravítkem do přesné polohy (s přesností 0,1 μ m).

Když je dosaženo přesné nastavení, píše se vakuumě krátký matriční rastr na exponované pravítko a expoziční tubus provede na každém kroku expozici.

Exponovaný fotorezist na měřítku se potom chemicky vyvolá. Přitom se vyvolá rozpustí ta políčka, která byla expozicí prosvětlena, neosvětlená políčka chrání chróm. Následuje vyloučení a odleptání obnažených políček chrómu. Tato postupně naexponovaná a vyleptaná matrice, dlouhá až 1500 mm slouží potom jako originál, přes který se ve zvětšené kopírci expozují sériově měřítka pro obrábění nebo měřící souřadnicové stroje.

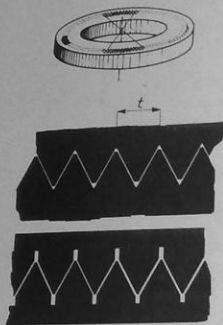
Na obr. 310 je ukázka meandru induktozemu, vyrobeného technikou seřezávání kovové vrstvy ze skla, na klasickém dělicím stroji. Rosteč $t = 1$ mm.

Nevýhodou je, že se v emulzi vyskytují bubliny nebo jiné chyby, které se obtížně odstraňují. Při fotometrickém vyhodnocování jsou nepřijatelné a retuší je obtížné.

Rekord kruhových rastrů má patrně mateční kruh uhlového komparátoru firmy Heidenhain. Skleněný kruh o ϕ 400 mm má při obvodu 162 000 rostečů, takže a světla pole jsou stejně široká (3,8 μ m), jedna rosteč odpovídá 8". Výsledná chyba dělení je menší než $\pm 0,15''$.

U předních výrobců uhlobrných přístrojů a zařízení je z hlediska produktivity i přesnosti patrná snaha, dávat přednost expositivním metodám před klasickými ryčními. Jde o vizuálně odečítací přístroje (theodolity, goniometry apod.), i o optoelektronicky snímané rastry. Světlem a maticí se nahrazuje rydlo.

Dále je zřejmé, že se jako děličky prosazují uhlobrná zařízení a mechanizace ozubením trojúhelníkového typu, což je boční (korunové) ozubení na dvou kys ozubením trojúhelníkového typu, obr. 312. Ozubení lze přesně vyřezávat stejných disků jako stator a rotor, obr. 312. Ozubení lze přesně vyřezávat stejných disků jako stator a rotor, obr. 312. Ozubení lze přesně vyřezávat stejných disků jako stator a rotor, obr. 312.



312

há stejně dobře, jako k přesnému uhlovému měření, když použijeme vhodný indikátor polohy, např. autokolimator, nebo indukční dotyková měřidla.

Číslicové popisy kruhů a měřitek se dělají na popisovacích pantografech. U produktů děliček se dá pantograf přimontovat přímo na most, číslíce jsou pak přesně sestředěny s dělením.

Nejmenší číslíce se ryjí do skla diamantovým hrotem (kuželem končíme nepatrně radiusem). Tam, kde se číry kříví, jako u čísla 8 nebo 4 obr. 313 se musí tak po skle přerušit, jinak se sklo vytlupuje (hned nebo po čase). Číslíce nesají výšku 0,2 mm a větší. Pantografy jsou většinou jednopokřevá.

Větší číslíce se zhotovují metodou rytí do vosku a leptají. V tom případě se kruh snímá s děličky a čísluje na stolním pantografu, opatřeném centrovacím zařízením, děleným kruhem s bubínkem nastavitelným po 1 minutě, křivčovým stolek k největší polohy pod hrot a mikroskopem. Hroty k rytí do vosku jsou ocelové, nesají narušit sklo, ale jen setřít vosk.

6984

313

odvodit i prakticky prokázat, že se postupně lapování všechny chyby neustále zmenšují až na zlomky uhlové vteřiny.

Stačí potom rotor zvednutím a pootočením uvést do zapadnutí se státorem o libovolný celý počet rosteček (stupňů, nebo jejich zlomků). Firma Moore dodává tyto děličky stolky o $\phi 203$ mm s ozubením 4x360 = 1440 rosteček.

Lze tedy dělit přímo po $1/4^\circ$ a dále pak netáčením statoru vůči základu po $1''$ a na vernieru odečítat $0,1''$. Firma zaručuje přesnost lepší než $\pm 0,5''$. Stůl se dá použít k výrobě rastrů a dělených kruhů.

Lze tedy dělit přímo po $1/4^\circ$ a dále pak netáčením statoru vůči základu po $1''$ a na vernieru odečítat $0,1''$. Firma zaručuje přesnost lepší než $\pm 0,5''$. Stůl se dá použít k výrobě rastrů a dělených kruhů.

OBŘÁBĚNÍ LASEREM

Lasery vyznačují velmi krátké a intenzivní světelné záblesky (pulsní lasery), nebo méně intenzivní, trvalé záření, jsou-li vybuzeny světelnými zdroji, nebo jinak přivedenou energií. Světlo laserů se vyznačuje třemi charakteristickými vlastnostmi:

1. Jednobarevnost (monochromaticita)
2. Nepatrnou rozšířenost (divergenci)
3. Konstantní fázi (koherenci).

Vlastnosti laserového záření umožňují též jeho důležité technologické aplikace.

Laser má oproti všem ostatním zdrojům záření vlastnost, která jeho světlo činí schopným vysoké koncentrace pro termické účinky, tj. paralelnost výstupního svazku.

Malé zrcátko nebo čočka umožňuje celkovou energii laseru koncentrovat do nepatrné plošky, jejíž průměr se blíží vlnové délce záření. Tím se dosahují velké výkony (hustoty energie) srovnatelné s hustotami koncentrovaného elektronového svazku ve vakuu. V ohnisku záření vyvolává soustředěný svazek laseru zahřátí několik tisíc K, při němž se všechny zasažené látky odpaří.

Vlnová délka viditelného záření je cca $0,4 - 0,75 \mu\text{m}$. Většina laserů vyznačuje větší vlnové délky, např. $10,6 \mu\text{m}$ ($\text{CO}_2 - \text{He} - \text{He}$ laser). U tohoto laseru lze docílit prakticky, např. pro svařování rozptýlené plošky v ohnisku čočky, rovné přibližně $2\lambda = 0,02$ mm. Tedy i ploška posměrně dlouhovlnného záření je dosti malá, aby koncentrace světla stačila k řadě technologických operací.

Význačnými vlastnostmi laserů pro použití v technologii jsou:

vlnová délka, λ [μm]
energie (na puls), $[J]$
doba záblesku t [s].

Lasery se používají v technologii přesné mechaniky k vyvrtávání malých děr, dokonce do diamantových přívlačů, k jemnému svařování drátů a fólií, které by nesly kontaktní způsoby svařování, nebo kde by dotyk s jinými materiály elektrod byl na závadu, nebo na nepřístupných místech. Podobně se používají lasery jako mikrořezáky jemných součástí, nebo k odpaření nepatrných množství materiálu, např. při vyvažování hodinových setrvaček a gyroskopových rotorů. Takové vyvažování lze dělat dynamicky a tedy přesněji, než při statickém vyvažování, po mikrogramech a hlavně bez dotyku.

Prakticky je jedno o jaký materiál jde, zda o lehké nebo těžké tavitelný kov, keramiku, či krystal. Opracovatelné jsou všechny materiály.

Komplikace může činit někdy propustnost obráběného materiálu pro záření určité vlnové délky. Je-li materiál dobře propustný, neškodno se iniciuje jeho roztavení. Pak se používají vrstvy nebo fólie z méně propustných materiálů. Těké se to skel, diamantu i jiných krystalů.

Podle doby záření dělíme lasery na:

- a) Pulsní. Tyto lasery vyzáří kvantum energie do nich nabuzené (načerpáné) v krátké době několika nanosekund až milisekund. Pak se po určité relativně dlouhou dobu opět nabuzují. Tento druh se hodí zvláště k operacím, kde potřebujeme přesné kvantování energie, jako bodové svařování.
- b) Obří (Q-switch-laser). Používá se hlavně k vrtání dř. Zde je puls energie tak intenzivní a krátký, že se všechny zasažené materiály vypaří, aniž zbude stopa kapalně fáze opracovávaného materiálu.

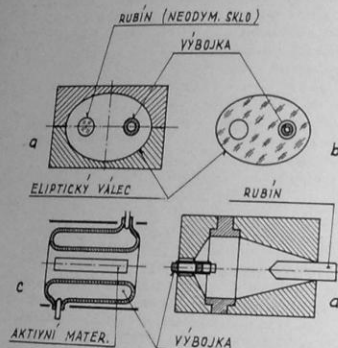
c) Kontinuální (C.W. laser). Pracuje tak, že čerpadlo zdroj svítí kontinuálně a laser vysílá tomu odpovídající, rovněž kontinuální světelný (zářivý) tok. Použití pro řezání materiálu, svařování, místní ohřev pro kalení spot.

Pro ilustraci je sestaveno několik představitelů laserů do tabulky na str. 169.

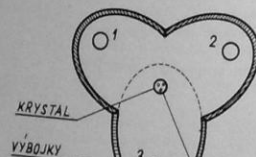
První skupina tvoří plynové lasery a kontinuálními zářeními. Druhou skupinu tři přibíhají typy, basené (výbojové) výbojkami: rubínový laser, vlnová délka 0,694 μm , který dává velký výkon a je poměrně dostupný. Laser z neodymového skla, vlnová délka 1,06 μm pro vlnidlo velké energie. Je anodem objemnější než rubínový a obtížně se chladí. Jeho účinnost 6 % je velmi vysoká.

K čerpání se používá výbojek, jejichž světlo se koncentruje na aktivní zdroj laserového záření.

Nejčastější koncentrátoři jsou zrcadla podle obr. 314.



314



315

Na obr. 314 a je kovový polýný odrazeč ve tvaru eliptického válce, duté část je pohliníkována. Výbojka je v jedné fokále válce, laserová tyčka ve druhé fokále. Na obr. 314 b je odrazeč skleněný nebo z tvrdého křemene. Na obr. 314 c výbojka obepíná aktivní člen, podobně působí výbojka šroubovitě navinutá. Na obr. 314 d je odrazeč kovový, složený z válcové a dvou kuželových částí.

Vyšší, cca 2x, 3x, 4x intenzity se docílí tím, že laserový zářič umístíme do společné fokály několika eliptických válců, jako na obr. 315.

Konstrukční schéma rubínového laseru je na obr. 316. Laserová tyčka (rubín, neodymové sklo) je uložena v dřevcích, které jsou duté, aby světlo prošlo až k odrazečům a zpět do seřizovacích okének, jímž vystupuje do optické části fokusacího zařízení. Impulsní čerpadlo lampy je ve druhé fokále odrážecího eliptického válce. Těleso laseru je opatřeno hrdly, kterými protéká destilovaná chladicí voda. Po výstupu z okének jsou paprsky světla paralelní, proto je můžeme vést na značnou vzdálenost k optické části technologického zařízení.

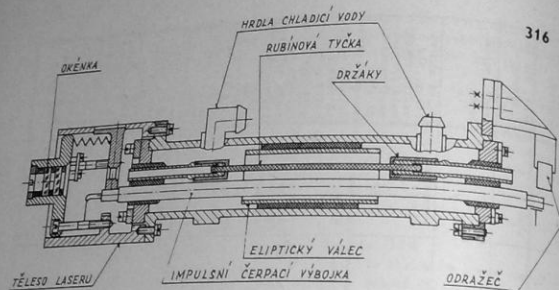
Typ laseru vlnová délka μm	Způsob čerpání	Výkon	Maximální energie Joule/puls	Trvání pulsu	Účinnost	Materiál čoček	Výbojka a výbojový lázeň	
							Levný, ale má lé výkony	Dráhý, napě- nouj
He-Ne plynový 0,63	Vysokofrekven- ční elektrické pole	1 až 100 W	-	∞	$\approx 1\%$	sklo		
Argon plynový 0,43	Elektrický vý- boj, event. přesně nastavené ní pole	1 až 10 W	-	∞	$\approx 1\%$	sklo		
CO ₂ -Ne-He plynový 10,6	Elektrický výboj, napájen vys. napětím	10 až 200 W	-	∞	15 %	Germanium, Křemík		Velká vlnová délka, ale dobře se má pro- pustit, má málo propa- stí, normální- ní zářivý
Neodymové sklo 1,06	Optický, zenon- ový výboj, ku- pulsy cca 40 ps	10 až 100 kW	1250	0,1 - 1 ms	$\approx 6\%$	Sklo		Sklo se ohřívá na chladí, velké pro- vedy, velká Křemík
Rubín 0,69	Optický, zenon- ový výboj, ku- pulsy cca 40 ps	100 až 1000 kW	300	1 - 5 ms	1 - 10 %	Rospylka - Společka - sklo		Dobře chladí- dobře chladí- telný, vysoká výbojka, má pulsy
N ₂ (dusíkový) 0,133	Elektrický vý- boj, vysokým napětím	50 kW	10 ⁻³	0,02 ms	1 %	Křemík		Má vlnová délka, vhodná pro mikrotech- niku
Rubínový s olověným zrcadlem 0,694	Optický, zenon- ový výboj, ku- pulsy cca 40 ps	≈ 100 MW	0,1 - 10	10 - 50 ns	$\approx 1\%$	Rospylka-safir Společka - sklo		Levný, velký výkon, vhodný pro mikrotech- niku
Rubínový s kerro- vým zrcadlem 0,694	Optický, zenon- ový výboj, ku- pulsy cca 40 ps	≈ 1000 MW	0,1 - 30	5 - 50 ns	$\approx 1\%$	Rospylka-safir Společka - sklo		Dráhý, ale at- traktivní, má málo propa- stí, málo zářivý
Neodymové sklo s olověným zrcadlem 1,06	Optický, zenon- ový výboj, ku- pulsy cca 40 ps	≈ 2000 MW	45	30 ns	1 %	Rospylka-safir Společka - sklo		Velká vlnová délka, vhodná pro mikrotech- niku

Plynové pracující
(kontinuální)

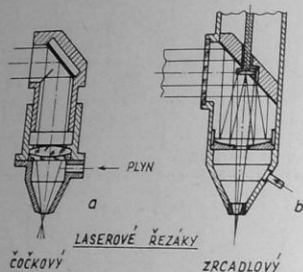
Pulsní

(Q-switch-laser)

S obtížným pulsním



316



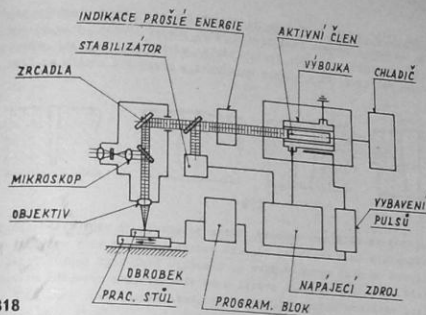
317

ji obr. 317. Obr. 317 a je řezák čočkový, obr. 317 b zrcadlový. Kromě ochrany optických členů plní plyn ještě úlohu technologickou, zabráňuje oxidování (hoření) materiálu, např. dusík nebo argon, oxid uhlíčitý apod. V výkonných lasech (přes 3 kW) v jiných odvětvích průmyslu se fokusační zrcadla dělají kovová.

Jasně technologické lasery pro mikrosvařování nebo mikrořezání mívají ještě další optiku, zaměřující přesně místo opracování. Jsou to v podstatě mikroskopy, využívající fokusační laserový objektiv k pozorování, obr. 318.

Pro vyřezávání složitých tvarů - kruhových, přímkových, křivkových, má podávací zařízení stolu buď mechanická, šablonová, kružidlová apod., vedení, nebo je systém řízen počítačem.

Mezi lasery vysokých výkonů (až 10 kW) se prosazují plynové - molekulární lasery CO_2 , buzené vysokým napětím. Tyto lasery vyzařují několik výrazných spektrálních čar v infračervené oblasti, mezi 9,6 až 11,4 μm s nejintenzivnější



318

spektrální čarou 10,6 μm . Podle způsobu buzení mohou pracovat v kontinuálním režimu, nebo pulsně v širokém rozsahu délky pulsu a frekvencí.

Aktivní náplň CO_2 má délku do 1 m. Delší trubice mají buzení rozděleno na několik sekcí, aby čerpací elektrické napětí nebylo příliš vysoké.

V technologii jemné mechaniky se používají kontinuální lasery hlavně pro řezání materiálu (plechů, pláště, plastů, nádky i skel). Řezání je výhodné zejména při požadavcích křivých a složitých řezů. Je-li materiál tenký (do 2 mm) vychází tenký i řez, 0,1 až 0,25 mm. Bez obtíží se řezou i kalené součásti, slitinové karbidy apod. Významnou dlouhou hranou hraje velikost numerické apertury objektivu a jeho ohnisková vzdálenost, dále je důležité správné seostření na povrch řezaného materiálu, nebo mělce pod jeho droven. Tato vzdálenost musí být udržována na stále hodnotě. Je-li materiál rovný, vedením objektivu, nebo upínacího stolu, je-li srovnávaný, používají se vodičové dotyky nebo kladičky.

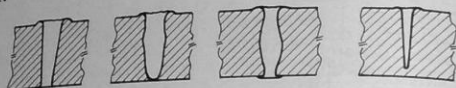
Rostavěný a odpařený materiál se musí z prostoru řezání vyfukovat stlačeným plynem.

Svařovací (mikrosvařovací) operace se provádějí lasery pulsními. U nich můžeme energii pulsu přesně kvantovat tak, aby právě stačila místo svařu protivit, nikoliv však kov odpařit.

Kvantování energie se docílí už čerpacím zdrojem, nebo cloněním svařku, hustota energie se přizpůsobuje též fokusační optické soustavě. Je-li svar dlouhý, je důležité sehnat frekvenci pulsu a posunout.

Mezi nejdůležitější laserové operace patří vrtání dř. Vrtat můžeme všechny materiály, počínaje diamantem, borazonem, rubínem, slitinami karbidy, kde jsme dříve uspěli jen probrušováním drátek s diamantovými prachem. Dře není od laseru příliš přesné, ale vyvrtá se o 2 až 3 řády rychleji než diamantovou technologií a její přesné dohotovení jde mnohem rychleji. Např. rubínový hodinový kámen se mechanicky vrtá 3 až 5 minut, laserem jen několika pulsy za zlomek sekundy. Kameny se pak již hromadně navléknou na drát a dře přesně probrousí (grandírují) diamantovou suspenzí.

Umístění díry, svaru nebo řezu je vylepšení polohování svazku a souřadnice nebo stoku. Lasery s pevnou fází dávají velmi přesný svazek, jeho poloha je zajištěna již přesností výbrusu. Poloha stoku závisí na přesnosti jeho vedení a ozařovacího zařízení. Díry můžeme umísťovat s přesností setiny mm nebo i přesněji.



319

Tvar díry požadujeme většinou válcový. Tento požadavek je však těžko splnitelný. Na povrchu materiálu se v důsledku tepelné vodivosti téměř vždy vytvoří val (kráter) a teprve od něho proniká díra do hloubky. Rozložení teplot podél osy díry je závislé na poloze ohniska svazku a na vlastnostech vrtaného materiálu. Proto díry jsou většinou kuželovité, nebo dvojkuželovité, viz. obr. 319.

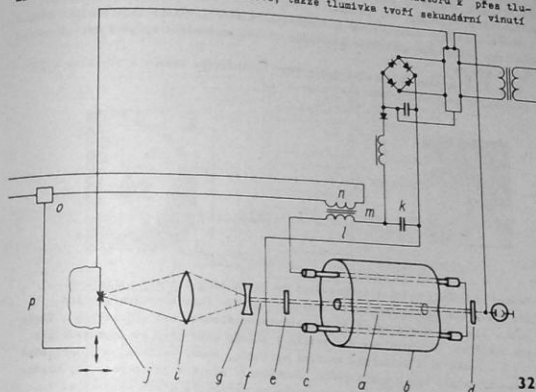
Je-li díra hluboká, zůstává její spodní konec přivřený. Tomu se dá od pomoci některým ze způsobů podle obr. 320. V obr. 320 a se svazek, prošlý již dírou fokusuje zpět kovovým zrcadlem. U malých děr musí zrcadlo být dobře vycentrováno. Podle obr. 320 b se lem, sice roztažený, ale neodpařený vsaje do evakuovaného prostoru.

Uspořádání laserového zařízení s rubínovým nebo skleněným aktivním členem k obrábění účelům ukazuje schéma na obr. 321.

Laserní tyčka *a* je uvnitř zrcadla *b* ozařována výbojkami *c*. Tyčka nebo i trubička spočívá mezi dvěma zrcadly soustavami *d* a přičemž je asi z 20 % propustný pro vlnovou délku laseru. Účinnost laseru se dá propustností a poněkud ovlivňovat. Záření, prošlé

zrcadlem e ve směru *f* je téměř paralelní. Svazek dopadá na rozptylku *g*, která jej roztáhne do kužele. Tím se hustota energie zmenší natolik, že se jako spojný člen dá zařadit běžný anastigmat, který soustředí svazek do místa *j* opracovávané součásti. Rozptylka se dělá z opticky orientovaného safríru nebo křemene, protože

obvyklé čtvercové sklo nesnáší tak vysokou koncentraci záření a zvětšíť rubínový laser by sklo brzy rozrušil. Výbojky *c* se napájejí z kondenzátoru *k* přes clonku *l*. Zežehnutí je většinou sériové, takže tlumivka tvoří sekundární vinutí



321

transformátoru *m*, primární vinutí *n* je zapojeno spínačem *o*, spojeným mechanicky s *j* přes člen *p*. Spínačem *o* se vytvoří impulz ve vinutí *l* napájeném z kondenzátoru *k*. Tím napětí na výbojce stoupne ze statického cca 2000 V na 15 000 V, přičemž dojde k intenzivnímu výboji v *c*.

Převážná část energie z kondenzátoru se přemění ve teplo a jen nepatrná část je využita jako laserové záření (viz. tabulka, účinnost asi 0,3 %).

Protože přiváděná energie je velká, je při trvalém provozu nutná intenzivní chlazení. Obvykle je výbojka i laserová tyčka vložena do dutého válce, kterým protéká voda. (Např. u laserů s 10 pulsy/s a přiklonem výbojky 400 W na pulsu je střední výkon 4000 W. Při průtoku 0,1 l za sekundu se voda ohřeje o 10°C. Pro takový již výkonný přístroj je potřeba průtok 6 l za minutu).

Chlazení rubínových laserů plyny nevedlo při požadovaných výkonech k úspěchu, sčlovil byly zkoušeny vzduch, dusík i další plyny. Kromě jiného je překážkou udržení čistoty povrchu tyčky. Zkondenzují-li např. na povrchu tyčky kapky oleje, jsou při nejbližším výboji spáleny a zuhelnatí. Tím zmenší pohltivost povrchu a tyčka, ať jde o rubín nebo sklo, praskne v důsledku tepelných namáhání. Tyto potíže odpadají při chlazení vodou, k němuž se všeobecně přelá, buď destilovanou s oběhem, nebo vodou filtrovanou z vodovodu. To má výhodu téměř konstantní teploty.

Neodymové lasery pracují s větší účinností, až 6 % proti 0,3 % rubínových. Pro stejný výkon však musí být mnohem větší. Malý rubín se snáze chladí a proto snáší velkou frekvenci pulsu.

Přesto, že účinnost laseru je velmi malá, jsou mnohé práce s ním rentabilní.

U výkonných laserů je jedním z největších problémů životnost výbojek. Jsou drahé a vydrží maximálně asi 2×10^5 výbojů. Z ceny záblesku tvoří podstatnou část spotřeby výbojky, asi 98 %.

Na obr. 322 je ukázka laserem navrtaného diamantu, který bude sloužit jako průvlek pro tažení drátů. Průměr konického vývrtu na konci díry je 8 μm , délka vývrtu je 600 μm .

Obr. 323 ukazuje fotografii rubínového hodinového kamene o tloušťce 0,35 mm, vyvrtaného laserem. Průměr otvoru je 80 μm .

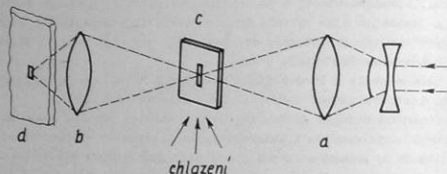


322



323

Lasery poskytují možnost opracovávat do jisté míry i tvary nekruhové, jestliže vytvoříme napřed fokusem dýsky nebo dýskou (mezizobrazení) podle obr. 324, kde objektiv *a* má větší ohniskovou vzdálenost než objektiv *b*. Vložená masice *c* odřízne okrajové paprsky svazku a slouží jako předmět zobrazení pro objektiv *b*. Masice je z materiálu tepelně odolného, např. wolframu a je případně chlazená, aby nebyla tolik rozrušována. Zmenšení v místě *d* je takové, aby hustota energie na masce byla 0,1 až 0,01 hustoty na obráběném místě materiálu.



324

VYUŽITÍ ELEKTRONOVÉHO SVAZKU

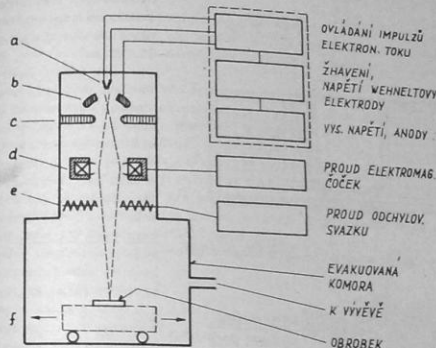
Při některých aplikacích jde v podstatě o využití elektronového děla, známého z televizní obrazovky. Použitím koncentrovaného elektronového svazku v technologii se ubírá následujícími směry:

1. Ke svařování těžko tavitelných materiálů, nebo k dodržení teploty citlivých materiálů jako wolframu, titanu, zirkonu a jiných.
2. Ke svařování již opracovaných jemných součástí, které se nescházejí deformovat.
3. K řezání, vrtání nebo odebrání malých množství materiálu na přesné úře-

ném místě.

4. K odpařování materiálu při vytváření tenkých vrstev.

Možnost použít soustředěný elektronový svazek k obrábění je známa už od roku 1900. Efektivní rozšíření této metody nastává ale teprve a rozvojem elektronové optiky a vakuové techniky. Princip zařízení je na obr. 325.



325

Proud elektronů je emitován ze žhavé katody *a*, a urychlován směrem k anodě, která je usměrněna. Napětí mezi katodou a anodou je kolem 150 kV. Mezi katodou a anodou *c* je umístěna tzv. Wehneltova elektroda *b*, která řídí tok elektronů tím, že do- stává větší nebo menší záporné předpětí. Tvarem a polohou těchto elektrod se do- cílí, že proud elektronů je zformován do svazku, který prolétne otvorem v anodě *c*. Sblíženost svazku a jeho soustředění na obrobek obstarává elektromagnetická čočka *d*, obr. 326. Plošný výkon v ohnisku svazku dosahuje hodnot 10^2 W/cm^2 . Při anodovém napětí 150 kV nabývají elektrony rychlosti rovné asi $2/3$ rychlosti světla.

Energie letících elektronů se odevzdává nepetrnou plošce v ohnisku a elektro- ny pronikají do hloubky několika setin mm. Dopad elektronů vyvolá silné zahřátí, které má charakter lokální exploze, takže se sasažený materiál rychle odpaří.

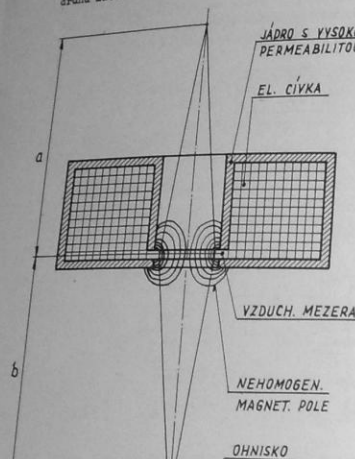
Např. při 100 kV napětí a příkonu 10^3 W/cm^2 vyvolá dopad svazku na wolfram zahřátí na 4000°C během 10^{-8} s a odpaření vrstvičky 8 μm tlusté.

Odpaření horní vrstvičky se stanou elektronovému svazku přístupné vnitřní části materiálu a během několika desetin μs se vyvrátí kanál. Podle druhu materi-álu, jeho tepelné vodivosti a tavitelnosti se postupně vedením tepla materiál tavi, přičemž kanál sáh, díky tlaku par, které v něm působí, zůstává otevřený.

Relativním pohybem elektronového svazku a materiálu se dá docílit různého podílu vznikající taveniny a odpařeného množství a tím proces řídit jako řezný nebo svařovací.

Nechá-li se svazek působit na určité místo jen krátce, uplatní se rozsvědění

teple nepatrné a podíl rostavěného materiálu k oprařenému je nepatrný. Podla druhu materiálu se pracuje a pulsy nákolika μs .



326

někola milimetrů natolik rozptýlují, že pro jemnější práce nelze docílit potřebnou koncentraci. Při dnešních výkonných vývěřách nežiní získání vakua potíže.

Obrábění elektronovým svazkem má řadu výhod. Je to především skutečnost, že může být použito k oprařování všech materiálů jako kovů, plastických hmot, keramik, skla, krystalů, tvrdokovů aj. Veliká přizpůsobivost vlastností svazků, tj. velikost urychlovacího napětí a proudu dávají možnost uspořádat jej rozličným vlastnostem obráběných materiálů jako tavění a odporne teplotě, tepelné vodivosti, specifickému teplu, tloušťce materiálu apod.

Další výhodou je snadná ovladatelnost fokuse svazku co do velikosti průřezu svazku v ohniaku i do polohy ohniaku. Vychylování svazku v malých mezích lze provádět elektricky, takže se snadno programuje pomocí počítače.

S ohledem na vysokou koncentraci energie se pro většinu prací vyjde s velmi krátkými časy. Pro výběr materiálu v množstvích nákolika set mg/s se pracovní čas pohybuje kolem nákolika μs . Při svařování se docílí rychlosti 50m/min i více.

Krátkost ohřevu působí příznivě tím, že v okolí místa oprařování je struktura materiálu minimálně ovlivněna. Při vrátání děr do plechů je např. okolní ovliv-

Řada vrátacích operací se dá provádět jedním pulsem, nebo nákolika pulsy s vhodným časovým odstupem.

Průměr elektronového svazku se pohybuje v rozmezí nákolika desetín μm až asi do 100 μm .

Při řezání nebo oprařování na větší ploše se musí obrobek vůči svazku pohybovat. Je-li pohyb v rozmezí nákolika milimetrů, dělá se to s výhodou odchyllováním svazku jako u obrazovky. Za tím účelem je pod žořkovou soustavou ještě upraveno vychylovací zařízení s, které může pracovat ve dvou směrech na sebe kolmých a tím vytvářet různé křivky.

Při pracích s větší rozsahem je nutný mechanický pohyb stolu f s předřetem.

Podle zkušeností získaných při obrábění elektronovým svazkem je nutné pracovat při vakuu cca 10^{-4} až 10^{-5} Pa. Ve vzduchu se elektrony velmi urychlené průchodem vrstvou o tloušťce

nění tak malé, že se často nedá vůbec prokázat. Při svařování bývá ovlivněná svazku i pro obrábění již hotových součástí.

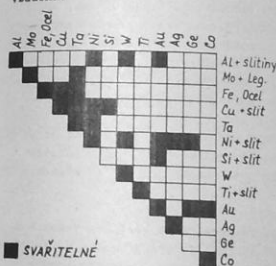
Svazek je ideální nástroj, který nepodléhá opotřebení. Během práce se elektricky konstantní. Mění se jen nepatrně opotřebení katody, které se občas vyměňuje (po více než 10 hodinách).

Materiál není ve vakuu ovlivněn žádným prostředím, se kterým by mohl ve ly jinek potřebovat, např. ve formě inertních plynů (svařování hliníku, titanu, mikrotermočlánků).

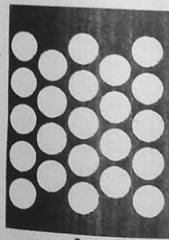
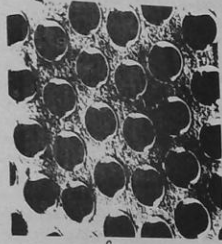
Značné využití nachází svařování zejména v mikroelektronice, technologii polovodičů, vrátání ve všech materiálech se běžně dělá do poměru 1/4 = 10 : 1 (např. v svařovacích kamenech, křemeni, tvrdokovech atd.).

Výkonným elektronovým dělem (nákolik desítek kW) lze řezat nebo svařovat ocelové desky do tloušťky cca 100 mm. Při svařování se desky hrubě vyřezávají a přiloží k sobě. Elektronový svazek se musí namířit a vysokou přesností do spéry a být s ním paralelní. Těž podávání svařenců pod svazek musí být velmi přesné. Tavenina se kapilárními silami zatáhne do spéry, takže na konci svařu zbyde jen malé proláklina (deficit materiálu).

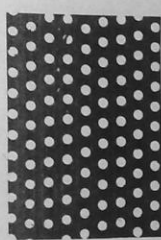
Hrubší plechy cca do tloušťky 5 mm se dají při silném zdroji svařovat i ve vzduchu.



327

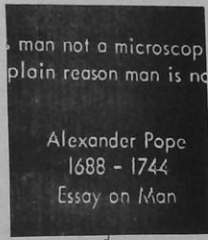


a



b

328



c

man not a microscop
plain reason man is no

Alexander Pope
1688 - 1744
Essay on Man

Na obr. 327 jsou černými poličky vyznačeny kovy, které se elektronovým svazkem dobře svařují.

Významná je technologie vrtání malých děr. Běžně se vrtají válcové díry s poměrem $L/d = 10$, aniž by byla patrná kuželovitost. Drsnost povrchu děr není horší u středních rozměrů než $10 \mu\text{m}$, čas k provrtání se řídí velikostí děr a materiálem. Několik ukázek je na obr. 328a, b, c, d.

- a) Vysokointenzitní elektronový svazek, nerezavějící ocel tloušťky $1,5 \text{ mm}$, ϕ děr $1,0 \text{ mm}$, čas vrtání všech děr 15 s .
- b) Tantalová fólie tloušťky $0,05 \text{ mm}$, ϕ děr $35 \mu\text{m}$, hustota děr $16\,000/\text{cm}^2$, doba vrtání jedné díry $10 \mu\text{s}$.
- c) Materiál Nimonic 90, tloušťka $0,4 \text{ mm}$, ϕ děr $120 \mu\text{m}$, počet děr $2000/\text{cm}^2$, doba provrtání jedné díry $45 \mu\text{s}$.
- d) Nápis v křemíkové destičce, šířka čar je $0,2 \mu\text{m}$.

Elektronovým svazkem se vytvářejí submikronové drážky (struktury) v povrchu kovu, skel, polovodičů i jiných materiálů. To má význam např. u elektronových litografů v mikroelektronice, optice, při zhotovování spektrálních mřížek apod.

Nanášení tenkých vrstev.

Způsoby nanášení tenkých vrstev v optice, elektrotechnice atd., spočívají na principech fyzikálních, chemických, tepelných, nebo elektrochemických. Na plochy se nanášejí vrstvy kovové nebo nekovové v rozsahu tloušťek 10^{-9} až 10^{-6} m , ale i tlustší. Účel nanášení je funkční (zrcadlo, antireflexní vrstvy) nebo dekorativní (např. bižuterie), antikorozivní (niklování, chromování, zlcení apod.).

V optice jde nejčastěji o odrazivost (hliník, stříbro, zlato) o dělení svazku (polopropustné vrstvy, např. zlato), o zmenšení odrazivosti ploch objektivů a filtrů, nebo o zvětšení odrazivosti zrcadel (antireflexní vrstvy fluoritové, apod.).

V ultrazvukové technice pokoujíme křemenné výbrusy, aby na ně bylo možno přivádět elektrické náboje, rovněž tak u krystalů oscilačních v radiotechnice nebo u křemenných hodin. Zde se zmíníme o principech nanášení tenkých vrstev:

- a) napařování vakuu
- b) naprašování vakuu (ve zředěných plynech).

Napařování vakuu. Při tomto procesu je napařovaný materiál vakuu roztaven na teplotu, při které se vypařuje, nebo sublimuje, přičemž vzniká dostatečný tlak par. Molekuly nebo atomy odpařeného materiálu se šíří ve vakuu od zdroje všemi směry a kondenzují na chladných zasažených plochách.

Podmínkou pevného přilnutí vrstvy je čistota napařovaných ploch. Důležitým faktorem je dokonalost evakuace prostoru recipientu. Rozlišujeme:

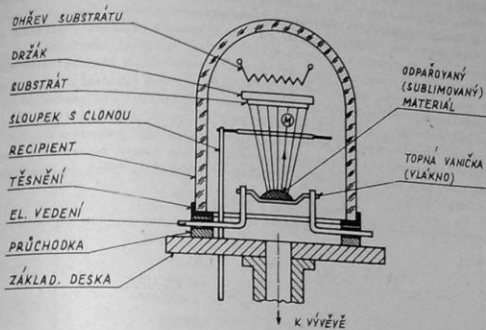
- napařování vakuu do $p = 10^{-1} \text{ Pa}$
- ve vysokém vakuu, $p = 10^{-2}$ až 10^{-4} Pa
- v ultravakuu $p = 10^{-5} \text{ Pa}$.

Napařovací aparatura je schematicky na obr. 329. Přibližně k ní ještě podle požadované výšky vakuu souprava vývěv, rotační, difúzní, nebo turbomolekulární.

Na základní desce je těleso s průchodkami pro elektrický proud, žhavič a pro vysoké napětí u aparatur, kde se dočištění substrátu provádí doutnavým výbojem (iontovým zářením).

Na tělese je vakuumě těsnění zvonu (recipientu). Odpařovaný materiál se dává na topné tělísko, buď wolframovou nebo safírovou vaničku, nebo též na tlusté

topné wolframové vlákno jde-li např. o napařování hliníku. Napařovaný substrát (např. zrcátko) je položen na držák (kalotu) zrcadlovou stranou ke zdroji par.



329

Zahřátím se odpařovaný materiál přivede do tekutého stavu a dále do varu, při němž vznikají páry. Podle materiálu jsou nutné odpařovací teploty $1000 - 1800^\circ\text{C}$. Vytápění může být ohmickými odporem, svazkem elektronů, laserem, nebo indukčním ohřevem. Výškou teploty a průběhem odpařování se řídí rychlost napařovacího procesu.

Tloušťka napařované vrstvy se v jednoduchých případech dá spočítat, neboť předpokládáme, že se atomy šíří přímočaře a tedy se množství založeného materiálu rozprostře rovnoměrně na povrch koule, která má poloměr rovný střední vzdálenosti zdroje od substrátu. (Jde-li o odpařování z vlákna).

Kvůli přilnavosti nebo jiným vlastnostem vrstev (téměř monokrystalových) je někdy potřeba substrát zahřívát. K tomu slouží zvláštní topné tělísko.

Jak je vidět z obrázku, nemůže při relativně rozlehlejších substrátech být tloušťka vrstvy rovnoměrná, u kraje bude tenčí. Proto při vysokých požadavcích musí být substrát daleko od zdroje, nebo je zdrojů více, vhodně rozmístěných. Požadavek lze nejlépe splnit u dutých zrcadel, je-li zdroj v jejich středu křivosti. Zvlášť náročná je výroba interferenčních filtrů.

Čím vyššího vakuu docílíme, tím delší je volná dráha molekul odpařované látky, menší ztráty rozptylem na molekulách vzduchu a lepší kompaktnost i čistota vrstev. Vrstvy hliníkových zrcadel se musí dělat tlustší, protože vpuštěním vzduchu povrchová vrstva hliníku oxiduje na Al_2O_3 (leukosafír), který je šedý, průhledný. Prooxidování vrstvy znamená její spráhlivění. K tomu dochází po čase u tenkých vrstev, zrcadlo "alepne".

Stříbrné vrstvy naproti tomu jsou podrobeny silným sloučením z ovzduší. Proto se nejnáročnější hliníková a stříbrná zrcadla vakuumě nanášejí monoxidem křemíku SiO_2 , který se pak ve vzduchu dokyslí na SiO_2 , výborně propustný

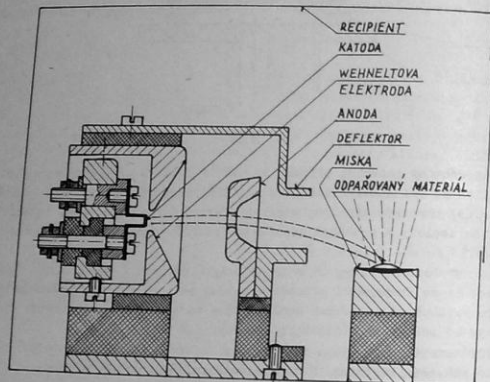
ve viditelné oblasti spektra a značně odolný i proti mechanickému otěru.

Napařovací aparatury v průmyslu jsou tedy složité, mají několik vypařovacích míst, čistění iontový výboj, vysokovakuumové vývěvy, kontrolu tloušťek vrstev pomocí změny frekvence krystalů, na něž se současně napařuje, složité ukládací kaloty, kontroly žhavení nebo odpařování, vysokovakuumové těsnění atd.

Některé materiály (většina plastů) se nedají vakuově napařovat, protože se z nich uvolňují stále plyny a sebedokonalejší vývěva recipient nemůže vyčerpávat.

Velké napařovací aparatury mají zvony kovové (náročné na těsnost svařování), opatřené jen průhledovými okénky. Za je třeba chránit před napařením, aby se nestala neprůhlednými. Některé vrstvy, např. chrom jsou obtížně odstranitelné.

Jsou též aparatury, u kterých se odpařování materiálu děje zahřátím elektronovým svazkem. Aby ale odpařené atomy nepronikaly na katodu, Wehneltovu elektrodu, do čočkové soustavy atd., není svazek elektronů tak bodově fokusovaný. Projeďte otvoru v anodě a záporným napětím deflektoru se ohybá do místa napařovaného materiálu, obr. 330.



330

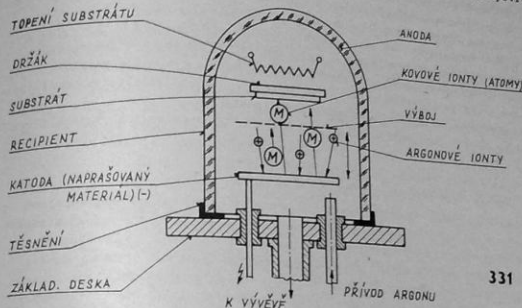
Katodové napařování tenkých vrstev. Při katodovém napařování ozařujeme (bombardujeme) namášený materiál těžkými kationty s vysokou energií. Kromě těchto kationtů má být prostor co nejlépe evakuovaný.

Rozprašovaný materiál (terč, target) je zapojen jako katoda, anodu tvoří recipient aparatury, nebo jeho část, obr. 331. Napětí mezi katodou a anodou je několik kV. Jako ionizovaný plyn se používá nejčastěji argon. Jeho tlak je 10^{-1} až 1 Pa.

Po evakuaci recipientu se do něj vpouští argon a to tak, že musí být vakuum (medokonsalé) udržováno právě na této hodnotě.

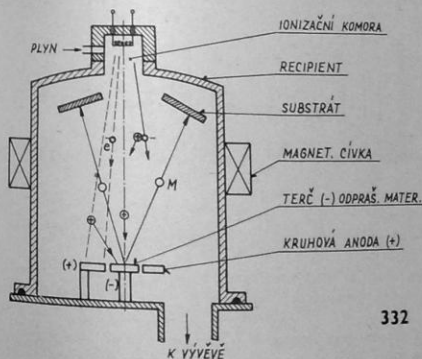
Proces probíhá tak, že elektrony jsou emitovány z terče (katody) a vysokým napětím urychlovány ve směru anody. Přitom se z neutrálních atomů argonu vyrábě-

jí elektrony, které rovněž letí k anodě. Vzniklé argonové kationty jsou přitahovány katodou, kterou bombardují vysokou energií. Částičky pronikají pod povrch



331

katody, částečně z povrchu vyrábějí atomy terče. Tyto atomy nabývají rovněž velkých rychlostí, takže část z nich doletí až k napařovanému substrátu. Část atomů je ale zbrzděna, nebo rozptýlena v doutnavém argonovém výboji, takže napařovanou podložku dosáhne jen 1 až 10 % rozprášeného materiálu. Proto se tento "díodový" systém nahrazuje složitějším, ale účinnějším zařízením "triódovým" podle obr. 332.



332

Recipient je evakuován vysokovakuumovou vývěvou se zpozd. zvonu. V horní části je ionizační komůrka se žhaveným vláknem. Do této komůrky se vpouští přesně regulované množství argonu, takže tlak nestoupne nad 10^{-1} Pa. Elektrony emitované ze žhavené katody proudí směrem dolů a procházejí magnetickým polem, které je vytvořeno vinutím okolo válcové části zvonu. Toto pole elektrony soustřeďuje, takže jsou usměrnovány na kružkovou anodu, obepínající terč (katodu). Proud elektronů vytváří kužel ke kružkové katodě, ionizuje argon a jeho kladné ionty ostřelují mate-

riální povrch katody, ionizuje argon a jeho kladné ionty ostřelují mate-

rádí teče, zapojený na záporné napětí 0,5 až 2 kV. Terč má být složen z několika různých materiálů. Atomy z něj vyražené prolétají opět k substrátu, rozložení v horní části vzduchu.

Terč se dopadne iontů při velkých výkonech značně zahřívá. Nemá se ale na povrchu otavit, nýbrž zůstat v pevné fázi. Proto se někdy chladí.

Katodové naprašování má oproti naprašování některé výhody:

1. Proces proudění elektronů a tím i iontů lze přesně dávkovat a časově řídit (je zde nepatrná setrvačnost). Proto jsou vrstvy lépe reprodukovatelné.
2. Dají se vytvářet legované vrstvy, bez ohledu na tavící teploty komponent terče. (Při odpovídání se složky slitiny odpovídají nestejně).
3. Mohou se ukládat ochranné oxidační vrstvy, tím že se přivádí s argonem i kyslík.

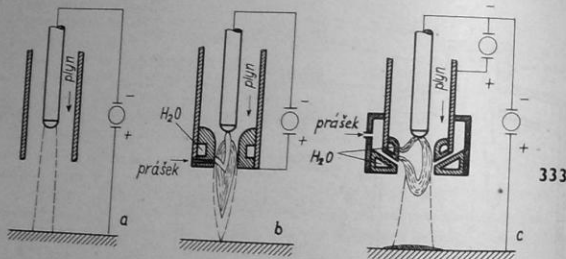
VYUŽITÍ PLAZMATU

Plazma bývá označováno jako čtvrté skupenství hmoty (po pevném, kapalném a plynném). Je to směs neutrálních atomů, iontů a elektronů. Při vysokých teplotách se z neutrálních atomů odtrhávají elektrony a tím se proud plynné ionizuje. Ionty i elektrony jsou nositeli elektrických nábojů, proto je plazma vodivá.

Kdyby byly všechny elektrony od atomů odtrhány, dosáhlo by se plně ionizovaného stavu plazmatu, ve kterém by se pohybovala jen atomová jádra a volné elektrony. Takový stav existuje při teplotách mnoha milionů K. V laboratorních a provozních podmínkách se docílí jen částečné ionizace plynů a teplot asi do 50 000 K.

Plazmové hořáky.

1. Nejjednodušší hořák se skládá z katody, nejčastěji wolframové (tepelně i mechanicky odolné), kolem níž je nasazena měděná tryska - trubka elektricky izolovaná. Tryskou se okolo elektrody fouká příslušný plyn. Anodu tvoří součást, na kterou je připojen kladný pól zdroje elektrické energie, obr. 333.



Takový hořák je přímý, proud prochází mezi katodou a obrobkem - anodou. V tomto případě jde o hořák svařovací, nebo řezací. Elektrický proud se dodává z usměrňovače.

2. U nepřímých hořáků prochází plazma mezi katodou a tryskou zapojenou jako anoda, která je chlazená vodou, obr. 333 b. Protože je rychlým prouděním uměněno z prostoru mezi elektrodami, zasahuje ven z hořáku na opracovávaný povrch. V nazečeném případě jde o hořák šopovací (do ústí se přivádí jemný kovový prášek, který se roztaví a chráněn inertním plynem, např. argonem se nastříká

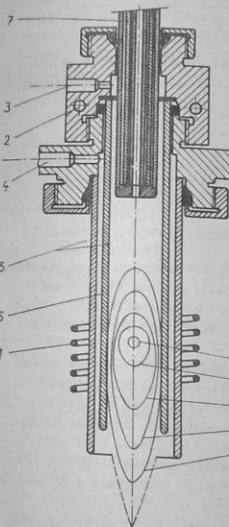
na povrch součásti).

3. Kombinované hořáky, obr. 333 c mají dvě obvodové. Pomocný, mezi katodou a tryskou jako anodou, chlazenou vodou, a hlavní, mezi katodou a hlavní anodou - obrobkem. Tento typ hořáku se používá ke svařování, při němž se svařovací plynem.

Protože proud plynného plazmatu je elektrickým vodičem, docílí se zvýšení teploty v hořáku zvyšováním elektrického proudu. Hořáky mívají výkony - 100 kW.

Ze normální teploty jsou plyny dobrými izolanty. Aby vznikl vodivý stav jiskra mezi elektrodami hořáku.

4. Na obr. 334 je odlišný typ plazmového hořáku, který nemá žádné elektrody. Vodivé pole se vytvoří jiskrou pomocného zapalovače, který nemá žádné elektrody.



vysokofrekvenčním poli induktoru 1. Na obrázku dále značí 2 chladicí vodní kanál, 3 přívod plazmového plynu, 4 přívod chladicího plynu, 5 křemenné trubky, 6 chladicí prostor plymový, 7 chladicí prostor vodní.

Tento hořák dává nepatrnou výstupní rychlost plazmatu, jeho izolatory jsou označeny v k na obrázku. S ohledem na malé proudění je hořák výhodný např. k pěstování krystalů s vysokou tavící teplotou. Protože je bez elektrod, je plazma chemicky čistá.

Jako plyn se používá u plazmových hořáků k řezání, šopování a svařování nejčastěji argonu, vodíku, dusíku a jejich směsí, k řezání rovněž vzduchem. Argon se snadno ionizuje, ke vzniku plazmatu stačí malé napětí. Dává velmi stabilní oblouk a je inertní. Proto i hořáky na jiné plyny se často zapalují argonem.

Pro vysoký tepelný obsah by byl nejvýhodnější vodík. Ten však vyžaduje vysoké napětí zapalovací i provozní a silně eroduje trysky. Proto se používá ve směsi s argonem (80 % Ar + 20 % H₂).

Pro srovnání jsou uvedeny následující tabulky teplot různých zdrojů.

Největšího použití dosáhly plazmové hořáky při řezání materiálů, zvláště těch, které nelze řezat autogenem, jako nerezavějící oceli, hliníku a jeho slitiny, mědi a její slitiny, ale i oceli. Využívá se tu velké hustoty energie a rychlého proudění plazmatu. Při řezání tenkých materiálů je jen nepatrný propal, protože řez je úzký. Lze dosáhnout průměru trysky 1 - 0,65 mm. V poslední době se využívá nepřímých hořáků pro plechy i pod 1 mm. Výhodně se dají řezat i svazky

plach, přičemž u nejmenších hořáků je spotřeba plynu cca 20 l/min a příkon asi 2 kW.

plyn	°C
svítivý vzduch	1 550
vodík + kyslík	2 900
acetylen + kyslík	3 100
kyan + kyslík ($C_2N_2 + O_2$)	4 600
uhlíkový oblouk ve vzduchu	4 000 - 10 000
uhlíkový oblouk v argonu	15 000 - 20 000
vysoкотlaké vodíkové plazma	50 000
vodíkové plazma	4 000 - 8 000
dusíkové plazma	7 500
argonové plazma	15 000
heliové plazma	20 000

V následující tabulce jsou uvedeny hustoty energie různých zdrojů tepla :

zdroj	nejmenší průřez cm^2	nejvyšší hustota energie W/cm^2
acetyleno-kyslíkový svařovací hořák	10^{-2}	$10^3 - 10^4$
oblouk	10^{-3}	$10^4 - 10^5$
plazma	10^{-3}	$10^5 - 10^6$
koncentrovaný elektronový svazek paprsků	10^{-7}	10^9

ELEKTROJISKROVÉ OBRÁBĚNÍ

Elektrojiskrové (elektroerozivní) obrábění patří mezi metody, které používají vyššího druhu energie, než je mechanická. Jde zejména o odběr tvrdých vodičových materiálů, často na místech, kde není přístup pro mechanický nástroj. Elektroerozivní přístroj je zdokonalené jiskřičko s vhodně voleným zdrojem a obvodem.

Na elektrodách přístroje se hromadí elektrická energie. Zvětšují-li se náboje, roste i napětí, až dojde k probití prostoru mezi elektrodami. Ten je vyplněn dielektrikem, plynným nebo kapalným. Probití dielektrika má za následek, že značná část náboje, reprezentovaná nahromaděnými elektrony proběhne od katody k anodě, na kterou dopadne sprška elektronů velikou rychlostí a na nepatrnou plošku. Energie letících elektronů je náhle zadržena nárazem na povrch anody a tím se vytvoří nejen vysoké lokální zahřátí (roztavení kovu), ale i dynamický výbuch se vznikem par.

Jiskra může proběhnout v plynném i kapalném prostředí, které má dostatečnou dielektrickou pevnost. Plyny, čistá voda, petrolej apod., obsahují za normálního stavu nepatrné množství iontů. Vzdůstá-li napětí mezi elektrodami, vytvoří se vysoký gradient elektrického pole, který dodá elektronům velké rychlosti. Letící elektrony ionizují dielektrikum. Z atomů vytržené elektrony letí rovněž k anodě s kationty vyvíjející radiační přitažlivost na ostatní letící elektrony. Tím se vytvářejí dále vodivé dráhy (kanály), kterými prolétají elektrony od katody k anodě. Funkce elektrických kanálů je podmiňována přítomností kladných iontů. Ionty ale nemohou trvale prodlévat v místě, kde působí silné elektrické pole.

Aby erozivní vývoj proběhl opravdu jako jiskra, musí předstímat elektrondy být ukončeno dříve, než přitažlivá síla elektrického pole je schopna způsobit např. probití iontů na katodu. Zrychlení iontů podléhá zákonu přitažlivosti stejné jako zrychlení elektronů. Poněvadž hmotnost iontů je mnohonásobně větší, zrychlují se proti elektronům tak pomalu, že při přitahování podmínkách je probití ukončeno dříve, než ionty nabudou nebezpečných rychlostí. Kdyby rychlosti iontů nabývaly takových hodnot, že by nárazy na katodu vyvolávaly zahřátí a její roztav, uvolňovalo se další množství elektronů a vytvořilo se přitahovací podmínky pro vznik elektrického oblouku. K tomuto stadiu nemají při přitahování dojít.

Pro představu uvedme, že při elektrodové napětí 300 V dojde k zanedbatelné rychlosti pohybu iontů po uplynutí asi 10^{-4} s, při nižším napětí později. Fyzikální rozdíly mezi jiskrou a obloukem uvádí tabulka :

Jiskra	Oblouk
Počáteční stádium výboje je charakterizováno elektronovou vodivostí dráhy. Probíhá se velmi vysokých gradientů elektrického pole.	Počáteční stádium elektrického výboje následující po probití pole je charakterizováno elektronovou i iontovou vodivostí dráhy.
Mikrový elektrický pochod, kratší než 10^{-4} s.	Trvá i při nízkých gradientech elektrického pole.
Oba konce volné jiskrové dráhy jsou přesně omezeny na určitá místa elektrod.	Ustálený proudový pochod delší než 10^{-4} s.
Vyznačuje se velikou proudovou hustotou $10^5 - 10^6$ A/mm ² .	Výboj se rozprostírá po zblížených plochách elektrod.
Vyznačuje se malým zahřátím elektrod (mimo lokální účinek).	Hustota proudu se pohybuje mezi $10^2 - 10^3$ A/mm ² .
Způsobuje silný ostrý zvukový náraz.	Vyvolává silné zahřátí elektrod. Způsobuje slabé syčení.
Vyvolává bombardování hlavně úbytek anody.	Přenos způsobuje hlavně úbytek katody.
Teplota vodivé dráhy jiskry je okolo 12×10^3 °C.	Teplota vodivé dráhy je okolo 3 500 °C.
Dává iontové spektrum.	Dává spektrum vyvolané neutrálními atomy.

Vypracování pochodu při použití plynného dielektrika je nejnáročnější. Z anody vzdálenější tekutý kov se usazuje částečně na katodě a porušuje její tvar, částečně ji při velkých pohybových energiích vytlačuje. Prostor se brzy zaplní zplodinami a nastane zkrat.

Proto se používá dielektrik tekutých. Cyklus je tu složitější v tom, že u organických kapalných dielektrik dochází při výbojích k různým chemickým reakcím, které vedou též k zahusťování dielektrika a ke snížení jeho elektrické pevnosti. Výboj neproběhne při ustáleném elektrickém poli. Gradient se mění, což ovlivní průběh výboje hlavně v jeho pozdější fázi. Pole je elektrodynamické.

Rozhodující význam má čistota dielektrika. Zpočátku, kdy tekutina není značně čistá je její dielektrická pevnost vysoká a pro vývin jiskry se musí elektrody přiblížit na nepatrnou vzdálenost (několik μm). V dalším průběhu jiskření

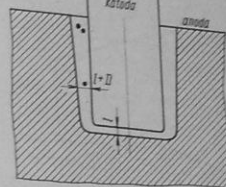
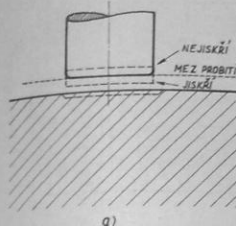
domáší k znečištění částicemi kovů eventuálně produkty rozkladu dielektrika. Kovové částice jsou vodivé a jako vodivé se mohou chovat i tyto produkty. Proto podstatný vývoj při znečištění dielektrika jsou již odlišné. Při vzrůstání intenzity elektrického pole se děvají do pohybu všechny elektrické částice a proudění elektrického pole k témuž nejvyššímu gradientu elektrického pole. Z nich se stí v nerovinné kapalině k témuž nejvyššímu gradientu elektrického pole. Z nich se stí v nerovinné kapalině k témuž nejvyššímu gradientu elektrického pole. Z nich se stí v nerovinné kapalině k témuž nejvyššímu gradientu elektrického pole.

1. Zabraňuje, aby se prostor mezi elektrodami zaplnoval prachem rozpadu elektrod, tím, že kapalina svým prouděním odvádí částice z prostoru výbojů.
2. Kapalina tlumí rychlost částic při výbuchu na anodě a brání tak jejich narážení na katodu. Stykem s kapalinou kov anody rychle chladne, což prospívá strukturní neporušenosti obrobku. Rychle chladnou také částice rostavého kovu, takže i v případě, že dostihnou nástroj se nespojují.
3. Kapaliny používané při obrábění mají vyšší dielektrickou pevnost než plyny. Na elektrodách může být nahromaděn větší náboj a proto je k dispozici větší kvantum energie.

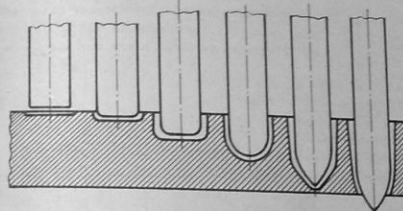
Jako kapaliny se používá deionizovaná voda, destilovaná voda, petroleje, různých druhů olejů, roztoku vodního skla nebo i vody a příměsí kaolinové součky. Trvá-li celý pochod probití kolem 10^{-4} s, je počáteční stadiu přípravy k probití ještě mnohem kratší. Odehraje se za 10^{-8} až 10^{-9} s. To je doba, která uplyne od dosažení určitého elektrického napětí, při kterém začíná vytváření elektrod z molekul tekutiny až do doby, kdy první elektrony překlenou dráhu mezi elektrodami. Elektrony mají prakticky volnou cestu. V kovech nelze docílit tak velkých proudových hustot proto, že pohybu elektronů brání pevná atomová síť, která je silně brzdí, i když pro menší počty elektronů je kov dobrým vodičem (ohmický odpor). Tak velkou proudovou hustotu nemůže kov pojmout a rozvádět. Následkem toho dojde k rozmetání místa dopadu a vytvoří se kráter přibližně ve tvaru kulové jamky. Současně se odpařuje i dielektrikum. Plyn vyvolávající další exploze, jímž jsou částice odhazovány od místa kráteru. Proto žádný kov nepodléhá žádnému jiskrovému erozi. U těch kovů, které mají velké povrchové napětí, dochází ke zblatění částic do tvaru kuliček. Jejich velikost ovlivňuje přesnost obrábění.

Časový případ je vrtání malých otvorů. Porovnáme stav průběhu vrtání podle obr. 335 a, b. Při počátku vrtání nastává vývoj mezi čelem katody a dnem anody. Jakmile otvor dosáhne určité hloubky, musí vymačkat částice obtékat katodu, aby se vyplavily z prostoru výbojů u dna. Vzdálenost elektrod ve směru díry označíme l . Dostane-li se kulička kovu o ϕ D do bočního prostoru, přehradí elektrické pole u obvodu a stane se, že v důsledku vyššího gradientu nastane výboj přes kuličku. K postření výbojům dochází často a je jimi samovolně řízena mezera mezi elektrodami, která má přibližně velikost $D + 1$. Z toho vyplývá, že přesnost obrábění je závislá na použitém napětí. Čím je nižší, tím dochází k probití při menší mezeře a tím současně k menšímu dávkování energie a menším kráterům, které dávají i menší kuličky. Často se nahromadí částic více a tu je patrné, že v horních částech otvoru dojde následkem nejdělnější časového sousedství s nástrojem k největšímu množství výbojů a tím vzniká kuželový otvor. V důsledku omílání se všechny hrany nástroje postupně zaoblují jak je vidět z obr. 336.

Zdroj napětí musí mít takové vlastnosti, aby pro probití jiskry nevypověděl. Její protažování trvajícími silnými elektrickými poli, ale aby jiskra byla časově ukončena a dielektrikum mohlo obnovit svoji pevnost. U zdrojů bez pulsního průběhu napětí má voltampérová charakteristika tvar podle obr. 337.



335



336

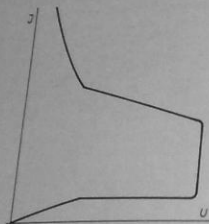
U těchto typů elektroerozivních zařízení dodává energii generátor stejnosměrného proudu. Sestavu tvoří zdroj, vedení a elektrody. Generátory se třídí podle výkonu a používá se asi do 0,5 kV elektronových usměrňovačů, do výkonu asi 4 kW usměrňovačů křemíkových a nad 4 kW rotačních generátorů. Pracovní cyklus lze vyjádřit rovnici:

$$T = t_h + t_v + t_p + t_o$$

T je celkový čas cyklu, t_h čas hromadění energie na elektrodách, t_v čas potřebný k vytvoření vodivé dráhy, t_p pracovní čas výboje, t_o čas obnovy dielektrika. Čas k deionizaci kapalin se udává kolem 10^{-5} s. Výsledný cyklus lze tedy uskutečnit za podmínky, že $t_h + t_o > 10^{-5}$ s. Z toho by vycházela pracovní frekvence 10^5 Hz. Tohoto maxima se nedosáhne v důsledku protažování jednotlivých etap v rovnici.

Pro elektrojiskrové obrábění se používá někdy jen napětí, které nepřevyšuje minimální napětí oblouku, kdy tedy oblouk nemůže vzniknout. Potom lze použít

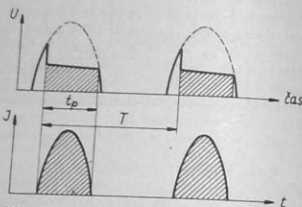
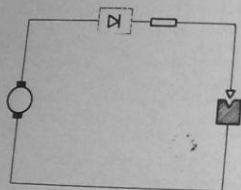
zdroje napětí, do kterého je zařazen pouze odpor. Takové zapojení vyžaduje ale tvrdý napájecí zdroj.



337

Schema podle obr. 337 se používá pro vyšší napětí. Paralelně je připojena baterie kondenzátorů. Tím se prodlouží čas hromadění energie a prostředí se stává obnovit.

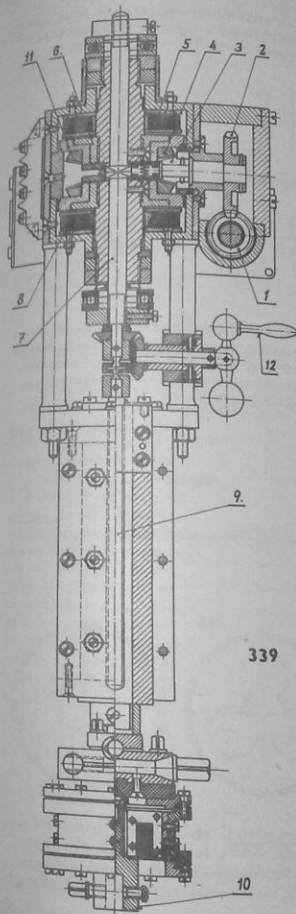
K napájení se používají též generátory pulání, kolektorové nebo beskolectorové, z nichž je proud veden přímo nebo přes usměrňovač na elektrody. Trvání a frekvence výbojů jsou zde řízeny. Frekvence je ovšem i zde závislá na dielektrické konstantě, obr. 338.



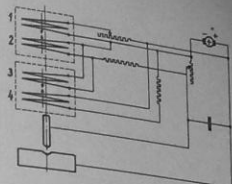
338

Na obr. 341 je znázorněn obvod, u kterého pulání napětí je řízeno elektronicky (transistory nebo tyristory). Vodič dráha jiskry (zapálení) se vytvoří vyšším napětím, které prudce poklesne a pak se po dobu přeskoku jiskry zdrží na téměř konstantní hodnotě. Tyto moderní generátory jsou výhodné tím, že nemají překmitovou napěťovou (i proudovou) půlvinu a proto zde nedochází k probití zpět do nástroje. Tím se tvar nástrojové elektrody dále zachovává.

Výdřákovací stroje jsou opatřeny sledovacím systémem, který zařídí přiblížení nástrojové elektrody, jakmile vzdálenost stoupne nad mez probití. Klasický systém pro nepulání napájecí obvod je na obr. 339.



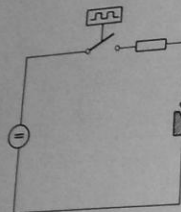
339



Šnek 1 pohání šnekové kolo 2, na jehož hřídeli je kuželové kolečko 3. To zabírá stále do dvou kuželových koleček 4, která jsou spojena s teliforální kotvíčkami 11. Prochází-li proud např. horním vinutím 5, je kotvíčka 11 těsně nad ním a opěť se svou třecí plochou o kroužek 6 spojený s hřídelem 7 a otáčí jej jedním směrem, přičemž hřídel přes spojku a šroub 9 posouvá nástrojovou hlavici 10. Přiblížení magnetu 8 se pohyb obrátí. Ruční klíčka 12 slouží k počátečnímu nastavení nástroje.

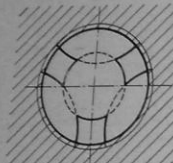
Elektrické zapojení podle obr. 340 pracuje takto: pokud jsou elektrody vzdáleny, nenastává výboj a v zatřáskacích odparech se neprojevuje pokles napětí. Při tomto stavu je kotvíčka přitlačena k hornímu kroužku a nástroj se pohybuje k materiálu. Jakmile se elektrody přiblíží, nastane výboj a tím dojde k poklesu napětí v zatřáskacích odparech. Ty jsou seřizovány tak, že nyní prochází proud vinutím 2 a 3. Dolní magnet se snaží přitáhnout kotvu, přičemž mu pomáhá demagnetizační vinutí 2. Při jisté hranici poklesu napětí nebude kotva

přitažována k základu vlnití a podávání se zastaví. Nastane-li ještě větší polárka napětí, převládne vliv působení dolní soustavy a kotva je přitažena dolů. Podávání se obrátí a elektroda je oddalována.



341

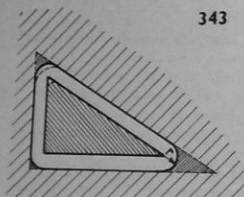
Elektrolytické obrábění má uplatnění i při jiných pracích, např. při odstranění zlomených nástrojů - vrtáků, závitníků apod. Použitím elektrolytického procesu lze závitník odstranit bez poškození součástky, nejčastěji vyjádřením celého jádra podle obr. 342. Zbytek závitníku se rospadne. Nařazený závit se nepoškodí a může být dořezán novým závitníkem.



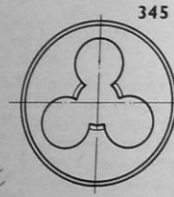
342



344



343



345

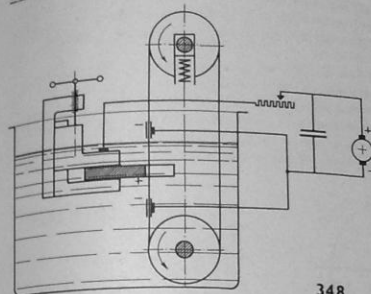


346

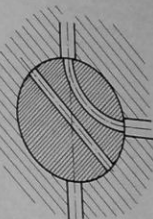
Jisté nedostatky se projevují v nástrojářství, kde je nutno zhotovovat profily s ostrými rohy. Tu je patrné podle obr. 343, že i v nejlepší případě, kdy nástrojová elektroda má ostrý roh, bude následkem mezery obrobek mít zaoblení o poloměru r . Omládní elektrody bude tento radius vzrůstat. Nejmenší zaob-

lení, které se dříve uskutečnilo, je $r = 0,05$ mm. Na obr. 344, 345, 346, 347 je namátkou ukázáno několik případů použití elektrolytického obrábění.

Schéma podle obr. 348 ukazuje použití metody pro řezání masivních součástí drátovou katodou.



348



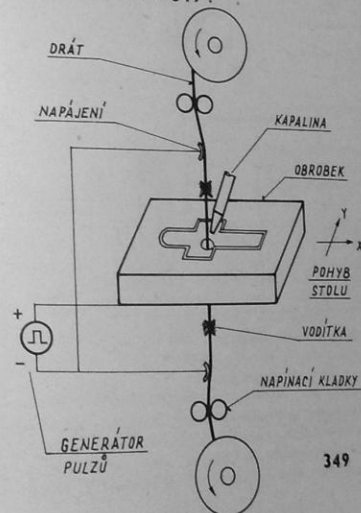
347

Moderní vyiskřovací zařízení, zejména nástrojářské jsou pulsní, pracují s drátovou elektrodou, zapojenou jako katoda, obr. 349.

Pro vyiskřování vnitřních tvarů se musí do desky zhotovit závěšecí otvor.

Upínací stůl má křížový pohyb v X, Y souřadnicích, krokové podávání, většinou po 1 μ m. Některé stroje jsou řízeny děrnou páskou, některé řídicím počítačem (CNC). Stůl má možnost náklonu pro výrobu průřeznic s úkosem několika stupňů. Drát je odvíjen z cívky, prochází přes napájecí kartáčky a vodička, která zajišťují jeho přesnou polohu. Posuv drátu je většinou zhora dolů, ve směru protékajícího dielektrika (deionizované vody), aby se zplodiny eroze co nejdříve odplavovaly.

Vyiskřovací dráty vyrábějí speciální výrob-

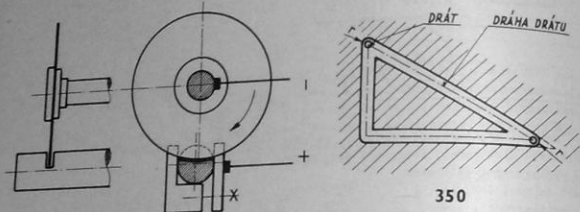


349

ci (Allectro), z materiálů, které nejlépe odolávají erozi. Jsou pro tento účel zvláště vyvinuté (např. Alpacut), dále mosazi, měď, molybdén a wolfram v práškové vyvinuté (např. 0,10, 0,20, 0,25, 0,30 mm, z molybdénu též 0,025, 0,050, 0,070, 0,1, 0,125, 0,150 mm. Normální cívka drátu, např. K125 má hmotnost 4 kg, přičemž je při ϕ drátu 0,1 mm délka/kg = 14 690 m/kg, nebo 0,066 kg/1000 m. Příkon těchto vyjiskřovačů je cca 2,5 kVA, vyjiskřovací napětí 50 - 300V, pracovní proud $0,015 - 10^{-3}$ A. Docílení drsnost povrchu 0,8 - 4 μ m pro oceli, 0,8 - 2 μ m pro SK.

Docílené přesnosti řezů jsou $\pm 0,005$ až $0,02$ mm, úběh 10 - 3000 mm³/min, trvání pulsu $10^{-6} - 10^{-3}$ s, frekvence 100 Hz - 200 kHz.

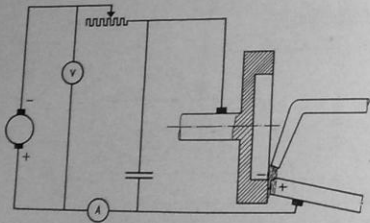
Dráty musí mít dobrou elektroerozivní stálost, což je kombinace vodivosti, mechanické pevnosti, přesnosti průměru, erozivní odolnosti. Musí být napjaté stálou silou. I tak dochází při výbojích ke kmitání drátu a to snižuje přesnost řezu. Také vnitřní rohy úhlových tvarů nejsou ostré, viz. obr. 350.



351

350

V obr. 351 je způsob, v němž jako nástrojové katody je použito plechového kotouče. Obr. 352 ukazuje použití metody pro ostření soustružnických nožů ze slinutých karbidů, které lze brousit jen diamantovými nebo elborovými kotouči. Významně se uplatňuje zejména u složitých profilových nožů.



352

VYUŽITÍ ULTRAZVUKU

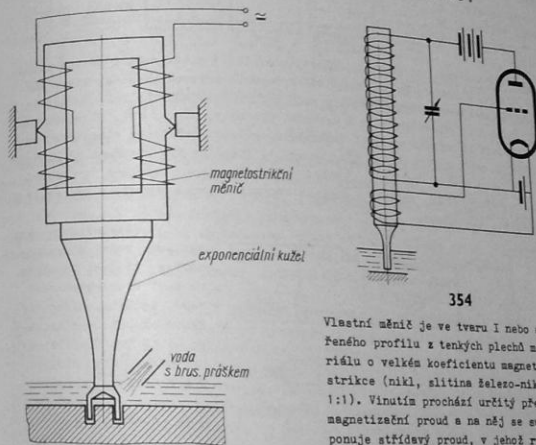
Obrábění ultrazvukem. Využití ultrazvuku má uplatnění zvláště pro tvrdé a křehké materiály, jako sklo, slídu, korund, křemen, křemík, diamant a veškerou keramiku. Název metody nevystihuje zcela přesně její princip. Vrtá se totiž nástrojem ve tvaru díry, např. hranolku a rovným dnem,

který dostává osové vibrace s vysokou frekvencí nad hranici slyšitelnosti (tj. přes 20 000 Hz). Vrtaný nebo reliéfovaný předstát je ponořen v kapalné (nejčastěji vodě), ve které je rozmiščen jemný brusný prášek (korund, karbid křemíku, karbid boru). Při vysokých frekvencích je pomocí nástroje obráběný materiál sruby brusiva jemně vytlučen. Nutno zdůraznit, že eroze materiálu se za určitých podmínek zduštinuje i kvitavě a ji doprovázející mikrovlásky.

Vrtací nástroj je vždy měkký než obrobek, má být houbovitý, aby se rychle a různě zahloubení libovolně složitých profilů. Je dnes rozšířeno při výrobě rámečků a reliéfů do skla, slinutých karbidů, keramiky atd.

Jako zdroje vibrací se používá pro větší amplitudy a nižší frekvence magnetostriktických vibrátorů (měničů), pro vysoké frekvence a malé amplitudy piezoelektrických vibrátorů.

Schéma uspořádání magnetostriktického vibrátoru je na obr. 353.



353

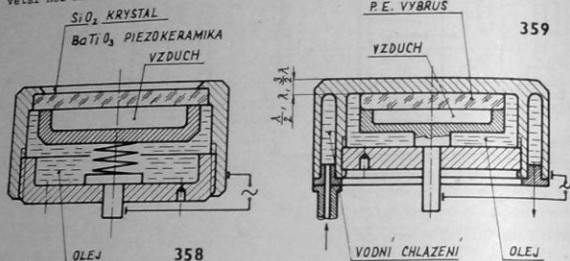
354

Vlastní měnič je ve tvaru I nebo uzavřeného profilu s tenkými plechy materiálu o velkém koeficientu magnetostríky (nikl, slitina železo-nikl 1:1). Vinutím prochází určitý předmagnetizační proud a na něj se superponuje střídavý proud, v jehož rytmu se měnič rozkmitá. Amplituda je zvětšována akustickými transformátory (exponenciálními nebo jinými kužely).

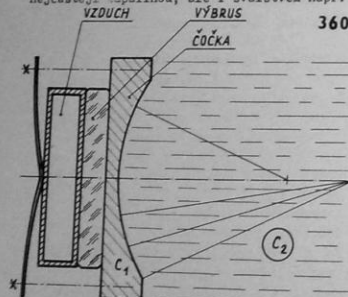
Na jeho konec je přišroubován nebo připájen nástroj. Elektrické zapojení je většinou takové, aby vibrátor pracoval ve vlastní frekvenci, kde je účinnost největší, obr. 354.

Piezoelektrické měniče se uplatňují při nejjemnějších pracích jako např. při vrtání děr do rubinových kamenů a průvlků. Měníče jsou křemenné nebo z piezoelektrických titanitů a mají tvar destiček. Střídavé napětí na polech vyvolává kmitání destičky, které se přenáší na nástroj nebo na součást. Magnetostriktický měnič pracuje s velkými proudy, při nízkých napětích,

proto na pokovené plochy krystalograficky orientovaného výbrusu přivádíme přímo střídavé napětí, v jehož frekvenci výbrus kmitá. Klasickým a velmi stabilním piezoelektrickým materiálem je křemen (horský křídaš). Pro tloušťkové kmity vybrušujeme plochy destičky rovnoběžné s krystalografickou osou c. V ultrazvukové technice se dnes používají sintrované piezoelektrické látky, polykrystalické, které vykazují piezoelektrický jev teprve když se uměle polarizují v silném elektrickém poli. Např. titanititan beryat BaTiO_3 se po zhotovení a vybrušení destičky zahřeje na 120°C a vloží na dvě hodiny do elektrického pole o napětí 0,6-12 kV/cm. Tyto látky mají dobré mechanické vlastnosti a piezoelektrický koeficient značně větší než křemen.



Na obr. 358 je piezoelektrický měnič pro měnění intenzity UZ. Krystal, nebo piezoelektrický výbrus se přímo stýká s prostředím do kterého se UZ vysílá, nejčastěji kapalinou, ale i s vlastním napětím v medicíně. Vzduch tlumí silně UZ



U intenzivních zdrojů by se polep rozrušoval, proto je krystal v dotyku s kovovou transmisní destičkou, obr. 359. Za musí být naladěna na maximum propustnosti, má tedy tloušťku

$t = n \cdot \lambda / 2$ (n je celé číslo, λ vlnová délka UZ v materiálu krytky. Olej je kvůli elektrické izolaci.

Krátkovlnné UZ záření se šíří kolmo k destičce. Dá se fokusovat, i když ne tak dokonale jako světlo. Kulová nebo válcová čočka, kterou kontaktujeme s výbrusem fokusuje UZ podle vztahu:

$$f = \frac{r}{1 - \frac{c_1}{c_2}}$$

$$f = \frac{r}{1 - \frac{1500}{5800}} = 1,35r$$

kde r je poloměr, c_1 , c_2 rychlosti zvuku v prostředí, viz obr. 360. Pro ocelovou čočku ve vodě je

SKLA

V přírodě se skla (sklovité látky) vyskytují všude. Jsou to měkké a zřetelně zbarvené zrnité látky. Jsou to měkké a zřetelně zbarvené zrnité látky. Jsou to měkké a zřetelně zbarvené zrnité látky. Jsou to měkké a zřetelně zbarvené zrnité látky.

O 2 000 let mladší jsou nádoby na balzámy a drané masti. Na kovové tyčce se vypálila hliněná kulička a ta se obalovala pískem. Vyládkou do ohně a potření sbíraného skla, spečená - sintrovaná.

Výroba tekutého skla začali Římané, postavili první kamenné peci sádkem našeho letopočtu. Vynalezli též foukačskou "píšťalu" a jakou se pracuje dodnes. Římské skla a glazury obsahovaly olovo. Násopce z nádob byly jedovaté.

Velká éra v rozvoji skla začala počátkem 13. století v Benátkách. Aby bylo sklo křemítkem písku přidávali sodu, kterou páčili z vodních řas a te obsahovala též menší množství oxidu vápenatého. To bylo "benátské" sklo.

Ve vnitrozemí Evropy začali používat pro snížení teploty výhruhu pole stromů, který obsahuje draslík (salazku - přibližně K_2CO_3). Vypalovaly se celou oblastí lesů, z větší části kvůli popelu, z menší k tavení. Sklo se označovalo jako "lesní".

Do r. 1680 měla skla malý obsah CaO . Byla chemicky málo odolná. Michel Müller, huťmistr v Janoušově hutí u Víperky začal přidávat ve větší množství vápenc CaCO_3 (křídou) a vynalezl tím "český křídaš" a výjimečným laskem a značnou odolností mechanicky i chemicky.

Přibližně v téže době byla v Anglii vynalezena uhelná pec a "olovnatý křídaš" tím, že do směsi surovin přidávali suřík PbO_2 (pálý PbO). Olovnatý křídaš je těžké sklo s velkým indexem lomu, posměrně měkké, dobře se brousí.

Kolem roku 1850 byl vynalezen generátor plynu, který teprve umožnil prudký rozvoj tovární výroby skla.

SiO_2	Na_2O	CaO	CaO	PbO
KŘEMENNÉ SKLO	VODNÍ SKLO SODNÉ	SODNO VÁPENATÉ SKLO	DRASLINÉ SKLO	OLOVNATÝ KŘÍDAŠ

Nejjednodušším sklem je rostavený a stuhlý křemen SiO_2 . Sklo, jednoduché chemicky, protože jednosložkové, avšak složité technologicky, má-li být čisté a průhledné, obr. 361.

Skla :
Jednosložkové, křemičité (tavený křemen, křemenina), nejjednodušší sklo, taví se při teplotě 1713°C .

Dvosložkové, $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$ - surovina písek + soda Na_2CO_3 , zvané vodní sklo
 $\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O}$ - surovina písek + potaš K_2O .

tato skla jsou málo odolná, za vyšších tlaků rozpustná ve vodě.

Trojsložkové, SiO_2 nebo + CaO - surovina písek + vápánek CaCO_3 , tavící teplota K_2O

ta okolo 1450°C .

Výslozkové, jsou prakticky všechna speciální skla pro optiku, chemii, elektro-techniku atd.

Suroviny, smíchané k výrobě skla, tvoří "sklářský kmen". Ten se musí dobře promíchat, chránit před znečištěním a vlhkostí. Sklářský kmen obsahuje :
sklářský písek : má obsahovat co nejvíce SiO_2 , a co nejméně příměsí, hlavně sloučenin Fe. Sloučeniny železa zbarvují sklo do zelena. U vadí nejméně u lahového skla, kde se připouští až asi 6 % Fe_2O_3 .
Okenní skla musí mít již mnohem méně a u optických skel se nepřipouští více než 0,013 % Fe_2O_3 . U spotřebních druhů skel málo škodí sloučeniny Ca, nebo živce, které obsahují Al_2O_3 .

Písek je jemně zrnitý, s velikostí zrn od 0,1 do 0,6 mm. Z různých nálezů jsou typické rozsové křivky zrnitosti a složení písků. U nás nejpoužívanější písky mají následující čistotu (obsah SiO_2):

Hohenbock 99,68 %, Adršpach 98,92 %, Jistebí 99,28 %.
Střelec 99,47 %, Jistebí 99,28 %.

oxid sodný Na_2O . Surovinou je soda (kalcinovaná) Na_2CO_3 , taje při teplotě 850°C (na prani je krystalická $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$).

oxid draselný K_2O , surovinou je potaš, vyráběná z melsy, kalcinovaná taje při 894°C , nebo hydrátová.

oxid vápenatý CaO , surovinou je vápánek, křída, dolomit CaCO_3 (Píčov, Koněprusy, Vápenný Podol apod.).

oxid boritý B_2O_3 , důležitá složka skel chemických, varných a přístrojových, propůjčuje sklům malou teplotní roztažnost (Pyrex, Sialu, Simexu). Lze jím částečně nebo úplně nahradit SiO_2 . Surovinou je hlavně kyselina boritá H_3BO_3 a borax $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$.

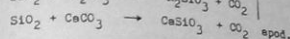
oxid hlinitý Al_2O_3 (korund), dodává sklu tvrdost a odolnost proti otěru, je složkou skel tabulových a technických. Surovinou jsou živce, kaolin, hydrát hlinitý atd.

oxid olovnatý PbO . Surovinou je sufix Pb_3O_4 (minium), nebo klet PbO . Je důležitý pro skla optická, technická - pohlcuje X záření, pro vakuumovou techniku. Snížíže značně bod měkčení skel.

Další používané oxidy jsou : oxid fosforečný P_2O_5 , oxid germaničitý GeO_2 , oxid cínčitý SnO_2 , oxid titaničitý TiO_2 pro optická skla, zvyšuje index lomu. oxid zirkoničitý ZrO_2 , oxid lithný Li_2O , oxid hořečnatý MgO , oxid barnatý BaO atd.

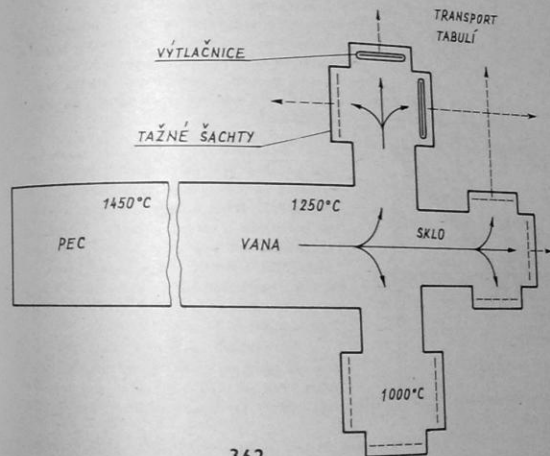
Při tavení sklářského kmene nejčastěji taje soda, potom potaš apod. Ve vzniklé tavenině se křemen rozpouští, takže vznikající sklo je tekuté již při 1450°C , kdežto křemen sám by tál až při 1713°C .

V pochodu tavení vznikají chemické reakce tohoto typu :



Rozpouštění uhličitánů se uvolňuje oxid uhličitý, který uniká jako plyn a vzniká směs křemičitanů. Uvolněný CO_2 pak pozvolna probublává taveninou, při nedokonalém unikání zůstávají bublinky. Optická skla se tzv. žefí krátkým zvýšením teploty a přidáním žefidel (např. arseniku As_2O_3 , nebo ledu KNO_3 apod.).

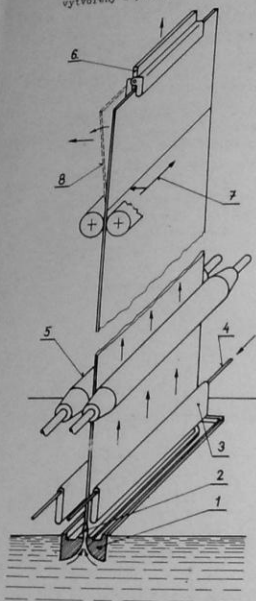
Tabulové sklo, okenní, ale např. i filtrové se vyrábí tavením z vanové pece. Vana je v podstatě kanál, vytápěný plynem, dlouhý cca 50 m a široký do 8 m. Z kraje se zavězí sklářský kmen, který je zakříván na teplotu 1450°C přibližně v jedné polovině délky pece, potom se teplota snižuje na 1250°C a na 1000°C , obr. 362.



362

Tohoto uspořádání je známé pod názvem "český kříž". Při tavení se vytahuje při teplotě okolo 1000°C např. Foucaultovým způsobem pomocí výtláčnice (plaváka, potápnicku). Výtláčnice má délku podle požadované šířky tabule až 3 m, je vyrobená z kaolino-žemotové hmoty a vypálena na vysokou teplotu. Ve výtláčnici, robena z kaolino-žemotové hmoty a vypálena na vysokou teplotu. Ve výtláčnici, jež profil ukazuje obr. 363 je šterbina konstantní šířky. Při položení na hladinu vytéká hydrostatickým tlakem ze šterbiny sklovina směrem nahoru, protože

stěrbinu je níže než hladina. Na začátku tažení se do stěrbinu vpuští hřeban, nad vytlačnicí se vytvoří rozšíření skla, svané cibulí 2. Za cibulí odebírají páso teplo chladicí 3, protáčené vodou, převod 4. Asi 1 m nad hladinou je sklo již tak tuhé, že jej sevrou válce 5 a táhnou nahoru. Potom je tažení již nepřetržitě, v uspořádání podle obr. 362 (tzv. český kříž) se z vany vytáhne za 24 hodiny okolo 20 000 m² skla tloušťky 2 mm. Válců je nad sebou několik párů a jsou obloženy hlasenými azbestem. Težná vlně je vysoká, délka skleněné tabule je asi 8 m. Nahoře je sklo již vychlazené a křehké. Seveře se po délce upínadlem 6 a měkkým obložení a příčně nafixuje karbidovým kolečkem 7. Někde se tabule 8 odlomí a ve svislé poloze přenese k řezacímu stolu, kam je přiklopena a oříznou se kraje.



363

Touto metodou se táhnou tabule tlusté 2 až 9 mm. Sklo takto tažené se používá do oken nebo k dalšímu zpracování, ale nehodí se na zrcadla, protože není dostatečně rovné, při průhledu nebo odrazu se před-
měty vlní.

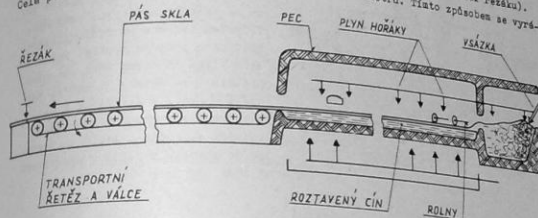
Zrcadlové sklo. Ve starší technologii se zrcadlové sklo brousí. Tabule jsou uloženy na kruhovém rovinném stole, nepř. v sadě. Stůl má průměr cca 10 m. Otáčí se pod dvěma brusnými kotouči, obloženými litinovými želisti. Broušení se postupně jemnějšími brusnými suspenzemi (písek, korund, karborandum) s vodou, bývá 5 zrnitostí. Nakonec se leští plstěnými kotouči a leštičí červení.

Nepřetržitě se brousí podobnými kotouči pásy skla tzv. konvejerovým způsobem. Pás postupuje přímo z pece a brou-

ší se po obou stěnách. Linka je dlouhá asi 300 m, je velmi nákladná, investičně i provozně. Převrat do výroby zrcadlových skel přinesl vynález floatové metody (plavoucí sklo). Metoda spočívá v tom, že se sklo taví v peci, jejíž první část tvoří velká vana do níž se zavádí sklářský kmen. Odtud sklo přetéká přepadem (v některých uspořádáních je též velcováno) a vznikající pás začne plavat na hladině roztaveného cínu. Z kraje pece se pás táhne a roztahuje do stran na požadovanou šířku několik metrů pomocí vroubkovaných koleček.

Cín je zcela výtěpný a rovněž horní část skleněného pásu je otažována horkými plyny. Sklo vytvoří při postupu po hladině cínu téměř dokonalou rovinu na

stýku s cínem i na horním povrchu, takže je planoparalelní. Měkká vana s cínem je naplněná až po výstupní okraj. Ten je kritický místem. Při výstupu z pece se sklo již nízkou teplotou (velkou viskozitou). V přechodu z hladiny na válce může nastat průhyb ještě plastické tabule. Je-li ale teplota s rychlostí a sekonci třetí je stůl a před ní řezací mechanismus, vychází sklo velice přesně. Na závěruji průběžné karbidovými kolečky, příčně se sklo řezá rovnými kolečky. (Dřívě řezání je šikmé, protože se vektorově sčítá rychlost pásu s rychlostí řezání). Celá pec a tratí, obr. 364 má délku několika set metrů. Tímto způsobem se vyra-

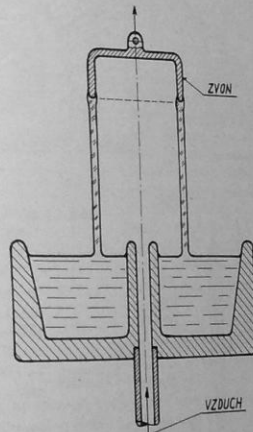


364

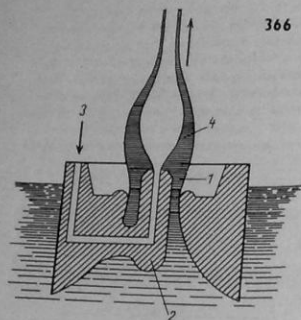
bí sklo v tloušťkách cca 2 až 16 mm. Floatové sklo je vhodné pro výrobu zrcadel, do automobilů, na měřítka a restry souřadnicových strojů, skla zvětvovacího, přístrojů atd.

Trubky. Největšího průměru trubek se dosáhne tažením z hladiny lubbersovým způsobem, obr. 365 (jen kratší trubky). Průměr se dá i měnit regulací přiváděného tlaku vzduchu, takže vzniknou trubky kuželové nebo osazené. Dosahují \varnothing 0,5 m i více, tloušťka stěny cca do 20 mm, řídí se viskozitou skla, rychlostí tažení zvonu a druhem skla. Od zvonu se trubka opouští. Válce nejsou příliš přesné.

Trubky do \varnothing cca 100 mm a tloušťky stěny do 10 mm se táhnou pomocí vytlačnice obr. 366. Vzduch se přivádí kanálkem 3 v kaolinitové vytlačnici, pro který je vytvořeno žebro 2. Vytažení trubky \varnothing 100 mm dlouhé 5 m trvá asi hodinu. Sklo i vytváří nad vytlačnicí cibulí 4.

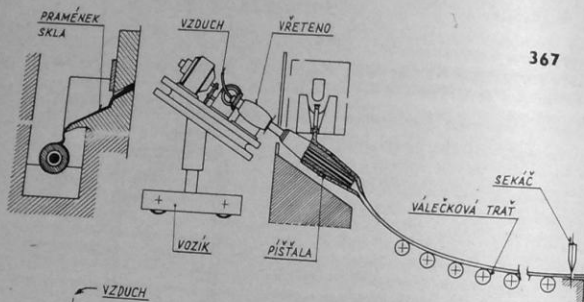


365

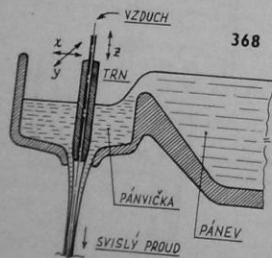


366

Nejběžnější trubky malých průměrů ϕ 2 - 40 mm o tloušťce stěny do 2 mm mají více technologických způsobů. Uvedeme rotační způsob s píšťalou podle Danneberg, obr. 367. Vřetenem, poháněným elektromotorem, nese píšťalu, kovovou trubku, obloženou ohnivzdornou vrstvou ve tvaru komolého kužele. Píšťala je dutá a vzduch se do ní přivádí průchozí vřetenem. Přívodem vzduchu se řídí velikost vnitřního průměru trubky. Pramenek skla vtéká na horní část skleněné píšťaly a ze rotace ji smáčí, vytváří vrstvu, která stéká k dnu. Sklo musí mít vhodnou viskozitu. Vytvoří se hůbice, která se proměňuje do oblouku a ještě v plastickém



367



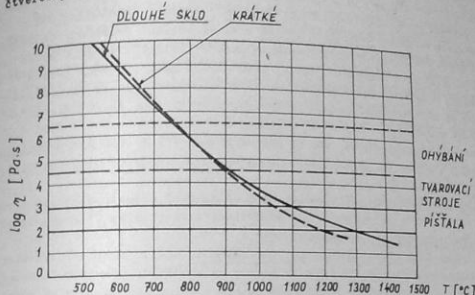
368

stavu se trubka ukládá na transportní válečky, které přejdou v rovinnou dráhu. Na konci dráhy jsou trubky přesekávány v délce 1 až 2 m a vázány do svazků. Tyto trubky se vyrábějí většinou z měkkých skel s malou teplotní roztažností a chladí se jen přirozeným chlazením na tažné dráze. Průběžně se měří ϕ trubky, kulatost a tloušťka stěny. Kdyby se přestal do píšťaly přivádět vzduch, bude se táhnout tyčka.

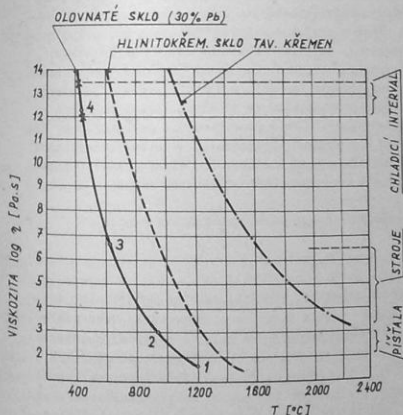
Polubenský způsob, obr. 368. Z tavící pánve přetéká sklo do pánevky, kde se udržuje stálá teplota a hladina. Ve dně

202

pánvičky je otvor (tryska) do níž zasahuje trn. Ten je stavitelný ve všech směrech X, Y, Z, musí jít dobře vystředil do trysky. Je opět dutý, k přívodu vzduchu. Způsob má výhodu v tom, že můžeme táhnout trubky i tyče nekruhových průřezů, např. čtvercový s kruhovou dírou (na korále) atd.



369



370

dlouhá a krátká. Dlouhé sklo má tedy větší interval teplot, ve kterém lze provádět určitou operaci, např. foukání. Z diagramu vidíme, že dlouhé sklo můžeme zpracovávat foukačskou píšťalou cca od teploty 1300°C do 1100°C, teplotní in-

viskozita a teplotné zpracování. Sklo se liší ode všech amorních látek tím, že je nekystalické - amorní. Sklo je tuhým roztokem, stuhlou přechlazenou kapalinou, kde jsou původní krystaly jeho složek rozpadlé. Má tedy vlastnosti kapaliny a neobvykle širokým rozsahem viskozity. Sklo roztavené na vysokou teplotu okolo 1500°C je velmi tekuté, proto z něj vyplavou větší bublinky. S ochlazením roste viskozita skla, obr. 369. Podle toho jak velký je přírůstek viskozity s poklesem teploty (stoupání krivky), dělíme skla na

203

terval 200°C, viskozitní interval od 10^2 do 10^3 Pa.s.

V intervalu teplot 1100°C až 900°C, tj. 10^2 Pa.s až $10^{4,5}$ Pa.s lze sklo zpracovávat na tvarovacích strojích (žárovky, láhve, lisované čočky atd.).

V intervalu 900°C až 750°C tj. 10^4 Pa.s až $10^{6,5}$ Pa.s na skládacím kahanu, ohýbání, foukání apod., na strojích pak lisování, ohýbání, propadání atd.

Každé sklo má jinou viskozitní křivku a ta se obtížně proměňuje vzhledem k vysokým teplotám. U trvale zpracováváných skel se skládá orientují podle teploty. Na obr. 370 jsou viskozitní křivky třech druhů skel: tavěný křemen, hliníto-křemičité sklo a olovnaté sklo. Vidíme, že olovnaté sklo se zpracovává foukačkami i na strojích při nízkých teplotách, naproti tomu tavěný křemen se foukačkami zpracovává. Aby dosáhl viskozitu k foukání nutnou, musela by přehlédnouta zpracovávat. Aby dosáhl viskozitu k foukání nutnou, musela by přehlédnouta zpracovávat. Aby dosáhl viskozitu k foukání nutnou, musela by přehlédnouta zpracovávat.

Viskozitní křivka je plynná čára. Jsou na ní ale určité body, důležité pro teplotní zpracování:

nad teplotou v bodě 1 se viskozita mění už málo. V oblasti viskozit zpracovatelnosti se stanovuje střední bod, odpovídající viskozitě 10^3 Pa.s, označuje se jako pracovní teplota (working point) 2,

bod 3 zvaný Littletonův určuje teplotu měknutí. (Je to teplota, při které se viskózní skleněná vlákna o průměru 0,6 mm a délky 229 mm prodlouží působením vlastní tíhy o 1 mm za minutu, když se horní část vlákna v délce 100 mm zahřívá rychlostí 5 až 6°C/min),

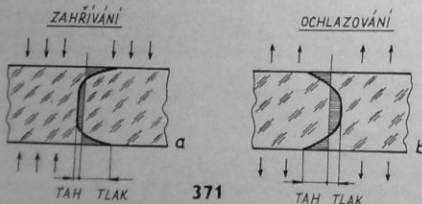
transformační bod 4 má viskozitu $10^{12,3}$ Pa.s. Tento bod je zvláště důležitý, neboť jeho poloha určuje vyrovnávání pnutí při chlazení skel. V bodu transformace se náhle mění některé fyzikální vlastnosti skla, jako součinitel teplotní roztažnosti, měrný elektrický odpor, index lomu, hustota apod. Dokud teplota neklesne pod bod transformace, je sklo nerozbitné úderem - plastické.

Při chlazení musí teplotní pokles být pozvolný právě přes bod transformace. Proto se stanovuje horní chladicí teplota (annealing point), při níž je viskozita 10^{12} Pa.s. Prodlévou na ní se pnutí uvolní za 15 minut. Dolní chladicí teplota (strein point) a viskozitou $10^{13,5}$ Pa.s je definována jako teplota, při které napětí vymizí za 4 hodiny. Při nižších teplotách by se sklo pro vymizení pnutí muselo udržovat dlouho. Protože transformační bod u různých skel kolísá, trvá chlazení často mnoho hodin a u optických skel až několik týdnů.

Pnutí ve skle. U skel rozeznáváme dvojí pnutí (mechanická napětí).

- 1) Přechodná
- 2) Trvalá

1) Umístíme-li v temperovanou skleněnou součást, prostou pnutí, např. desku, náhle do prostředí s jinou teplotou, např. do horké vody, zahřejí se povrchové vrstvy, zatím co vnitřek desky se v důsledku špatné tepelné vodivosti skla zahřívá pomalu. Povrchové vrstvy se roztahují rychleji než vnitřek. Jejich



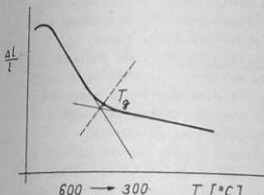
371

expanzi vnitřek brání, proto dojde k napětí, které má průběh napětí podle obr. 371 a. V povrchových vrstvách je tlak, ve vnitřku tah. Podobně při chlazení desky do chladného prostředí vznikne v povrchových vrstvách napětí tahové, uvnitř tlakové, obr. 371 b.

Tento napětí opětovně vymizí, jakmile se deska vytemperuje na lisovací teplotu. Pevnost skla v tlaku je 10 až 15x větší, než pevnost v tahu. Proto skla nelze ochlazení, kdy v povrchových vrstvách vzniká tahové napětí.

Mechanicky opracovaná skla (broušená, leštěná) ať již prasklinami, mikroprasklinami, menší pevnost v tahu, než skla foukaná, plavená, nebo tažená. Mikropraskliny nejsou na povrchu skla viditelné, protože se při leštění "zatahují", přikrývají plastickou tenkou vrstvičkou skla.

2) K vysvětlení trvalých pnutí porovnáme poměry na křivce teplotních roztažností, obr. 372. Transformační bod T_g se definuje jako průsečík asymptot tečen ke dvěma větvím křivky s křivkou teplotní roztažnosti. Tento bod považujeme za zlom čáry roztažnosti.



372

U běžných druhů skel se chlazení provádí tak, že se výrobky zahřejí nírně nad teplotu transformace, kde se udělá prodlév. Následuje ochlazení s časovým poklesem teploty podle empirického vzorce

$$P = 1,3 \cdot 10^3 / L^2 \quad [^\circ\text{C}/\text{min}]$$

Tloušťka skla L je v cm. Pod teplotou transformace může ochlazení probíhat asi širší rychleji. Vidíme, že zažeháné okenní sklo tloušťky 2 mm může mít pokles teploty $1,3/0,2^2 = 32^\circ\text{C}/\text{min}$. Vzhledem k teplotě v tažné šachtě není pokles větší, takže stačí přirozené vychladnutí během tažení. Totéž platí o tenkých trubkách.

Většina skleněných výrobků zhotovených ručními metodami, foukáním, lisováním, i strojními výrobky má v sobě pnutí. Ta nejsou sice tak velká, aby vedla k samovolnému prasknutí, ale musí se odstranit. Po zhotovení jsou proto do chladicí pece, znovu se ohřejí a programově vychladí. K tomu slouží většinou pískové pece, vytápěné plynem. Článek pásu jsou z litiny nebo oceli, pás je dlouhý např. 25 m a teplota podél něj rozložena podle vzestupné křivky a prodlévou a pak sestupem. Průchod pecí trvá podle druhu výrobků 8 až 16 hodin. Krátké peci procházejí např. lisovaná skla pro kondenzorové čočky, nebo brýlové čočky.

Nejméně nebezpečnější na chlazení jsou skla optická na čočky, hranoly, filtry apod.

Optické sklo má speciální technologie, taví se v párných různých objemů od hmotnosti několika kilogramů až několika set kilogramů. Při tavění se musí chladit chlazenými roztoky, kroužícími pánev a nakonec testit, aby nebylo bublinaté. Potom se pánev vyndá a pece a příkopů izolační zvonem a takovou izolační schopností, aby sklo chladlo velmi pomalu, i několik týdnů. Objem větších pánev musí mostit, aby sklo chladlo tak zpěs. Když sklo nepopraskalo, nedalo by se jinak popraskat na kusy několik kg táspek. Když sklo nepopraskalo do tvaru slupek, které rozklítli. Při nevhodném chlazení táspek sklo popraská do tvaru slupek, které jsou nepoužitelné. Rozpraskané kusy musí být vnášeny a buď se rozhrávají dle záměrových plánů, nebo se osekají ostré hrany a ve formách znova roztaví, aby zamažovali tvary, pláno nebo hranolu a ještě jednou chladí. Toto druhé chlazení ujal var čoký, pláno nebo hranolu a ještě jednou chladí. Toto druhé chlazení probíhá většinou v kosořových pecích, které se vytváří a pokles teploty reguluje programem většinou v kosořových pecích, které se vytváří a pokles teploty reguluje programem. Zjevně se musí chladit podle programu barevných filtrových skla, kde programově. Zjevně se musí chladit podle programu barevných filtrových skla, kde programově. Zjevně se musí chladit podle programu barevných filtrových skla, kde programově.

Malé zbytková pnutí ve spotřebních výrobcích nevedí. Ale součástí optické, čočky, hranoly, planu, zrcadla musí být zcela bez pnutí. Napětí ve skle se totiž vyrovnává ještě dlouhou dobu, i mnoho let. Tím se přesný tvar čoček nebo zrcadel deformuje. Druhým závažným důsledkem je, že napětí ve skle vyvolává dvojnásobné světlo a efekty s ním spojené, polarizaci a štěpení paprsků. Dvojnásobná čočka nemůže splnit vypočítané parametry zobrazení, nevytvoří ostrý obraz.


Velikost prutů se zjišťuje metodami **fotoelastickými**, na základě interference světla. Součástí osvětlení polarizovaným světlem, většinou přes filtr. Je-li ve skle prutů, objeví se při pohledu proti světlu za skřížovým analyzáto-rem v místech s napětím interferenční obrazce. Při malých prutích jsou tmavé a světlé. Při velkých prutích je prosků více a mají interferenční barvy.

Optické skla jsou mnohohodnotová, z přesné věštiny kmenů, tvárné přesně drolivými postupy, míchání, česání a pečlivě chlázená. Kontrolují se v řadě parametrů. Indexy losu v několika spektrálních čarách, z nichž se stanoví disperze v Abbeho číslu, udávají jeho základní hodnotu skla. Dále se uvádí dublnatost, transparence, šířivost, homogenita. Z technologických vlastností pak součinitel teplotní roztažnosti, chemická odolnost (hlavně proti vodě a vlhkosti), tvrdost a křehkost. Optické skla vyrábějí jen několik významných světových firem. Jsou uvedena v katalózech, obsahujících i několik set druhů. Indexy losu se udávají na 5 až 6 desetinných míst.

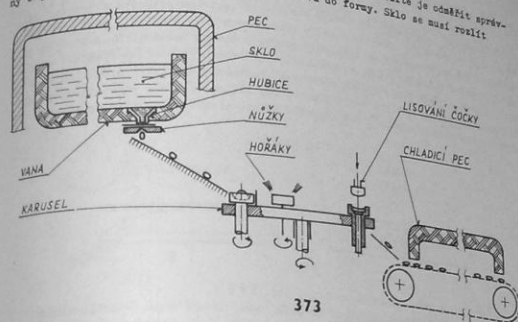
Lisování brylových čoček. Brylová skla nejsou tak měrná na dodržení vlastností materiálu jako u objektivů mikroskopových, fotografických, dalekohledových apod. Proto se polotovary čoček (spojných i rozptylných) lisují. Sklo se vypouští v tvářistě stavu z užití bez speciální odolné keramické hmoty (Corhard). Skleněný roušek je vstříknut a skotálí se na vřetěno karuselu, které nese rotující kovovou formičku, obr. 373. Bochně se točí s vřeténkem a po taktách se protáhá s karuselem pod hořáky, které upraví jeho teplotu na výši, vhodnou pro lisování. V jednom místě karuselu vyúsílaje razník příslušný tvar čočky s přidávky na broušení. Čočka se přitom ochladí, aby již nebyla tvárná a podávající ji shodí na pás chladicí pce.

Lisování velkých čítek a zrcadel. Velké čítky, např. pro kondenzory zvětšovacích přístrojů jsou tlustostěnné, protože požadujeme, aby měly velký relativní otvor. Kondenzor skládáme obvykle ze dvou ploškovypuklých čítek, vypuklými plochami k sobě. Např. kondenzorové čítky (Magnolaru) mají $d = 240$ mm a tloušťku 5 mm.

Takové čočky se vyrábějí lisováním do kovových forem. Důležité je odměřit správný objem skla, které vytéká v těstovitém stavu do formy. Sklo se musí rozlít.



The diagram shows a cross-section of a glass lens blank being formed in a mold. The blank is a thick, curved shape with a hatched pattern, indicating it is made of glass. It is positioned within a mold cavity. A label 'PEC' points to the right side of the blank.



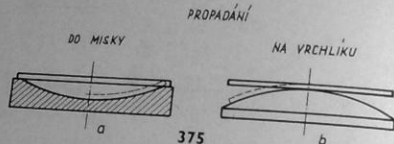
aniž by tvořilo přehyby, které se někdy úplně nezacelí a vznikají závoje. Větší bubliny při této viskozitě nevyplovou a musí se vybírat nástroji podobným, ani velké pinzety, čímž se část skla odebere a nelze nahradit. Obvod kovové formy je obvykle pálený a rozvírací, obr.

Podobným způsobem se lisují elipsoidní zrcadla 70 mm kinoprojektorů ze skla propustného pro tepelné záření (studeného zrcadla). \varnothing zrcadla je 460 mm, tloušťka stěny 10 mm. Reflexní dutá část zrcadla se potom brousí, leští a vakuově nanáší několiknásobnou odranovou vrstvou, která odráží vlnou a tepelnou část. U zrcadel bez pnutí a proto dobře vychle-

Lisování se vyrábějí rovněž signální skla (křižovatková), červená, zelená, oranžová. Vypuklá strana je hladká (kvůli čistišti) kdeso dutá má reliéf (mříž) a ohledem na rozptyl do stran. Reliéf se dělá u nástroje dutý (snadnější se probrousí) na skle jsou tedy výstupky. Podobná se lisují reliéfní skla automobilových, stělicových a jiných rozsvícení. Vzhledem k jejich skleněné obrazovce je také

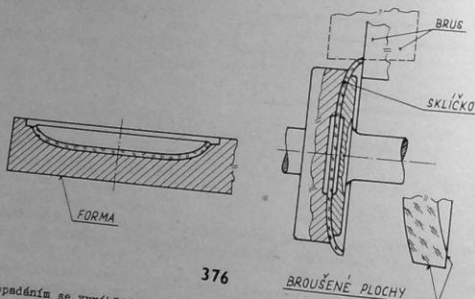
lisované, některé se dlejší propadáním.

Tvarování propadáním. Ve většině měřítka je typickým případem tvarování tenkých skel automobilů. Jsou tam dokonce propadáváná skla dvojitá a mezi nimi je plastová fólie. Propadání je výhodné u součástí plošně rozáhlých, u kterých je nutné dodržet tloušťku stěny. V automobilových sklech je použito floatové výroby, podobně u některých stínítek obrazovek, reflektorových skel apod. Zatím co při lisování musíme mít dvě části tvarovacího nástroje, stačí u propadání jedna, spodní část (forma, kopyto). Duté zrcadlo může získat propadáním do misky,



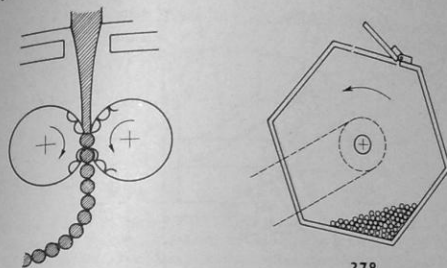
obr. 375 a, nebo propadáním na vrchlíku obr. 375 b.

Forma se založená sklem se dá do pece, nebo na pás u peci kontinuálních a zahřeje na teplotu měktnutí. Sklo se nejedivě začne pronášet v místě maximálního ohybového momentu a lehne si na kopyto. V místě malého momentu to trvá buď déle, nebo se musí vyhřívát na vyšší teplotu, což má nevýhodu v tom, že sklo, původně hladké, se může otiskovat nerovnostmi formy. Formy děláme z nerezavějící oceli, azbestu nebo z litiny, kde bráníme nalepení skla potřením grafitem nebo klouzkem. Vyhřívání na vysokou teplotu je nebezpečné u kovových forem, kde vznikají oxidy (okuje). Ty jsou ve sklech rozpouštěny a snadno se přilépí.

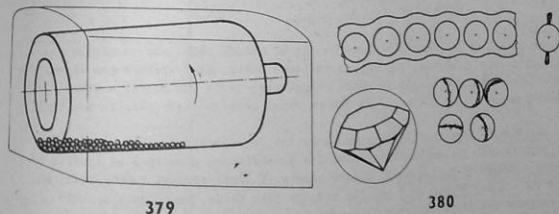


Propadáním se vyrábějí klenutá hodinová sklička, která se pak na obvodě brousí, obr. 376, a zalepují do rámečků. Vypuklé skličko je odolnější proti úrazu než rovné. To platí pro sklo i plasty.

Mečkní skla. Menší polotovary broušených skel se vyrábějí mečkním. Jsou to např. bižuterní kameny, lustrové alzy apod. Příklad mečkných kulíček je na obr. 377. Nástrojem je dvojice válců z ohnivzdorné oceli, které se otáčejí



synchronně, spojeny ozubenými převody. Půlkulové jasky jsou co nejpevněji orientovány proti sobě a mezi válci je jen malá mezera. Průměnek skla vtáčí mezi válce, které jej rozvláčují do pásu (přelisku). V další operaci "rumplování" podle obr. 378 se přelisk odláme a zbude hrubý tvar kulíček.



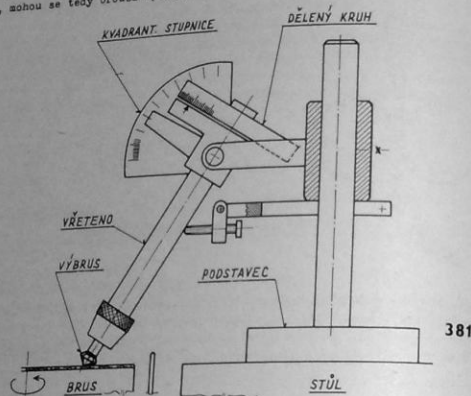
Po omílání mají kulíčky odlámaný pás na "rovničku", někdy jsou zaštipnuti hlouběji pod povrch.

Kulíčky se vyhladí ve válcové (maflové) peci, obr. 379. Ta se otáčí a vyhřívá do měktnutí skla. Kulíčky jsou zasypány klouzkem (jemný prášek mastku), který je ohnivzdorný a brání slepování. Převalování se rány kulíček zacelí, takže vyjdou hladké s matným povrchem. Podobně se zakalují korále. Ty jsou nasádky z tlustostěnné trubičky na válečky s $l/d = 1$. Zasypány klouzkem zabrání tomu, aby se dírký zacelily.

Kulíčky i jiné mečkná tělíska jsou též polotovary pro bižuterní výbrusy, např. podle obr. 380.

Broušení na kvadrantu. Sklo, drahokamy, včetně diamantů i technických (ferozáků, vrtáků, tvrdoměrových tělísek, rychých diamantů atd.) se brousí nejvýhodně-

ji diamantovým prázem (bortem) sintrovaným nebo zamečkaným do kovu. K broušení se používá "kvadrantů", v principu podle obr. 381. Náklon vřetena má rozsah 90°, mohou se tedy brousit plochy od čelní přes jehlanové až do hranolových.



Pro rozdělení na počet ploch dokola slouží dělený kruh. Aby se ploška nepřebrousila, kvadranty pro pokles vřeténka dorez, nebo elektrickou signalizaci. Při broušení diamantů je nutné respektovat tvrdé (nebrušené) a měkké (brušené) směry na jeho plochách. Na jednom brusku pracuje často několik kvadrantů.

Belotina. V signální technice na letištích, v dopravě, u reklam, ale též u tzv. perličkových pláten pro kinoprojekci a dispoziční promítání se využívá odrazných a rozpíselných vlastností kulové plochy. V tomto případě jsou kuličky malé, 0,2 – 2 mm. Přední část kuličky funguje jako čočka, zadní jako zrcadlo.

Sférové rozložení odrazu světla závisí na indexu lomu skla, zrnitost obrazu pak na velikosti kuliček.

Pro paraxiální svazek světla při průchodu kuličkou platí

$$S' = \frac{n'}{\frac{n}{S} + \frac{n'-n}{r}}$$

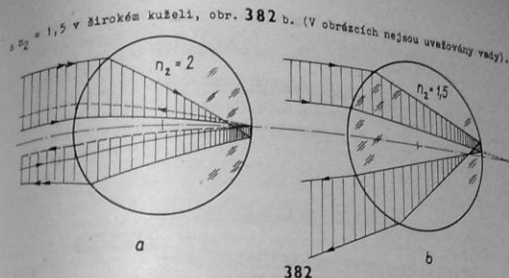
s' je sezná vzdálenost v kuličce, n' index lomu kuličky, n index lomu vzduchu a r poloměr kuličky.

Kdyby se světlo z kuličky mělo vracet do vzdáleného zdroje, bylo by :

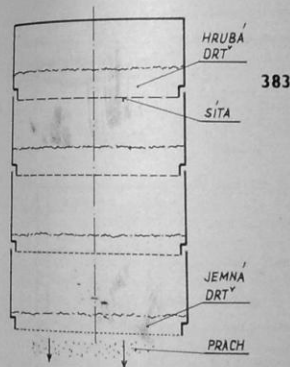
$$S' = 2r = \frac{1}{\infty} \frac{n'}{\frac{n'-1}{r}} = \frac{r n'}{n'-1}$$

$$2(n'-1) = n', \quad n' = 2$$

Kulička s indexem lomu $n_2 = 2$ by odrážela světlo v poměrně úzkém kuželi, kulička

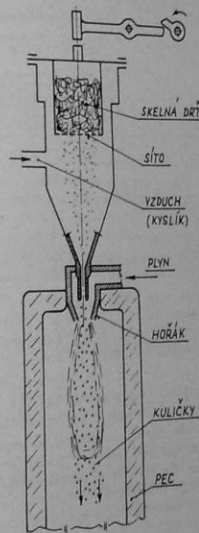


Při výrobě se volí vhodný druh skla s ohledem na index lomu a na viskozitní klivku. Sklo se roztlučá a rozdrtí na zrna. Ta se potom prozívají řadou sít, obr. 383. Na každém síte zůstane frakce, která prošla řídící sítí. Na první

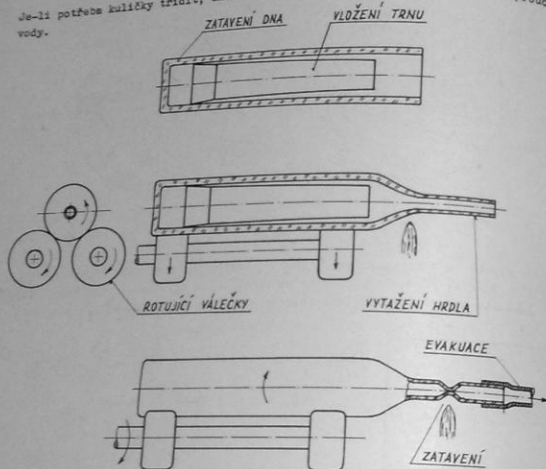


zbudou největší zrna, která nelze použít, na poslední nejmenší frakce, prach, propadlý nejmenší sít se nepoužije. Ke zbavení prachu se někdy drtí propírá vodou.

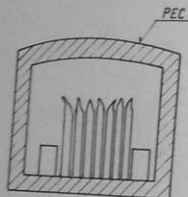
Skleněná drt se profukuje plamenem plynového hořáku, obr. 384. Je nasypána v zásobníku se síťovým dnem a na zásobník klepe kladívko. Při průletu plamenem se zrna sbalují povrchovým napětím do tvaru kuliček a průletem vzduchem vychladí.



Je-li potřeba kuličky sfidit, znovu se prosávají síty, nebo vyplavují v proudu vody.

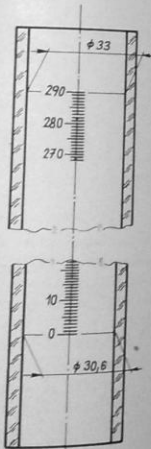


386



385

Tvarování ve vakuu. Jako příklad uvedeme tvarování průtokových trubic (rotometrů). Jedním z přesných měření průtoku plynu je plovákový způsob, kdy lehký plováček je umístěn do kuželovité trubice rozšiřující se vzhůru. Při větším průtoku je plováček vyveden výše, protože se musí zvětšit sesírková šetrba mezi ním a průtokovou trubicí. Výška, v níž se plováček ustálí, je úměrná průtokovému množství a stupnice vyznačuje přímo proteklé množství cm^3/min . Plováček se dá částečně stabilizovat



rotací, které se docílí žebry nebo šikmými kanálky na jeho povrchu.

Průtokové trubice mají podle množství plynu nejmenší rozměry, vnitřní \varnothing cca od 5/5,3 mm na délku 200 mm, nebo vnitřní \varnothing 30,6/33 na délku 290 mm, obr. 385.

Polotovarem je trubka \varnothing 44/36 mm. Trubka se na jednom konci zalepuje a zataví se jí dno. Do ní se vloží až ke dnu kónický trn z ohnivzdorné oceli, jehož povrch je hladce vybrušen. Trubka s trnem se položí na dvojici rotujících válečků, otevřený konec se zahřeje kahanem blízko ušlechťovacího konce trna a takem se vytvoří sůžení, obr. 386. Po vychladnutí se na odlomený konec zúžené trubice nasadí hadička a vývěvou se vysaje vzduch. Pod vakuem se trubice opět zahřeje, krček se zúží a zataví, takže trn je nyní vakuově uzavřen.

Sada trubek s kuželí se postaví do pece a zahřívá na teplotu měknutí.

Vnější tlakem je trubka přitisknuta na ocelový trn a převzeme přesně jeho tvar, horní část trubice se tlakem plošití do tvaru jazyka. Pec se podle programu vychladí. Oba konce trubky se odříznou a trn vyjme. V důsledku většího soustředění teplotní roztažnosti se sám uvolní ze sevření. Vyrobit přesnou kulečkovou díru, zvláště u tenkých trubic jiným způsobem, např. broušením by bylo nákladné.

Nanášení stupnic a značek. Na skleněné výrobky rusíme často nanášet stupnice, čísla, popisy apod. Děláme to některým z následujících způsobů:

1. Obtiskem. Obtisk je na papírové podložce, která se namočí ve vodě, stáhne a obtisk přiloží na sklo. Trvanlivé obtisky se musí vypalovat v peci na teplotu okolo 200 °C, obr. 387.

6 Kalibrování trubice 82 V2 P/T 10/80

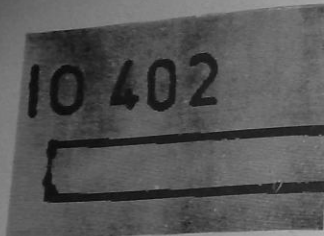
387

2. Přesné stupnice vyrábíme dělicím způsobem. Sklo potřebe tenkou vrstvou vosku a po stuhnutí stíráme na dělicím stroji vosk ocelovým nástrojem tak, aby se setřela vrstvička vosku, ale neporušil skleněný podklad. Složitější obrazy, jako čísla, nápisy, znaky atd., se dělají rytím vosku na pantografu. Obrácená místa se vyleptají. Ještě struktury nad káží perami kyseliny fluorovodíkové HF. Hrubší struktury a leptání do hloubky děláme ponořením do kyseliny, nebo nanášením tesponem či štětcem (u libel, teploměry, pipet apod.).

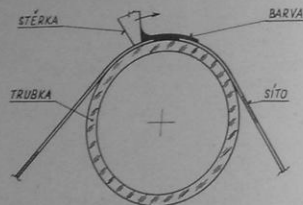
3. Sítotiskem. Sítotisk je metoda univerzální, používá se téměř u všech materiálů a pro libovolně složitá obrysy. Základem metody je jemná sílonová síť (např. 144 ok/ mm^2). Tato síť je potažena blánou ze svítlicového materiálu. Nápis nebo stupnice vytvoříme tak, že blánu přikryjeme maskou (sklem, filmem), kde obrysy jsou např. nafotografovány a jsou nepropustné (černé). Neexponovaná část se světlem vytváří a je neropustná, kdežto přilípnutá část se vymytím rozpustí a příslušná oka síte se tím otevrou. Síť se dá exponovat též na zvětšovací přístroji.

Určitou nevýhodou je zde, že při jemných rysech nebo písmenech vadí struktura síte, kontury vycházejí jako schůdky, zvláště u šikmých a oblých hran, obr. 388. (Černé čtverečky jsou díry v síti, kde je blána vymyta). Na obrázku jsou vidět různé vady metody, ve skutečnosti je výška písmen 2,7 mm. Síť i s blánou má tloušťku jen 0,05 mm.

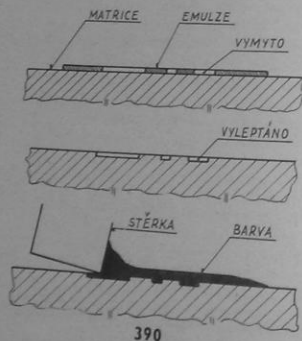
Berme se nanášet tak, že sítko přitiskneme na sklo, obr. 389, zatlačíme je proti posunutí a místa průchoďná pro barvu několikrát přetřeme stěrkou.



388



389



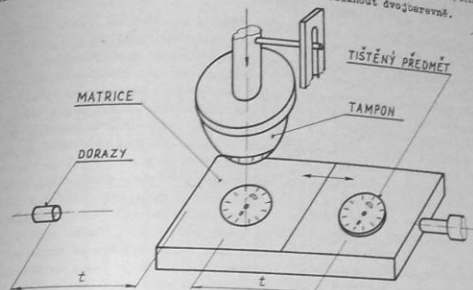
390

s nanesenou barvou. Barva musí mít správnou hustotu. Je-li příliš řídká, zůstává pod sítko a okraje se rozlékají.

4. **Temponový tisk** (v principu hlubotisk). Velmi jemný tisk na sklo, plech, plasty atd. se dělá pomocí matrice. Je to ocelová (někdy i skleněná) destička zrcadlově vyleštěná do roviny. Na ni se nanesou světločivlivé vytvrditelné emulze, na kterou se fotograficky přenesou požadovaný obrazec. Nevytvrzená místa se vymyjí a destička v nich vyleptá do malé hloubky, spravidla jen několik μm u jemných a několik setin mm u hrubších tisků. Potom se emulze odstraní. Vyleptané záhloubení jsou velmi přesná a dají se tak přenášet vlasové čáry, obr. 390.

Uspořádání podle obr. 391 se používá též k tisku hodinových a přístrojových číselníků. Vlevo je matrice, která se potře barvou a ostrohrannou stěrkou barva stáhne z rovinné leštěné plochy matrice, ale zůstane z rovinná v prohlubních. Souso s leptom číselníku se nad ním zvedá pryžový tampon (nesmí se otočit). Přitisknutím na matrici se barva z vybraní matrice otiskne na tampon. Stolek s číselníkem se přesune o rostec na

druhý doraz a tempon otiskne barvu na číselník. U skel se barva rovněž vypluje. Matrice je choulostivá na poškrábání, i nepatrné rýhy se přenesou na tiskový předmět. Křížový pohyb se dvěma tempony se může tisknout dvojbarevně.

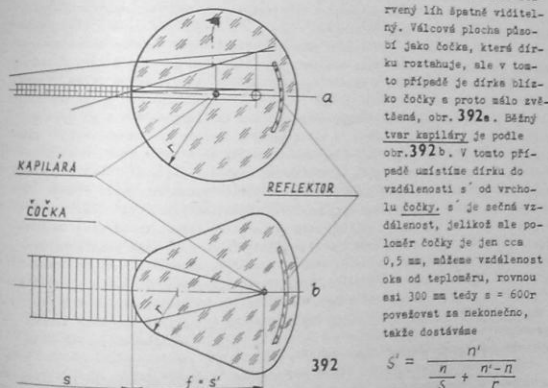


391

Teploměřové kapiláry. Kapilára je vlastně tenká dírk v trubici, ale výraz se používá zároveň pro trubici.

Některé strojné tažené kapiláry jsou kruhové tlustostěnné trubčky s tenkou dírkou v ose.

Použijeme-li takovou kapiláru jako teploměrovou, je sloupec rtuti nebo obarvený líh špatně viditelný. Válcová plocha působí jako čočka, která dírkou roztahuje, ale v tomto případě je dírkou blízko čočky a proto málo zvětšená, obr. 392a.



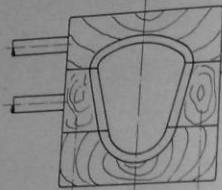
392

$$S' = \frac{n'}{S} + \frac{n' - n}{r}$$

Vezmeme-li pro příklad sklo s indexem lomu $n = 1,5$, bude

$$s = f = \frac{1,5}{\infty + \frac{1,5}{r}} = 3r$$

Tyto kapiláry se táhnou ručně. Skláří sformují skleněný váleček o průměru cca 80 mm a délce cca 200 mm. Na povrch nalepí páspek barevného skla, který pak slouží jako reflektor. Toto sklo je po vychlazení neprůhledné (zakalené, mléčné)



393

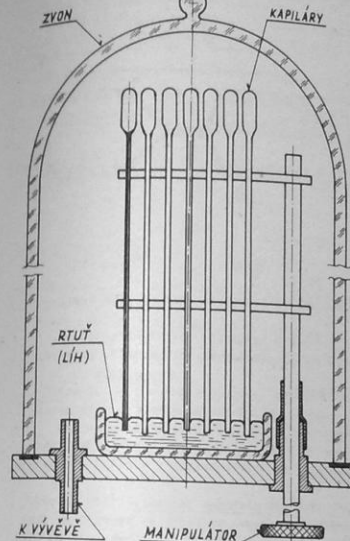
a pokrývá se opět původním sklem. Přesný tvar profilu kapiláry se vytvoří ve formě (tvárnici). Formy jsou z tvrdých druhů dřev, nejčastěji hrubkových, a aby se tolik neopalovaly, dřevo je nevyhlá, nebo se vlhčí. Forma je rozsvítlá, zevnitř vyhlazená, hlavně v číselkové části. Formovaný válec je přilepen na konci ocelové tyče. Umění sklářů je miso jiné v tom, vyatihnout správnou viskozitu skla. To se nesmí ve zřetel stavu dlouho stýkat s formou nebo ji vypuluje. Po vyhlazení profilu se kapilární otvor propíchné drátem z nerezavějící oceli. Sklo jakožto smorfin, viskózní látka má při tažení podvuhodnou vlastnost, zachovávat kontrakci poměr rozměrů. Zachovává se tedy i relativní velikost otvoru. Je-li na začátku tažení výška profilu např. 80 mm a po kontrakci 2,5 mm, zmenší se profil lineárně 32x. Při počáteční kapiláry 0,04 mm musí být s drátu 1,26 mm. Po propíchnutí otvoru se volný konec válce nahřeje, aby se otavil a přilepí na tažnou rukojeť.

Tažení probíhá na dřevěné drážce, dlouhé asi 80 mm, obložené vyhlazenými prkny. Je důležité, aby objem polotovaru byl rovnoměrně prohřát. Jeden pracovník táhne kapiláru a další sleduje kontrakci. Tam, kde by došlo k rychlejšímu ztenčování profilu, chladí se okukováním v duchem. Nesmí dojít také ke zkroucení profilu (šroubovici), jinak není sloupec rtuť viditelný po celé délce. Vytěžené kapiláry na dřevě stuhne a nasadí se (nebo naláme) na příslušné délky. Vadné kusy se vyřadí.

Pro zhotovení banky se rychlým ohřevem konec kapiláry zataví a po dalším prohřátí konce se banka vyfukuje. U velmi tenkých kapilár se vzduch obtížně poufouká ústy, je lépe použít stlačený vzduch. Banky mají různý tvar, u technických a lékařských teploměrů jsou válcovité nebo kuželovité, u jiných i kulovité. Banka musí mít určitý objem, jímž je dána citlivost teploměru (počet dílků/°C). Lékařské teploměry mají velkou citlivost, 1 °C zaujímá délku cca 1 cm. Aby objem rtuť nemusel být příliš veliký, dělá se kapilára tenká. To má zase za následek, že konstantní složka tlenu je tak velká, že se rtuť sama nezatáhne do banky a musí se sklápávat. Banky se tvoří pomocí sklářského kahanu do dřevěných forem, ve kterých se otáčejí. Přes zkušenosti pracovníků se citlivost nedá stanovit přesně a proto teprve hotové kapiláry se cejchují, označí číslem a k nim se přiřadí příslušná stupnice. Stěna banky je zranitelná, protože tenká, jednak z výrobních důvodů, jednak proto, aby při špatné tepelné vodivosti skla teploměr nereagoval příliš pomalu.

Při plnění teploměru rtuť (tuhne při - 38,87 °C, vaří za normálního tlaku při 356,9 °C, ale odpovídá se při pokojové teplotě) pozor, je prudce jedovatá i

v parách! Má-li teploměr být použitelný pro vyšší teploty, musí být v kapiláře vysoký tlak dusku nebo oxidu uhličitého, pak se teplota varu zvýší až na 750 °C. Teploměry se plní též ethylalkoholem (tuhne při - 114,2 °C, vaří za normálního tlaku při 78,4 °C).



394

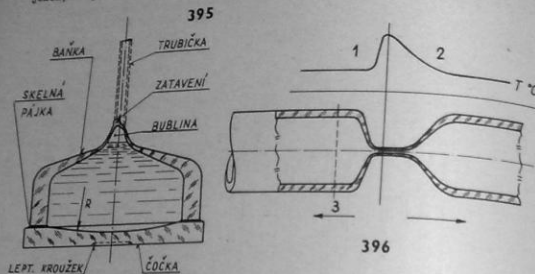
délce zahřeje ostrým plamenem a vytáhne, až se krček zataví. Na konci kapiláry se při zatevování dělá háček, který pak zapadne do otvoru ve stupnici a zajišťuje její polohu. (Teploměry s kapilárovou čočkou očídními ve vodorovné poloze. Ve svislé poloze nevidíme rtuť oběma očima).

Libely (vodovahy). Jsou nejpřesnějšími indikátory polohy vůči vodorovné rovině. Libelu tvoří skleněná dutina, naplněná neuplně kapalinou. Bublina zaujme po ustálení nejvyšší polohu. Od této polohy se měří náklon libely a s ní spojené měřicího zařízení (pravítka, dlelníku, dalekohledu).

Libely dělíme na krabicové (kulové) a trubkové (anuloidové, soudečkové).

U kulové libely je měřicí část vytvořena dutou kulovou plochou. Nevyplněná část prostoru tvoří bublinu. Čím menší je tato bublina, tím více se blíží kulové tvaru, tím menším vztlakem je nadnášena a také se pak pomalu pohybuje. Změní-li se průměr bubliny zkrát, zmenší se její průmět 4krát a objem 8krát. Odpor

proti pohybu se mění s průmětem, tedy s dvojnásobí poloměru, kdežto vztlak s objemem, tedy třetí mocninou. Proto všude, kde máme libelou s ruky (u sklonové)



měr, sextantů) je bublina malá, někdy, jako u leteckých oktantů její velikost seřizitelná.

Kulová libel libely se vytvoří broušením a leštěním, optickými metodami. Je to kruhová rovinná destička s jedné strany zabroušená poloměrem R, jako rozptylka, obr. 395.

Baně libely se vyrábí ze skleněné trubky (obvykle průměru 10 - 30 mm). Jak ukazuje obr. 396, trubka se za rotace zahřívá ostrým plamenem, aby gradient teploty podél osy byl vysoký (police 1). Potom při rychlém roztážení je zúžení trubky struž, kdežto při širokém poli ohřátí (police 2) vyjde baněka tláhla. Baněka tedy vyběhá v kapiláru. Po zchlazení se trubka ufixe v místě 3 a čelo jemně zabrousí.

Spojení čocky s baněkou se provádí převážně skelnými pájkami. Někdy se používá ještě klasického spojování chloridem stříbrným. Součástí se zahřívá na teplotu tlán chloridu stříbrného (480 °C) a spojované plochy, jemně broušené a posypou práskem AgCl, který hned teje na nahnědnou viskózní kapalinu. Po pomalém ochlazení má spoj bílou barvu.

Skelné pájky mají různé složení podle druhu spojovaných skel. Jejich bod měknutí je vždy nižší než u skel. Ta se rovněž na pájených plochách jemně přebrouší a potlou suspenzi skelné pájky v amyacetátovém roztoku nitrocelulóz. Obě části se přiloží k sobě, aniž by se provedlo předběžné slinutí a zahřívají se na teplotu cca 460 °C po 1 hodinu. Kvůli zabránění prnutí se pak chladí rychlostí asi 2 °C za minutu.

Mezi spájenými plochami někdy zstanou bublinky. Nejsou-li spojeny, těsnosti to nevadí. (K náročnému spájení - např. obrazovek - se používá skelné krystalických pájek, např. Pyrocera Brand Cements, od firmy Corning Glass Works).

I když se libelám někdy říká vodováhy, nejsou plněny vodou (praskly by mrazem), ale lihem, nebo lihometrovými směsami, které mají nízký bod tání a lepší smáčí sklo. (Při špatné smáčivosti je bublinka líná a zaujímá nedokonalé nejvyšší polohu, což snižuje citlivost libely).

Podle obr. 395 se libela naplní kapalinou neoplňně, aby nahore stýle bublinka, kapilára se ostrým plamenem nahřeje a vzniklý krček na ní zataví. Při zátěvu vznikají páry unikající kapilárou. Ve směsi se vzduchem jsou třaskavé, proto se pracuje v digestoři a je nutná zručnost i opatrnost. Bublina tedy není voduchová, ale naplněná parami kapaliny.

Kulová libela má na čocke vždy alespoň jeden vyleptaný kroužek, větší než polěr bubliny. Při ustavování se bublina uvádí do jeho středu.

Trubkové libely. Nejdůležitější charakteristikou libel je její citlivost.

$$\text{citlivost} = \frac{\text{výchylka bubliny (počet dílků)}}{\text{náklon libely (minut, vteřin)}}$$

Podle obr. 397a má vrchlík libely polěr R. Při náklonu trubky se bublina vychylí o hodnotu

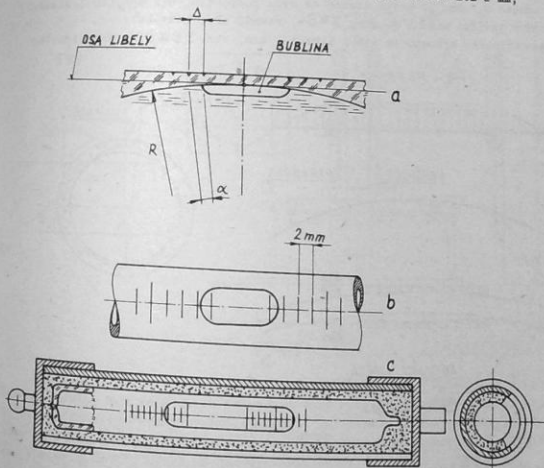
$$\Delta = R \cdot \alpha_{\text{rad}}$$

$$\Delta = R \frac{\alpha''}{\frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{2\pi}} = R \frac{\alpha''}{206265}$$

dosazujeme-li α (ve vteřinách) bude

Pro výchylku $\Delta = 1 \text{ mm}$ a náklon libely $1''$ by tedy musel polěr R být $206265 \text{ mm} \pm 206 \text{ m}$.

Podle mezinárodní dohody se libely označují dílků s intervaly 2 mm,



(převládá tav. čárkou, což je 1/12 francouzského palce, zaokrouhleno na 2 mm),
obr. 397 b.

Pro vychylku $\Delta = 2$ mm a naklon libely 1" vychází tedy poloměr $R = 412$ m.
Z toho odvodíme konstantu libely

$$\beta^* = \frac{412}{R[m]} \quad (\text{někdy označovanou jako citlivost}).$$

Pro vtafinovou libelu bychom museli vybrusit její oblouk poloměrem $R = 412$ m, což je prakticky nemožné. Nejlepší libely mají citlivost 5 - 10", tedy $R = 82$, resp. 41 m, (i to je mistrovské dílo).

Odhadem zlozku Δ s přesností $\Delta/10$ se tedy na desetivteřinové libele dá určit 1". Pomocný optický zařízení, kdy přivádíme do koincidence konce bubliny se dá odečíst až $\Delta/50$.

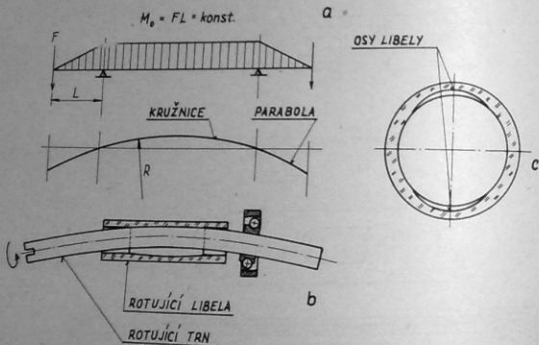
Nejjednodušší libely (středně apod.) se dělejí pouhým ohnutím nahřáté trubky. Citlivost se u nich spravidla neudává.
Přesnější libely se vybrušují. Výbrus bývá soudcovský, nebo anuloidový a provádí se na trnu. Poloměr zakřivení trnu se vypočítá z rovnice

$$\rho = \frac{1}{R} = \frac{M_0}{EI}$$

ρ je křivost, R poloměr zakřivení, M_0 ohybový moment, E modul pružnosti, I je moment setrvačnosti.

Abychom dostali kruhový oblouk, musíme v určité délce vyvodit konstantní ohybový moment M_0 . Trn je proto uložen na dvou podporách (naklápěcích ložiskách) a na koncích setížen silami F , obr. 398 a, rovněž přes ložiska.

U soudcovského výbrusu se otáčí libela i trn, obr. 398 b, u anuloidového



398

jenom trn, obr. 398 c.

Nejlepší libely mají velké rozměry (délku až 250 mm, ϕ 25 mm, a také velkou bublinu, dlouhou až 2/5 délky libely). Vybrušují se anuloidově, libela

se tedy neotáčí, u konečné operace se neotáčí ani trn, libela se po něm jen osou posouvá. Některé libely jsou prokládací, a tedy mají dva anuloidové výbrusy na protilehlých stranách, obr. 398 c.

Osu libely je tečna, vedená k vrchliku výbrusu v bodě, k němuž jsou dílky symetricky vyřity, obr. 397 a. Prokládací libely mají dvě osy, spolu rovnoběžné, obr. 398 c.

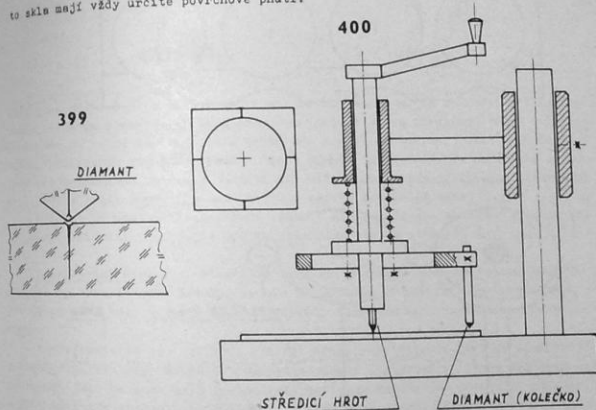
Po vybrušení se trubka libely na jednom konci zataví a na druhém vytáhne se kapilára. Kapilárou se naplní kapalina, buď evakuací, nebo injekční jehlou a zataví, podobně jako u kulových libel.

Trubice libel i libely krabicové se ukládají většinou do sádky, obr. 397 c. Bílá sádra činí bublinu i rysky dobře viditelné. Při tuhnutí sádra nedeformuje tak trubku, jako jiné tmelé, které se značně smršťují. Na volných místech se sádru konzervuje lakem, který zabrání nasákvání vodou. Kdyby trubice byla uložena a napětím, které ji ohne, ztrácí se přesně získaná citlivost.

Řezání skla (nařezávání). Tabulové sklo řezáme řezáky:

1. diamantovými (diamantovými krystaly)
2. ze slinutých kberidů (kolečky).

Nejlépe se řezou tabule nového skla, taženého nebo floatového, protože tato skla mají vždy určité povrchové pnutí.

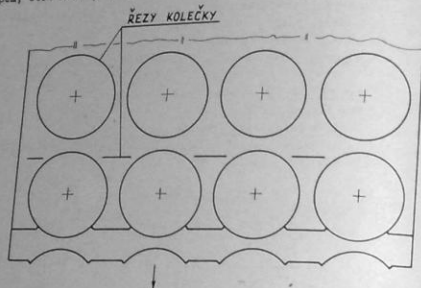


K řezání tlustých tabulí jsou nejvýhodnější krystaly diamantu a přírodními hraneči. Hrany nebývají zcela ostré a rovné rohy jsou zaoblené. To splňuje nejlépe požadavky řezání, protože diamant má vysokým tlakem vyvodit pnutí na povrchu skla, které postupuje do hloubky. Tlak na diamant nesmí být příliš velký, aby sklo dřtil, nýbrž má jen vytvořit pnutí.

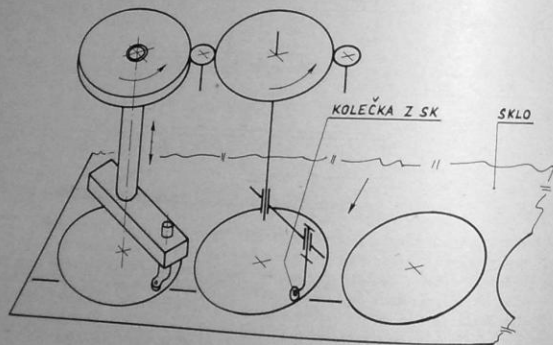
Pro řezání tenkých sklíček (pod 2 mm) mají diamantové krystaly většinou hrany vybrušené a řezný roh zaoblený do malého radiusu. Po tahu diamantem se

vytvoří kolmo k ploše skla prasklinu, která se samovolně zvětšuje, až často protoupí celý profil a sklo se oddělí téměř bez lámání, obr. 399.
Kruhovému sklu přístroj, hodin apod., se jednotlivě vyřiznou na strojkou podle obr. 400. V případě potřeby se střed vycentruje odpruženým hrotem. Přítlak diamantu ostatní pružina. Ke snadnějšímu odlámení okrajů se sklo v nejužších místech nafází.

V hromadné výrobě kotoučků, např. při řezání tmavých brýlových skel se nafází několik vřetének vedle sebe. Sklo se v pásu posouvá vždy o krok, řezací kolečka s vřeténky se spustí na sklo a současně jej nafáznou. Odpad se rozbíjí poklepem, obr. 401, 402.

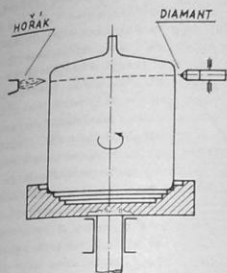


401

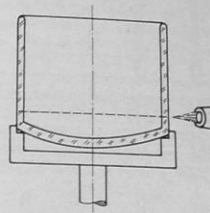


402

Opukování skla. Tato metoda oddělování částí skleněných výrobků je založena na vzniku tepelných prutů při místním ohřívání a ochlazení s vysokým gradientem teplot.
Používá se hlavně pro oddělování velkých rotačních částí. Např. v obr. 403 je vyfouknutá válcová nádoba, které musíme oddělit hrdlo.



403



404

Nádoba se postaví na rotující talíř a k místu, které se má opuknout přiklopíme hořík s ostrým plamenem. Plamen ohřeje na nádobě během několika otáček úzký pás, ve kterém je velké napětí. Potom tento pás prudce ochladíme, polítím studenou vodou, přiložením kovového kroužku, nebo zamočením ve vodě. Ve sklárnách se používá též mechanická iniciace puknutí tím, že na horký pás přiklopíme diamantový hrot. Často stačí pouhé škrtnutí hrotem a nádoba dokola praskne.

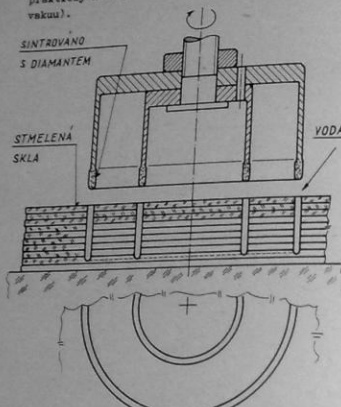
Podobně se opadne tlustostěnná tlaková hlava odlitého kulového zrcadla pro projekční televizi (s zrcadla 420 mm, tloušťka opuklé stěny 12 mm), obr. 404.

Vybrušování děr. V tlustém skle se díry vybrušují. Jde o tenkou trubkou, opatou do vrtáčky nebo frézky. Trubka nesmí házet a musí mít zarovnané čelo. Pro jednotlivé kusy se jako brusivo přivádí suspenze karborundu nebo korundu s vodou.

Ve velkovýrobě se používají hrncové brusy, kde válcová část je sintrovaná s diamantem. Nástroje mohou vybrušovat současně dva průměry, takže výrobkem je seškrubí jako na obr. 405 (polotovary měřících reastrových kotoučků, stmelené termoplastickým tmelem. Oba poloměry se dodatečně přebrušují na brusce do kula-
tů).

Skleněná a křemenná vlákna. Velmi tenká skleněná vlákna (několik μm) potřebují fyzikové pro výrobu elektrometrů, dozimetřů jímá měří ionizační záření, nebo velikost nepatrných elektrických nábojů. Chemici, kteří potřebují k analýzám nepatrné množství látek, dělejí z těchto vláken mikrovážky, buď vahadlové, nebo ohybové, či torzní. Navinutím vlákna na grafitový nebo wolframový váleček

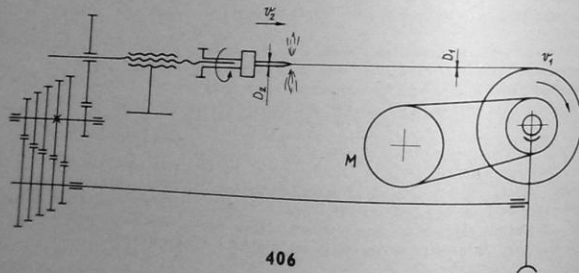
e zahřívá na teplotu měknutí se vyrobí křemenná šroubovitá pružina, která má prakticky nulový creep, nulové doprosování a zanedbatelný útlum při kmitání (ve vakuu).



405

Táhne se z křemenné tyčinky $\phi 4$ mm, která je upnutá ve vřeténku a s ní rotuje, konec tyčinky se zahřívá kysliko-vodíkovým hořákem. Vytáhne se tlustší vlákno, na němž se udlá háček a ten se zaklesne na tažící buben. Rychlost tažení je dána rovnicí kontinuity

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$



406

Fyzik C.V. Boys 1889 přišel na způsob, jak tenké skleněné vlákno vyrábět. Docílil ϕ cca $2,5 \mu\text{m}$ a délku asi 25 m tím, že otavil skleněnou tyčinku a na ni přilepil šíp, který vystřelil kuší. Takové vlákno je viditelné jen při silném osvětlení na tmavé podkladě (sametu). Vlákno se ve vzduchu volně vznášelo a nepatrná otřesení se vlákna nebyly elektricky a přitažlivostí alepují. Pro elektrometry a dozimetry se vlákna vakuově pokovují. Lepší se želatou nebo jinými tmelem a zpracovávají pomocí manipulatorů pod mikroskopem.

Ručně se nedají vytáhnout vlákna tenčí než asi $25 \mu\text{m}$. Pro menší průměry až do $1 \mu\text{m}$ je nutný tažící stroj, obr. 406.

Tažící stroj má převodovku, umožňující táhnout různými rychlostmi vlákna

- $\phi 1 - 9 \mu\text{m}$ po $1 \mu\text{m}$
- $\phi 10 - 100 \mu\text{m}$ po $10 \mu\text{m}$
- $\phi 100 - 500 \mu\text{m}$ po $100 \mu\text{m}$

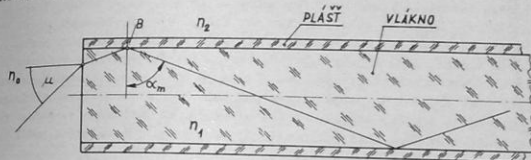
nápt. při tažení vlákna $\phi 4 \mu\text{m}$ bude

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{1}{1000}, \quad \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 = \frac{1}{10^6} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{0,2 \text{ (mm)}}{200000 \text{ (mm)}}$$

Buben bude mít obvodovou rychlost 200 m/s a tyčinka se posouvá rychlostí $0,2 \text{ mm/s}$.

Křemenná tyčka musí být přesná a hladká, její nepřesnosti se kopírují do vlákna. Při tažení musí rotovat, aby byla rovnoměrně prohřátá. Je-li na povrchu broušena, musí se přeleštit, neboť na vlákno se přenášejí i rýhy. Zejména nepřesnosti jsou bublinky, které by mohly vlákno zcela přerušit. Nejtenčí mikronová vlákna se dají táhnout v tolerancích ϕ asi $\pm 10 \%$.

S použitím vláken ke komunikačním účelům nastal velký rozvoj technologií výroby. U světlovodných vláken přistupuje další komplikace. Aby světlo nemohlo uniknout, nebo přestoupit do sousedního vlákna, musí být vlákno opláštěováno (obaleno) vrstvou optického materiálu s menším indexem lomu. Potom pro všechny úhly dopadu procházejícího paprsku, které jsou větší než mezní úhel, nastává totální odraz, při němž jsou ztráty nulové. Šíření světla v osové rovině vlákna znázorníme na obr. 407.



407

Označme mezní úhel α_m , jehož odpovídá aperturní úhel u na kolmé vstupní stěně světlovodu. n_0 je index lomu prostředí před vláknem, n_1 index lomu světlovodu, n_2 index lomu pláště. Potom platí pro aperturní úhel u

$$n_0 \sin u = n_1 \sin (90^\circ - \alpha_m) = n_1 \cos \alpha_m$$

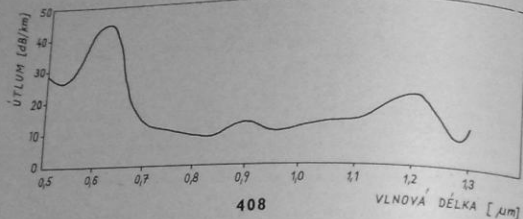
Pro totální odraz v místě B je $n_1 \sin \alpha_m = n_2 \sin 90^\circ$, $\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$, potom

$$n_0 \sin u = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_m} = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

nápt. u tzv. PCS světlovodů, které mají křemenné vlákna s $n_1 = 1,457$ a obal ze silikonového kaučuku s $n_2 = 1,41$ je aperturní úhel $u = 21,53^\circ$ a numerická apertura $A = n_0 \sin u = 0,36$.

Vlákna z čistého křemene dělají různí výrobci o průměrech (jádro/obal) $200/300$, $200/380$, $300/450$, $400/500$, $600/800 \text{ mm}$ spod.

Útlum ve vláknech je funkcí vlnové délky světla, udává se v dB/km. Křivka útlumu pro jeden z nejlepších křemenných (Suprasil - firmy Heraeus) je na obr. 408. Křemenné vlákno se táhne z tyčky tzv. preformy o $\phi 10 - 15 \text{ mm}$ a délky cca $1,5 \text{ m}$. Tažné zařízení je vertikální, schematicky znázorněné na obr. 409.



Preforma je upnutá do skličidla a co nejlepě vycentrována. Skličidlo se pomalu otáčí a s vřetenem je posuvná pomocí dlouhého šroubu regulačního motoru. Konec preformy je spuštěn do topného válcového člunku. Vytápění je elektrické, člunek wolframový nebo grafitový (ten se profukuje argonem, aby se rychle neopaloval). Preforma má v topném člunku rotovat, protože teplotní pole není homogenní a prohnutí musí být rovnoměrné, aby profil vlákna zůstal kruhový.

Ke počátku tažení se konec preformy nahřeje, až se vytvoří kapka, která se sebou táhne vláknem. Kapka se musí odломit, aby vláknem šlo provléknout hubici (tryskou) v níž je nalit silikonový kaučuk (Sylgard apod.) vytvářející hydrodynamický obal vlákna. Hubice je z měkkého poddajného plastu, takže může uhýbat a vláknem se v ní samočinně zcentruje. Pod hubicí je vytvářecí zařízení, které má polotekutý obal převést do polymerizovaného tuššího ohebného stavu. Silikonový obal se vytváří teplem, akrylátovým ultrafialovým zářením. Zde se záření výbojky koncentruje na vláknem eliptickým válcem, kde výbojka je umístěna podél jedné fokály a vláknem prochází druhou fokálou.

Dále je vláknem zavedeno mezi tažné válečky a mělkými zářpychy. V lepším provedení, které tolik nedeformuje ještě choulostivý obal, je vláknem provlečeno mezi tažné váleček a umísťující mělký pásěk.

Tažné váleček a řemenek se pohání motorkou, jehož otáčky se mění a tím se mění rychlost tažení, neboli tloušťka vlákna. Otáčky motoru jsou regulovány, povely ke změně jsou řízeny zpětnou vazbou od měřidla tloušťky vlákna. Je to roztažitel laserové měřidlo průměru, umístěné mezi topný člunek a obalovou trysku. Touto vazbou se dá udržet ϕ vlákna v tolerancích $\pm 2 \mu\text{m}$.

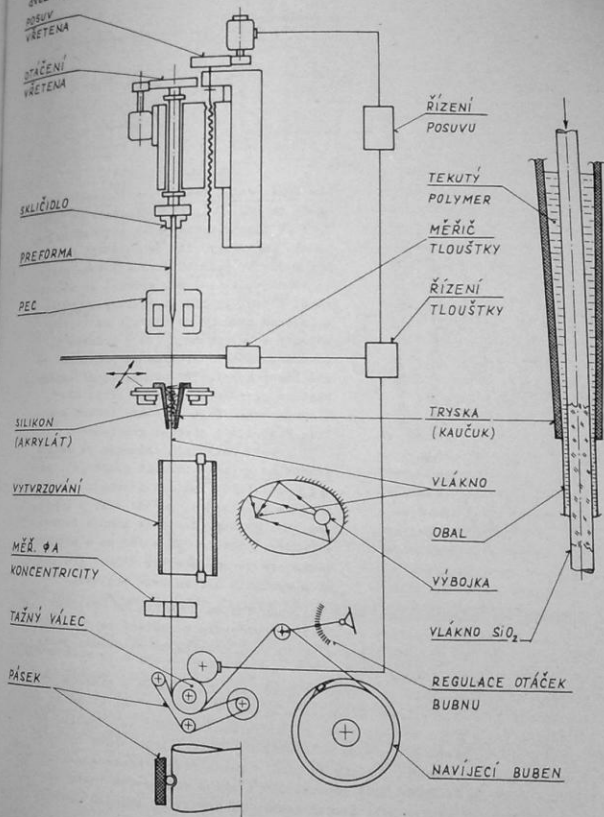
Vláknem jde potom přes napínací chladíčko na navíjecí buben, který má průměr cca 250 mm. K bubnu stačí konec vlákna přilepit, např. na čelo, lepicí páskou. Některé stroje mají buben osově posuvný, tak, aby se vláknem navíjelo ve šroubovici, závit vedle závitu a další vrstva zase zpět. Vláknem vede dobře světlo až z topného člunku, kde je teplota okolo 2000 °C, takže při otáčení bubnu vidíme svítící konec vlákna.

Otáčky bubnu musí být seřazeny s otáčkami tažného válce. To zprostředkuje napínací kladíčko, jejíž páka ovládá potenciometr a ten přizpůsobuje otáčky navíjecího bubnu.

Vláknem z čistého křemene musí mít obal z nějakého polymeru (plastu), protože $n_{\text{obalu}} < n_{\text{vlákna}}$. Obal plní funkci optickou, ale zároveň chrání vláknem mechanicky (je křehké a snadno se láme).

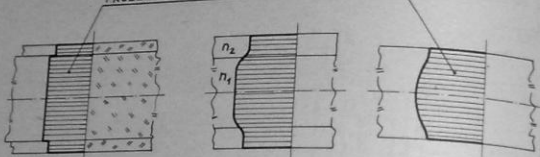
Vytvářejí se vlákna (úzkopásmová, jednomodová), která mají velmi tenké jádro

o cca 5 μm ze skla s indexem lomu větším než křemen, ale dobře propustného pro určité vlnové délky. Potom obal těchto vláken může být z křemene. Vláknem se dvou druhů skel rozlišujeme co do přechodu v indexu lomu mezi dvěma materiály. Tento přechod může být ostrý (vlákna plášťová, skoková) nebo



pozvolný (vlákně gradientní), obr. 410. Nejvýhodnější průběh $n = n(r)$ je parabolický.

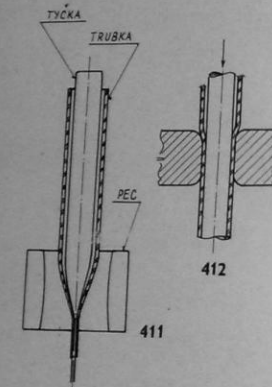
PRŮBĚH INDEXU LOMU V PRŮŘEZU VLÁKNA



410

Klasická metoda tažení pláštovaného vlákna je na obr. 411, 412. Označuje se jako "rod in tube". Tyčka je co nejtenější zasunuta do trubky. Obě se zavádějí do pece, kde dojde ke slinutí skel a z toho místa se táhne vlákno. Poměr průměrů ze pece, kde dojde ke slinutí skel a z toho místa se táhne vlákno. Poměr průměrů ze pece, kde dojde ke slinutí skel a z toho místa se táhne vlákno. Chceme-li získat preformu, trubka s indexem lomu n_2 se nahřeje na teplotu měknutí a nasune na tyčku s indexem n_1 , rovněž zahřátou. Protáhnutím průvláknem se obě části spojí. Při normálním ochlazení zůstává ostrý přechod mezi skly, ale dlouhým zahříváním proběhne difuze a měkče dostatek též přechod gradientní.

Druhým základním způsobem je metoda dvojitého kelímku (double crucible), obr. 413. Vnitřní kelímek obsahuje sklo s indexem lomu jádra, vnější sklo s indexem lomu pláště. Takto se táhnou vlákna s průměrem pláště 150 - 250 μm a průměrem jádra cca 50 μm , ale též vlákna gradientní a využitím difuze mezi vrstvami.

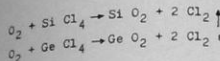


411

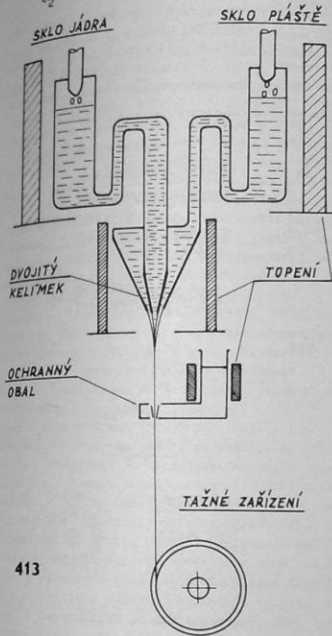
412

S počáteční na snížení útlumu ve světlovodu rostou i nároky na přesnost složení jádra. Pro některá spektra v oblasti infračerveného záření se docílily útlumy jen zlomek dB/km. Problém čistoty se tu řeší chemickými metodami, jádro se vytváří z plynné fáze (metoda MCVF).

Preforma pro tažení pláštových (nebo i gradientních) vláken s pláštěm z čistého SiO_2 se připraví např. tímto způsobem: křemenná trubka s cca 20 mm se upne do izolačních tělostí ve vřetenu (jako na soustružnu) a otáčí se. Trubkou se profukuje směs plynů. Základním plynem je kyslík O_2 , který probublává chloridy (SiCl_4 , GeCl_4 , PbCl_4 , B_2Cl_6) a tím se jímí v různé křemenné koncentraci směsí. Rotující trubka je zvnějšku zahřívána hořáky kysliko-vodíkového (nebo acetylenového) plamene. Ve žhavé poli uvnitř trubky se na jejích stěnách usazují voskavící oxidy, neboť proběhne reakce:



std., při teplotě kolem 1700 $^\circ\text{C}$.



413

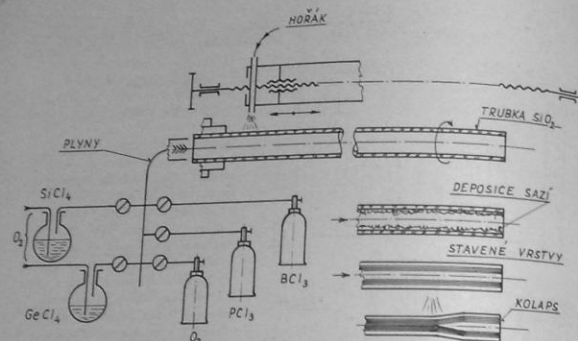
plynné reakce se používá též kyslíkového plazmatu, vyříjeného v plazmatronu.

Světlovodné kabely. Skleněný světlovod je křehký, málo odolný proti přetržení i zlomení a pokud je ukládán do země, musí být i chemicky rezistentní. Proto se vlákna obalují ochrannými kabely, z nichž některé obsahují i vložky z ocelových lanek. Příklad jednovláknového kabelu je na obr. 415. Jiná z mnohých způsobů uložení jsou na obr. 416.

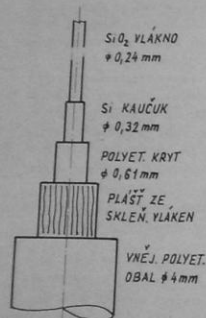
Kabel má určitou dovolenou křivost, která se nesmí překročit, jednak z důvodu poškození vlákna, jednak z důvodu průchodu světla.

Tyto oxidy vytvářejí vrstvy tzv. bílých sazí, obr. 414. Jak hořáky postupují střídavě sem a tam podél trubky, stavuje se vrstvička sazí a vytvoří tenký skleněný povlak. Začnou připouštěných chloridů se docílí, že každá vrstvička má jiný (větší) index lomu. Protože takových vrstviček je 50 - 100, vytvoří celkovou gradientní vrstvu, v níž index lomu roste od díry původní křemenné trubky až na vnitřní průměr deponované vrstvy. Potom se přivede plynů přeruší a trubka se dále za rotace zahřívá na teplotu okolo 2000 $^\circ\text{C}$. Přitom dochází k tzv. kolapsu, tj. smrštění trubky tak, až se díra zcela a vznikne tyčka - preforma o vnějším ϕ 12 - 14 mm a s deponovaného jádra 6 mm. Z této preformy se vytáhne vlákno s průměrem 125 μm a průměrem jádra 50 μm .

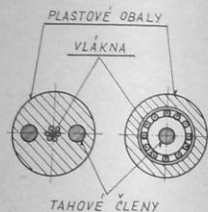
Jsou rozpracovány další techniky, jimiž se vyrábějí vlákna s průměrem jádra jen cca 5 μm , jednovláknové, mající pro určité vlnové délky v oblasti i.č. záření kolem $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ resp. 1,55 μm , útlum jen asi 0,2 dB/km. Pro



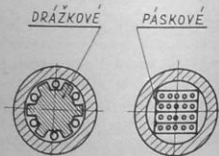
414



415



ULOŽENÍ



416

- AKR - SKP - Miniatur - Kugellager, katalog
 Borůvka a kol. : Lisování, SNTL 1971
 Borůvka : Crystal Technology, Wiley a Sons, New York 1975
 Burdakov : Základy technické optiky, Skriptum ČVUT 1987
 Burdakov : Delitělnost děla a jeho využití v praxi, SNTL 1985
 Podstava : Křemenné sklo a jeho využití v praxi, SNTL 1985
 Podstava : Automatizace dělitělných prací, Mašinstrojenije Leningrad 1969
 Gavrilov : Technologija aviaionnogo priborostrojenija, GIOP Moskva 1951
 Gavrilov : Technologie přesné mechaniky, Práce 1956
 Hájek : Přehled přesné mechaniky, SNTL 1961
 Hájek : Základy přesné mechaniky, SNTL 1961
 Hildebrand : Fertigungsgerechtes Gestalten ... Verlag Technik Berlin 1977
 Hildebrand : Fertigungsgerechtes Gestalten ... Verlag Technik Berlin 1974
 Kamenár + kol. : Základní kvalifikační učebnice, Přesná mechanika, Práce 1974
 Kamenár + kol. : Vybrané stati z přesné mechaniky, Skriptum, SNTL 1955
 Knievald, Šulc : Technologie přístrojové techniky, Alfa 1985
 Lapmaster International LTD - Prospekty
 LON - Wetzlar - Prospekty
 Masarek : Technologie přesné optiky, SNTL 1961
 Masarek, Šulc : Technologie přesné mechaniky a optiky, Skriptum, SNTL 1955
 Moore Optical - Flat Generator - Prospekt
 Moore M-18 Aspheric Generator - Prospekt
 Moore : Foundations of Mechanical Accuracy, Moore spec. tool Co. Bridgeport 1970
 Pettermann : Prospekty
 Rous : Sklo v elektronice, SNTL 1966
 Sborník : Opracování křehkých materiálů, Dům techniky ČSVTS Ústí n. L. 1987
 Sawig : Neuartige Fertigungsverfahren, C. Hanser München 1969
 Soboljev : Stanki točnej industrii, GIOP Moskva 1953
 Sobotka + kol. : Laboratorní cvičení, Skriptum ČVUT 1989
 Studenovský : Použití rastrů k měření délek a úhlů. Písemná práce kandid. FSI 1970
 Studenovský : Výroba matic a příprava diam. nástrojů ..., Sborník, Malé Škály 1976
 Šulc : Korundová ložiska, Výsk. zpráva ČVUT FSI 1964
 Šulc : Krystaly a jejich technické využití, Skriptum ČVUT 1983
 Šulc : Technologie přesné mechaniky, SNTL 1963
 Zýgo - Plano Optics - Prospekty

231