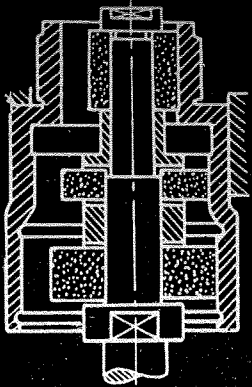


- A. Koubek
21, 22. **Soustružnické poliautomaty pro práci v hrotch a ve sklíděle.** Pracovní návod pro soustružnický pracovní návod pro soustružnických poliautomattech, pro technologů a záky závodních škol práce
- B. Ružička
23. **180 zlepšovacích návrhů na úsporu materiálu ve strojírenství.** Knížka pro konstruktéry, technologů, mistrů a zlepšovatele ve strojírenském průmyslu
- B. Janyš-K. Raftl
24. **Uplatnění obrábění na soustruhu.** Pomůcka pro dělníky a pro závodní školení soustružníků a přísušníků pracovních zdího
- Z. Kejval
25. **Tváření plechu II. Stroj, organizace a mechanizace lisování.** Brožurka o zásadách práce všech druhů strojů na zpracování plechu, o organizaci a mechanizaci jeho lisování. Je určena dělníkům, mistrům a technologům v lisovnách plechu
- J. Zizala, B. Kuřik
26. **Technologie dokončování dř.** Popisy několika nejpokročilejších metod dokončování dř. s návodem na jejich využití v praxi. Pro přední dělníky, mistry a technologů
1. Olejník, nositel Řadu práce
27. **Tváření plechu III. Nástroje pro zpracování plechu I. Střížné nástroje.** Základní údaje o střížných nástrojích a jejich využití. Brožurka pro nástrojáře, lisáře a seřizovatele v lisovnách
- F. Peichal, V. Krejny, F. Fährnich
28. **Elektrometalizace pro strojírenskou opravu.** Knížka o základních poznatcích, konstrukci přístrojů, obsluze a technologii metalizovaných povlaků. Je určena metalizérům, technologům a konstruktérům v opravárnách strojírenských závodů
- A. Koubek
29. **Několikvaretné soustružnické automaty na práci z železa a ve sklíděle.** Pracovní návod pro dělníky pracující na několikvaretných soustružnických automatech, pro technologů a závodní školy práce
- J. Borůvka
30. **Přesné a úsporné řezání pro klem-píse, mědičkové a koteláře.** Brožurka pro přední dělníky, mistry, kreslíče
- a kontrolory a jako učební pomůcka pro záky průmyslových škol a odborných učilišť
- Ing. J. Mandaus
31. **Strojování tlantim.** Knížka pojednávající stručně o strojování tlantim. Je určena pro svétoče ve strojírenských a jiných závodech, pro údržbáře, technologů a mistry a jako učební pomůcka pro řemeslný dorost
1. Outrata
32. **Broušení závitů.** Brožurka pro kvoilfikované brousče, mistry, dílenské technologů a malá učeníce, pro postlučce kursů pro zvyšování kvalifikace
- Kolektiv
33. **Nástroje pro novotý ve strojírenství.** Brožurka seznamující nástrojáře a konstruktéry nástrojů s novými konstrukčními řešeními nástrojů
- K. Jonečský
34. **Pomocné hliníkové nástroje.** Knížka pojednávající o technologii a hospodářském významu pomocného hliníkování z hlediska úspor dělníckým kovu. Je určena předním dělníkům a dílenským technologům
- Ing. J. Roněš
35. **Anodická oxydace hliníku.** Brožurka pro dělníky, mistry a dílenské technologů. Pojednává o technologii a hospodářském významu anodické oxydace
1. Studnička
36. **Bezpečné lisovací nástroje pro práci za studena.** Knížka pojednává o zvyšování bezpečnosti práce v lisovnách a o konstrukci bezpečných lisovacích nástrojů. Je určena předním dělníkům, mistrům, bezpečnostním technikům a seřizovatelům
- O. Morávek, Ing. V. Bobrovský
37. **Základy tepelného zpracování oceli.** Brožurka pojednávající o významu tepelného zpracování oceli pro strojírenskou výrobu. Pomůcka pro zvyšování kvalifikace kovářů, upravitelů, mistrů a dílenských technologů
1. Outrata
38. **Základní měřky.** Knížka určená předním dělníkům, mistrům a kontrolorům. Pojednává jen o základních měřkách a shrnuje základní informace o nich

05/60

04-219-62

Kčs 3,70



ohumil Dobrovolný

Broušení kovů

přepřacované vydání

SVTL

KNÍŽNICE STROJÍRENSKÉ VÝROBY

21.920.1
1. svazek KNIŽNICE STROJÍRENSKÉ VÝROBY

Bohumil DOBRVOLNÝ

Broušení kovů

Teoretické i praktické základy brusické praxe
s příklady nové techniky v broušení

Druhé, přepracované vydání

PRAHA 1962

SNT

STÁTNÍ NAKLADATELSTVÍ
TECHNICKÉ LITERATURY

Tato práce probírá stručně základy teorie i praxe broušení a popisuje přehledně pokrokové pracovní metody v brusírnách. Neprobírá ostření nástrojů, jemuž je věnován 38. svazek Kursu technických znalostí (Vlad. Chýle, Ostření řezných nástrojů, SNTL Praha 1961).

Je určena pro brusiče ve strojírenství jako pomůcka k zvyšování kvalifikace i jako učebnice pro odborné školy a ke školení dorostu průmyslu.



20738

Lektoroval Josef Růžička, První brněnská strojírna, závod Kl. Gottwalda
Redakce strojírenské literatury — hlavní redaktor Ota Kraus

© B. Dobrovolný — 1962

Předmluva	9
Základní pojmy při broušení	11
Brusiva a brusné nástroje	14
Brusiva	14
Zrnitost brusiva	17
Pojivo (vazba)	17
Tvrdość (stupeň soudržnosti)	20
Diamantové brusné a řezací kotouče	21
Brusné pomůcky s poddajným podkladem	21
Tvary a názvy brusných kotoučů	22
Stručná teorie broušení	25
Základní rovnice broušení	25
Jak řeže břit zrna třísku?	29
Řezná rychlost kotouče	29
Broušení velkými rychlostmi	30
Posuv v_m obrobku	32
Podélný (stranový) posuv s	34
Přísuv	36
Tlaky kotouče a výkon k pohonu brusky	37
Chlazení a mazání při broušení	38
Vnitřní chlazení brusných kotoučů	40
Broušený materiál	43
Brouitelnost oceli	43
Jistření při broušení	43
Drsnost broušeného povrchu	45
Změny v povrchu broušené součásti	47
Přidávky na broušení	49

Brusky	50
Pohon brusek	52
Uložení brusných větven	52
Posuvy	52
Automatizace brusek	53
Bruskové práce	56
Voľba brusného kotouče	56
Upnutí brusných kotoučů a segmentů	63
Orovnávání a ostření brusných kotoučů	63
Vyvážení brusných kotoučů	71
Upínání brusných obrobků	72
Měření při broušení	77
Broušení vnějších rotačních ploch	78
Normální broušení s podélným posuvem	81
Hlubkové broušení s podélným posuvem	82
Zapichování (broušení přísuvem)	84
Broušení osazeným kotoučem	84
Vnější bezhroté broušení	84
Broušení vnitřních rotačních ploch (děr)	85
Vnitřní broušení s podélným posuvem	85
Vnitřní broušení přísuvem (zapichování)	90
Vnitřní planetové broušení	90
Vnitřní bezhroté broušení	90
Poznámky k broušení rotačních ploch	90
Broušení rovinné (na plocho)	92
Rovinné broušení čelem kotouče	93
Rovinné broušení obvodem kotouče	93
Jemné broušení	94
Broušení válců válcovacích stolic	95
Tvarové broušení	95
Řezání brusnými kotouči	96
Honování	97
Superfiniš (přehlazování)	99
Lapování	100

Chyby při broušení, jejich příčiny a jak je odstraníme	104
Obsluha několika brusek současně	108
Bezpečnost práce při broušení	110
Literatura	112

PŘEDMLUVA

Knížnice Strojírenské výroby byla zahájena roku 1959 svazkem o broušení hlavně proto, že broušení je vůbec první a nejstarší způsob obrábění. Od pradávna se řezalo brusným nástrojem, kamenem. Brusilo se vlastně i obílí na mouku. V Leydenu se zachoval obraz kruhového brusku z r. 850. Brusky tvoří dnes ve strojárnách až pětinu strojíního parku, brusíče je už půl století z nejkvalifikovanějších kováků, a přece se o jeho práci dosud málo psalo. První lepší bruska byla postavena teprve r. 1876, přesné broušení známe sotva padesát let. Je to až překvapující, jak dobrých výsledků dosahují zkušení brusíči i na strojích starých třeba 40 let, které dokonale znají. Záleží ovšem na umění předčít všem závadám a využít všech výhod stroje, na ustavení stroje a vyloučení i nejmenšího chvění, na vyvážení kotoučů a motorů, na převodech, na vůli ve vedení a v ložiskách — prostě na kvalifikaci brusíče.

K tomu už nestačí, aby brusíče jen místrně ovládal svou práci, aby měl „zlaté ruce“. Potřebuje i jasnou hlavu, hlubší teoretické znalosti, aby mohl využívat nové techniky a dál ji rozvíjet.

Broušením docházíme k přesným rozměrům a k dokonalému povrchu a na tom stojí moderní strojírenství. Teprve přesnost umožnila sériovou výrobu vyměnitelných součástí, jen dokonalý povrch snáší dynamická zatížení, opotřebení, korozi, tření atd. Zvlášť málo je v praxi známo, jak se broušením mění jakost povrchu (škoro nic nevíme ostarě o tom, co vlastně se děje např. v povrchu obtažené bříty). Těmto otázkám se sice také věnujeme, zejména však ukážeme, jak hlubší znalost podstaty broušení přispívá k většímu výkonu i k lepší jakosti, jak na pohled nepatrná změna může zvýšit produktivitu práce a hospodárnost. V praxi nestačí jen popis práce, každý brusíč musí pochopit jádro zákonů, limitů se řídí celý pracovní pochod, čili musí pochopit jevy, s nimiž se setkává. V tom se mnoho zabývá, praxe předbíhá teorii.

Podívali se starší brusíř zběžně do textu této knížky, bude se mu snad zdát, že v ní není nic pro něho. Uvidí vzorce a výpočty, s nimiž se dosud v praxi nesetkal, které vypadají příliš učeně nebo i zbytečně. Ve skutečnosti však denně používá jejich výsledků. Občas hledá něco zkusmo, protože neví, že se to může lehčeji vypočítat nebo změřit. Teprve vzorce a výpočty řadí zkušenosti do přesného pořádku a stanoví jejich zákonitost. Zákon je pak páteří všeho, neboť to je návod k řešení nových úloh, pro něž ovšem ještě zkušenosti nemáme. V tom je význam teorie: omezi nekonečné pokusnictví na nejmenší míru, usměrni nás k hledání věci nových, a tím zkvalitní naši práci. Technické zákony jsou ve zkratce vyjádřeny početními vzorci, a proto se kvalifikovaný brusíř neobejde bez znalosti základů matematiky.

Věříme, že studiem této knížky pozná každý brusíř, proč věda o broušení, o níž se našim otcům ani nezdařilo, je nezbytným předpokladem k pochopení složitých vztahů mezi kotoučem a materiálem, mezi přičinami a následky, s nimiž se v praxi setkáváme a někdy ani nevíme, proč jsou právě takové a ne jiné. Jako každá dobrá práce ani brusičství se nemůže obejít bez vědy. Tím se omlouváme praktikům, jímž se některé části této malé knížky mohou zdát příliš „učené“. Musí to tak být, teorie a věda stanoví zákony, bez nichž by byla praxe slepá.

B. Dobrovolný

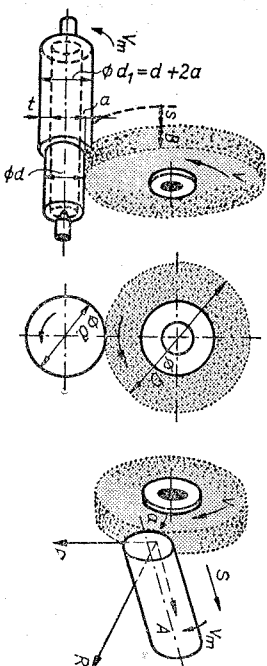
Poznámka:

Pro nové, druhé vydání byla tato brožura podstatně přepracována, neboť zatím vyšel základní svazáček Broušení v knižnici Kurs technických znalostí, věnovaný úvodnímu studiu. Proto zde opakujeme základní pojmy jen stručně a věnujeme se hlavně pokročilejším otázkám a nové technice.

ZÁKLADNÍ POJMY PŘI BROUŠENÍ

Brusná zrna, at již volná nebo stmelená pojivem v brusné nástroje (např. kotouče), řezou svými hranami z povrchu obrobku (broušeného materiálu) jemné třísky.

Nejběžnější je broušení vnějších rotačních ploch brusným kotoučem, obr. 1. Kotouč se točí, jeho obvod má řeznou rychlost v [m/s], např.



Obr. 1. Broušení vnějších rotačních ploch

30 m/s. Obrobek se také točí, obvykle proti směru otáčení kotouče a jeho obvod koná kruhový posuv (rychlost podávání) v_m [m/min]. Kotouč (nebo obrobek) koná ještě podélný (axiální, stranový) posuv s [v mm/ot obrobku] ve směru osy obrobku. Kotouč má přísuv a [v mm nebo mm/ot obrobku].

Obrousí-li kotouč podélným posuvem celou předepsanou délku, vykonal jeden záběr (průchod). Buď se hned vrátí zpět, nebo se po každém záběru přísuvem a přiblíží k ose obrobku a pak teprve koná podélný posuv. Najednou (na jeden záběr) se ubírá vrstva tlustá a ; postupně se ubrousí celý přídavek na broušení t . Jeden přísuv a

připadá buď na každý zdvih, nebo na každý dvojzdvih brusného kotouče. Na obrobek tlačí kotouč radiálním tlakem R , axiálním tlakem A a v tečné k obvodu působí řezný odpor P .

Vzhledem k řeznému odporu a poddajnosti mezi obrobkem a kotoučem zůstává kotouč trochu zpět, za přísuvem brusných saní. Toto zpoždění se projeví jako napružení mezi kotoučem a obrobkem. Zatímco saně ujedou dráhu rovnou přísuvu do hloubky a , zpozdí se kotouč o napružení. Abychom obrousili celou vrstvu a , musíme broušení prodloužit o čas na dojiskřování. Je tedy dojiskřování v podstatě broušení bez přísuvu při daném počátečním napružení. U dřeva u tenkých obrobků může být čas k dojiskřování i několikrát delší než čas k broušení s přísuvem, takže čas na dojiskřování je tak hlavní složkou celkového strojního času. V takových případech se osvědčily větší řezné rychlosti kotoučů, které zlepši řezivost a zkrátí čas na dojiskřování.

Ocupený kotouč téměř nebrousí. Zrna ztratila ostré hrany, avšak ještě drží poživem pohromadě. Také se kotouč může ucpat třískami, které se napěchovaly do pórů mezi zrny, a brusný kotouč pak „tlačí“, a nebrousí. Tupý kotouč znovu naostříme tím, že ho orovnáme (obtáhneme) např. krystalem diamantu, jímž se tupá zrna vytlámu a zároveň se povrch kotouče orovná. Orovnáváním ovšem kotouče rychle ubývá.

Snažíme se upravit řezné podmínky (rychlosti, posuvy atd.) tak, aby kotouče pracovaly se samoostřením, tj. aby se tupá zrna sama vytlámovala, když se přiměřeně ocupí. Jenže v praxi se to skoro nikdy nedáří, kotouče pracují až k ocupení a neostří se samy. Úbytek kotouče až k ocupení je při normálním broušení oceli např. desetkrát menší než střední vzdálenost zrna. To nestačí k vylovení zrna, které drží pevně v kotouči, i když už kotouč nemůže brousit. Teprve při broušení tvrdě, těžko obrábitelné oceli nebo slinutého karbidu se kotouče někdy samy ostří. Zvětšíme-li značně přísuv, může ubývat kotouče více než obrobku, čímž broušení se vlastně změnilo v orovnávání kotouče dřecem, obrobek se změnil v orovnávací kladku.

Samoostření kotouče někdy dosáhne vhodné změnou rychlosti kruhového posuvu (podávání) nebo přísuvu, nebo snadněji a přesněji změnou řezné rychlosti. Proto je nuno, aby nové brusky měly řeznou

rychlost v rozsahu např. 25 až 38 m/s plynule měnitelnou. Tím, že na nich nastavíme nejlýhodnější (optimální) řeznou rychlost, zkrátí se čas k broušení, prodlouží se trvanlivost kotouče a klesá spotřeba brusiva.

Trvanlivost brusného kotouče je doba broušení (např. 3 až 15 min), po níž se kotouč ocupí, a tím se značně a trvale změní řezný odpor, amplituda (rozkmít) chvění aj. K měření těchto hodnot navrhl náš Výzkumný ústav obráběcích strojů (VÚOSO) vhodné měřicí zařízení. Ocupili se kotouč, vzrůstá řezný odpor, zhoršuje se jakost broušeného povrchu (drsnost např. vzroste až dvojnásobně), roste hluchost, více ubývá kotouče, vznikají opaly na obrobku, chvění (vibrace) aj. Nejsnadněji z toho sledujeme řezný odpor, a to jeho radiální složku, který při určitém ocupení prudce vzrůstá. Pokusy však ukázaly, že trvanlivosti určené z řezného odporu jsou značně různé, odpor např. střídavě roste a klesá. Zdá se, že se ocupení kotoučů spolehlivěji určí podle chvění nebo podle zvuku.

Měrné (specifické) opotřebení kotouče určuje, kolik cm^3 objemu kotouče je zapotřebí k odbroušení 1 cm^3 materiálu. Někdy počítáme s váhami; např. při broušení vnějších válcových ploch se kotouč opotřebí o 1 kg, když odbrousí asi 10 až 20 kg oceli nebo 15 až 50 kg litiny. Obvykle však počítáme jen s 3 až 10 kg oceli.

Měrný (specifický) obrys čili součinitel (koeficient) broušení K_s je převrácená hodnota měrného opotřebení. Určuje, kolikrát je objem obroušeného materiálu větší než objem úbytku kotouče. U uhlíkové nástrojové oceli je např. $K_s = 3$ až 4, u rychlořezné oceli 4 až 12, u strojních ocelí 40 až 80.

Životnost brusného kotouče je celkový čas v minutách, po který kotouč brousí, než se musel vyřadit. Kotouč nemůžeme na brusce spotřebovat celý. U každé brusky se z praxe určí, kdy se zmenšený kotouč vyřadí pro práci na menší brusce. Příliš malý kotouč na větší brusce by zvětšoval režii a plýtvál energií.

Řezivost brusného kotouče je rychlost, jíž kotouč vniká do broušeného materiálu při jednotkovém řezném odporu. Závisí na řezných podmínkách, na vlastnostech kotouče a na broušeném materiálu. Se vzrůstající řeznou rychlostí se řezivost zlepšuje, protože se zmenšuje řezný odpor, a tím se úměrně zkracuje i čas na dojiskřování.

BRUSIVA A BRUSNÉ NÁSTROJE

Brusivo je krystalická nebo zrnitá látka, jejíž tvrdá a ostrohraná zrna mohou obrušovat jiné látky. Brousíme volnými zrny (brusné, leštící a lapovací prášky) např. při lapování; zrny rozpštěnými v mazadlech (brusné a leštící pasy); zrny přilepenými k plátnu nebo k papíru a zrny spojenými v brusné nástroje.

Brusný nástroj je určen podle ČSN 22 4010 druhem brusiva, zrnitosti brusiva, tvrdosti (soudržnosti), slohem (strukturou), druhem pojiva, které, drží zrna pohromadě. Nejčastěji je to brusný kotouč, mohou to být též brusné plínlíky, obtahovací, honovací a superfinišovací kameny, brusné segmenty aj.

Brusiva

Přírodní brusiva jsou nečistá a nestejnoměrná (křemen SiO_2 , písek, pískovec, pazourek; přírodní korund Al_2O_3 ; přírodní smírek). Nahrazují se umělými brusivy, u nichž můžeme zaručit stejnoměrná zrna určitých vlastností. Výjimkou je diamant, jehož jemný zrněný náspř uložený v kovu nebo v plastické hmotě se hodí k broušení nejtvrdších hmot; práškem diamantu se lapuje.

U měli brusiva. Umělý korund (tavený kysličník hlinitý Al_2O_3 , angl. alundum) vyrábíme v elektrických obloukových pecích z bauxitu a koksu. Korundem brousíme ocel, a proto přes 80 % všech brusných kotoučů vyrábíme z elektrokorundu. Jeho složení určuje norma ČSN 22 4040-4044. Nejčistší, a tím i nejlepší je korund bílý (ovšem jen surový výrobek z něho se barví cihlově červeně), obsahující 98 až 99 % Al_2O_3 . Méně čisté druhy (hnědý a černý) mají 93 až 98 % Al_2O_3 . Jakost a vlast výroba je drahá a obtížná, u nás je zatím dost vzácný a používá se ho nosti umělého korundu značně závisí na výrobním postupu a na chlen v prášku k lapování slinutých karbidů aj. Nepodařilo se dosud vyrobit mickém složení korundového zrna (např. korund s kysličníkem titu B_2C brusné nástroje s keramickým pojivem.

ničtým je mnohem tvrdší než bez něho; tvrdost se též zvětší kysličníkem chromitým aj.), avšak ještě větší význam má mineralogické složení v tavbě. Právě rozdíly tohoto složení jsou příčinou toho, že vyrobená zrna jsou jednou lepší a jindy horší. Velmi záleží i na drcení zrn z bloku taveniny.

Krystaly korundu jsou spíše houževnaté než tvrdé, břity zrn jsou víc zaobleny než břity zrn karbidu křemíku. Elektrokorund se zrnem 80 měl poloměr na ostří zrn 0,008 mm; karbid křemíku se zrnem 46 měl poloměr na ostří hran 0,004 mm.

Novinkou u nás je růžový korund, obsahující Cr_2O_3 , nazvaný rubín, který je tvrdší a houževnatější, a dává lepší výbrus povrchu než obvyčejný korund. V zahraničí se vyrábí tzv. monokorund přímo v krystalech (ne tedy v bloku, který se drtí). Protože krystaly vyrůstají při výrobě, nejsou narušeny, nemají ani vnitřní pnutí a jsou pevnější. Zvlášť se osvědčují při broušení speciálních ocelí.

Karbid křemíku, karborundum (siliciumkarbid, SiC , angl. carbolite, crystalon, čarborundum aj.) má tvrdší zrna než korund, s hladkým povrchem a s kovovým leskem. Výroba je drahá, protože je velká spotřeba elektřiny a jsou nutné čisté suroviny. Tvrdost poznáváme podle barvy zrn. Nejtvrdší jsou zelená zrna C49, se 49 % uhlíku, pak šedá C48 a černá C47. Hodí se k broušení tvrdých a křehkých hmot (slinuté karbidy, šedá a tvrzená litina) a kovů malé pevnosti (hlíník, měď, mosaz, měkké bronzy), protože tu má zrna dále ostré hrany a nevydrojí se řezným odporem. Korund se na barevných kovech rychleji otupí, kotouče se často orovnávací, a tím rychleji ubývají. V poslední době se však ukázalo, že někdy se SiC hodí také k broušení ocelí; např. u kalených ocelí KLZ aj. dával SiC lepší výbrus povrchu než korund.

U hnutí, tvrdých materiálů je spotřeba kotoučů z SiC větší než korundových, zrna se přiliš brzy vylamují.

Karbid boru (borkarbid B_2C) je ještě tvrdší než SiC a dobře nahradí i diamant. Je velmi pevný v tlaku, má vysoký bod tání, a proto výborně snáší žár a vzdoruje chemickým vlivům. Může se i spékat v tíska. Výroba je drahá a obtížná, u nás je zatím dost vzácný a používá se ho jen v prášku k lapování slinutých karbidů aj. Nepodařilo se dosud vyrobit mickém složení korundového zrna (např. korund s kysličníkem titu B_2C brusné nástroje s keramickým pojivem.

Značení brusných kotoučů podle ČSN 22 4510 (též Norton aj.):

značka výrobce — ELEKTRIT

Ø × šířka v mm — 175 × 20 ČSN 22 4510 — číslo normy

A99		60		K		9		V	
Druh brusiva		Zrnitost		Struktura		Pojivo			
Pazourek	P	velmi hrubá		velmi hutná		Keramické (vitrified)	V		
Granát	G	hrubá		hutná		Silikátové (silicate)	S		
Smírek	S	střední		polohutná		Magnezitové (oxychloride)	O		
Kysličník hlinitý (aluminium oxide)	A99	jemná		pórovitá		Šelak (shellac)	E		
Karbíd křemíku (silicon carbide)	B	velmi jemná		velmi pórovitá		Přýž (rubber)	R		
		zvlášť jemná		zvlášť pórovitá		Umělá pryskyřice (resinoid)	B		
						Klih	C		
						Pájka měkká	L		
Karbíd boru	B					Pájka tvrdá	T		
Diamant	D								

Velmi měkký	Měkký	Střední	Tvrdý	Velmi tvrdý	Zvlášť tvrdý
LMNO	HIK		PORS	TUV	XYZ

Porovnání ceny základních brusiv:

Brušivo	Al ₂ O ₃	SiC	B ₄ C	diamant
cena za 1 kg asi	2	7	550	500 000 Kčs

Zrnitost brusiva

Zrna brusiva se třídí podle velikosti proséváním síty a plavením (sedimentací, jsou-li jemná). Velikost zrn se značí čísly od 4 do 1000 (u nás podle ČSN 22 4013-14) zrnem, jehož je v kotouči asi 50 %. Může tam být po 25 % zrn hrubších nebo jemnějších.

Pro čísla 8 až 240 značí zrnitost počet ok síta na délce 1 palce (25,4 mm), jímž zrna naposled propadnou, je-li drátek síta tlustý čtvrtinu roztře ok. Převládí jsme stejné označení jako Norton v USA, které je zavedeno i v SSSR a nověji v Německu. Jemnější (plavená) zrna značí M32 až M5 se měří buď mikroskopem při 600násobném zvětšení nebo se značí časem v minutách, potřebným k sedimentaci. Elektrokorund zrnitosti 36; 46; 60; 80 měl v 1 gramu asi 4750; 10 000; 30 000; 41 800 zrn (viz Karpov, časop. Stanke i instrument č. 7, 8, 1941).

V různých státech, v literatuře a v prospektech jsou zavedena i jiná značení zrnitosti, která se velmi liší od našich, a proto musíme při porovnávání údajů vždy zjistit, podle které stupnice je zrnitost určena. Např. německá norma DIN 1171 značila zrnitost počtem ok síta na 1 cm (naše č. 60 odpovídá č. 370 DIN, atd).

Pojivo (vazba)

Pojivo čili vazba brusných nástrojů spojuje zrna a jeho množství, druh a zpracování určuje tvrdost nástroje. Tím se ze stejné tvrdých zrn vyrábějí kotouče různé tvrdosti.

Keramické pojivo je z čistých ohnivzdorných hlín a přísad a je nejrozšířenější (u 90 % všech kotoučů na kovy, pro rychlosti do 50 m/s, nerpí vodou, olejem, kyselinami). Jeho křehkost se někdy zmenšuje napouštěním plastickou hmotou. Kotouče se nejčastěji lijí, též se pečují, lisují; pórovitost se řídí množstvím a kombinací několika

velikosti zrn i pojiva. Po vysušení se vypalují. Je-li vypálené pojivo překročením teploty příliš tvrdé, změkčuje se dodatečně částečným porušením stlačením vazby, např. roztokem hydroxydu sodného. Zesílá se tím tlusté můstky pojiva mezi zrnny. Tak se mohou opravit i staré, nevhodné kotouče ze skladu.

Karborundová zrna (SiC) mají hladký povrch, který se jen špatně váže s keramickým pojivem. Zrna z korundu (Al_2O_3) mají drsný povrch a pojivo se s nimi váže dobře. Proto zrna SiC drží špatně ve vazbě a vypalují po ubroušení necelé poloviny. V prachu je 2,5krát více zrn SiC než při stejné práci s korundovým kotoučem. Proto je potřeba karborundových (dražších) kotoučů značně větší než spotřeba korundových kotoučů. SiC je tvrdší a méně houževnatý než korund. Jeho krystaly se snadno lámou a mají proto lepší hrany než krystaly korundu. Při výrobě brusiv umíme připravit korund, který se vlastnostmi blíží SiC (do tuhnutí masy brusiva se např. přidá alkálie, z níž se tvoří plyn, který poruší vznikající krystaly, zeslabí je). Pak se ho může použít i místo SiC.

Silikátové (křemičité) pojivo (ze směsi hlíny, křemičitého prachu a vodního skla) se po vylisování a vysušení vypaluje jen při nízké teplotě (do 300 °C). Proto je výroba rychlejší a levnější a pojivo je měkčí než keramické. Dělají se tak hlavně velké kotouče a kotouče na nástroje na dřevo, papír aj. pro menší rychlosti (do 25 m/s).

Magnezitové pojivo (z magnезitu a chloridu vápenatého), se hodí k broušení za sucha do rychlosti 15 m/s (zvláště u velkých průměrů do 2,5 m místo pískovce), protože vlhkostí ztrácí pevnost. Také se tak dělají mlýnské a šrotovací kameny.

Šelakové pojivo (z taveného rostlinného šelaku) se hodí na některé jemné kotouče (do rychlosti 60 m/s), na řezací kotouče (s vrstvou zrn SiC se šelakovým pojivem na ocelovém středě), na ostřicí kotouče aj.

Pryžžové (vulkanitové) pojivo, kaučuk s 30 % síry, se osvědčilo na pružné kotouče do rychlosti 45 m/s; je pevné, nesnáší však zahřátí nad 150 °C, kdy kotouč měkne. Proto jímí brousíme vždy s chlazením. Dělají se tak nejmenší kotouče i 0,25 mm tlusté, k jemnému broušení a k ostření, např. kotouče na kuličky a kroužky valivých ložisek, řezací

brusné kotouče, kde mohou působit i boční síly, většina opěrných kotoučů bezhrotových brusek.

Pojivo z umělé pryskyřice (např. bakelitu) je vhodné i pro největší rychlosti (do 80 m/s) u řezacích kotoučů (těž na kyvadlových bruskách) na přesné a jemné práce i na závit aj. Je pórovitě, kotouče se nezahřívají, ale nesnesou ohřátí přes 180 °C. Vazba z umělé pryskyřice drží hladká karborundová zrna (SiC) asi stejně jako keramická vazba, korundová však drží méně. Keramická vazba drží lépe korundová zrna; proto je životnost korundových kotoučů s keramickou vazbou při broušení některých ocelí značně delší než životnost kotoučů s bakelitovou vazbou. Aby se životnost kotoučů prodloužila, osvědčuje se zvětšit řeznou rychlost kotouče.

Sloh (struktura). Čím méně pórů zbylo v brusném nástroji, tím hutnější je nástroj. Hutné kotouče brousí jemněji. Pórovité kotouče mají mezi zrnny větší prostory na třísky, brousí „chladičněji“, mohou však snadno ztráct vyvážením nasávkám kapalin. Nezašlejší se třískami, výkon roste, hodí se k broušení dřeva a rovinných ploch, kde je velký styk kotouče s povrchem. Proto jde vývoj k velmi pórovitým kotoučům. Korundové kotouče pak nahradí i dražší a dovožené kotouče karborundové. Snesou také větší řezné rychlosti. Tak se došlo ke kotoučům, v nichž tvoří póry 70 % objemu. Zvláště dobře se osvědčují na měkkých, mazlavých materiálech (plasti, korku, kůži), ale i na nejtvrdších kovech. Ucpání pórů třískami zvyšuje tření, kotouč pálí. Proto už dávno neplatí, že větší množství pojiva prodlouží životnost kotouče, naopak pórovitější kotouče jsou často nejtvanlivější. Lité kotouče mají obvykle rovnoměrnější, a tím i lepší sloh než kotouče lisované, a proto lépe brousí. Střední vzdálenost l v mm mezi zrnny závisí hlavně na zrnitosti, málo na struktuře. Např. pro elektrokorund:

Struktura číslo	4	5	6	7	8
zrno číslo 36, $l =$	0,465	0,475	0,479	0,484	0,490
zrno číslo 80, $l =$	0,225	0,228	0,231	0,234	0,241

Struktura brusného nástroje se měří podle normy ČSN 22 4048 pomocí nasáklivosti, jinak též např. podle propustnosti vzduchu.

Tvrdost (stupeň soudržnosti)

Změnou pojiva, jeho druhu, vlastností, množství aj. se řídí tvrdost nástroje; můžeme ji měřit např. vrypem dletem, podle délku po ocrýsání pískem, vtláčením kuličky (metoda Brinor), drcením kladíčkou, vnikáním dleťá rázy, podle zvuku aj. V praxi však je rozhodující pracovní tvrdost, která závisí na mnoha činitelích, jako jsou změny rychlosti, vyvážení, tuhost obrobku a stroje, síťka kotouče, přísuv, mazání a chlazení kotouče, ostření vylomů, čili klesání jejich pracovní tvrdosti. Chvěje-li jejich zrna se snadněji vylomí, čili klesá jejich pracovní tvrdost. Chvěje-li se bruska, volíme o něco tvrdší kotouč; rovněž tak při malé styčné ploše mezi kotoučem a obrobkem, aby se zrna nevylamovala předčasně.

Není ovšem pravda, že čím tvrdší je kotouč, tím déle vydrží. Naopak takový kotouč se rychleji otupí, musí se častěji ostřit, a tím ho rychleji ubývá. Tvrdší kotouč může brousit i menší rychlostí, ale příliš tlačí na obrobek. Tím se zesiluje chvění a zhoršuje výbrus povrchu. Měkčí kotouč má stejný výkon při větší řezné rychlosti, s menším tlakem, protože každé zrno řeže menší třísky.

Kotouč je pro práci příliš tvrdý, když páli, skoro neřeže, jen leští povrch a změny kruhového posuvu v_m (podávací rychlosti) obrobku nepomáhají. Kotouč je pro práci příliš měkký, když ho příliš ubývá i při zmenšení kruhového posuvu v_m obrobku. Čím větší průměr brousíme, tím měkčí volíme kotouč, nebo tím větší volíme v_m obrobku. Čím menší průměr brousíme, tím tvrdší může být kotouč nebo tím menší volíme v_m obrobku.

Pro broušení vnějších válcových ploch volíme kotouče J, K, L, M; rovinných ploch H, I, J, K; pro broušení děr F, H, I, J. Jeden stupeň tvrdosti (rozdíly o jedno písmeno) odpovídá asi jednomu stupni zrnitosti v základní Nortonově řadě 12; 24; 36; 70; 120, čili kotouče

200 I	120 J	70 K	36 L	24 M	12 N
-------	-------	------	------	------	------

jsou přibližně navzájem zaměnitelné. Jeden můžeme zaměnit za sousední z této řady a brousí asi stejně.

Jakost výbrusu závisí též na povrchovém napětí, které se broušením vytvoří, je často až 1000 kg/cm² a zmenšuje pevnost i odolnost

obrobku proti korozi. Měkčí kotouč zanechá v povrchu menší napětí než tvrdý. Výkon kotouče až k určité tvrdosti (např. u oceli k tvrdosti asi L) roste, při větší tvrdosti prudce klesá a v broušeném povrchu se tvoří velká a škodlivá pnutí (blíží je v časop. Metalworking Production 28. XI. 1958).

Vlastnosti brusných kotoučů a jejich hodnocení popisuje J. Říčka v časop. Strojírenství č. 5, 1960 str. 357. Probírá hlavně zkoušky brusných kotoučů a největší zkušební přístroje podle norem ČSN, GOST a DIN.

Diamantové brusné a řezačí kotouče

(ČSN 22 4600 sada)

Tyto kotouče se dělí podle zrnitosti, druhu pojiva a stupně koncentrace diamantu v pojivu. Zrnitost se určuje jako u jiných brusiv. Pojivo je buď z umělé pryskyřice (značka B), nebo kovové (měkká pájka M, tvrdá pájka T). Koncentrace diamantového prášku v brusné vrstvě na kotouči je skutečný obsah diamantu v 1 cm³ brusné vrstvy, vyjádřený váhou v karátech (1 karát je 0,2 g). Např. pro kotoučky do průměru 10 mm s pojivem B je koncentrace asi 5; pro průměr 10 až 30 pojivo M a T asi 3,6; pro pojivo B asi 2,6; pro průměry přes 30 mm, pojivo M a T asi 2,4, pro pojivo B asi 1,8. Pro řezačí kotouče s pojivem M a T asi 14.

Tloušťka brusné vrstvy s diamantem, není-li normou určena jinak, je u kovového pojiva 1,5 mm, u pojiva B asi 2 mm. Příklad značení diamantového kotouče průměru 75 mm:

Výrobce . . . → XXXX 75 ČSN 22 4662 — 120 B ← . . . pojivo
 ———— | ———— | ————
 průměr norma zrnitost

Brusné pomůcky s poddajným podkladem

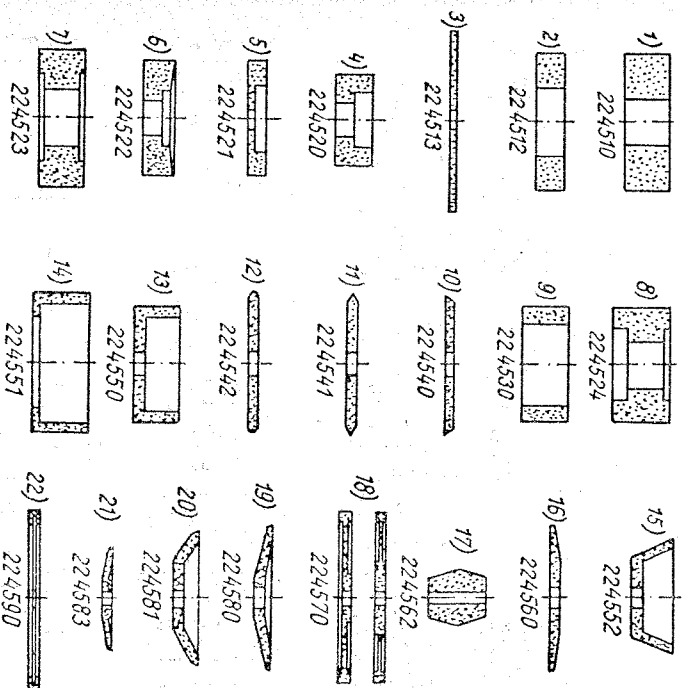
Jsou to brusné papíry, brusná plátina a brusné kombinace (s kombinovaným podkladem z papíru a textilních tkanin nebo filtru a textilních tkanin). Podle tvaru to jsou listy, svítky, pásy, kotouče aj. Pracují za

sucha nebo s chlazením (za mokra). Brusivo na nich je pazourek (na dřevo, kůži), smírek a umělý korund hnědý (na tvrdší dřevo, umělé hmoty, ocel aj.), umělý korund bílý (na tvrdé dřevo, ocel), karbid křemíku (na barevné a lehké kovy, laky, smalty, litinu, kůži aj.), sklo (na měkké dřevo). Pojívem je kožní klič pro broušení za sucha a umělá pryskyřice pro broušení s chlazením. Rozsah zrnitosti je velmi značný, od 16 až do M32 (např. skelný papír 30 až 150; korundový kepr hnědý 24 až 32M; korundový papír bílý 45 až 150; korundová kombinace hnědá 16 až 36; siliciumkarbidový kepr 16 až M32 atd.).

Tvary a názvy brusných kotoučů

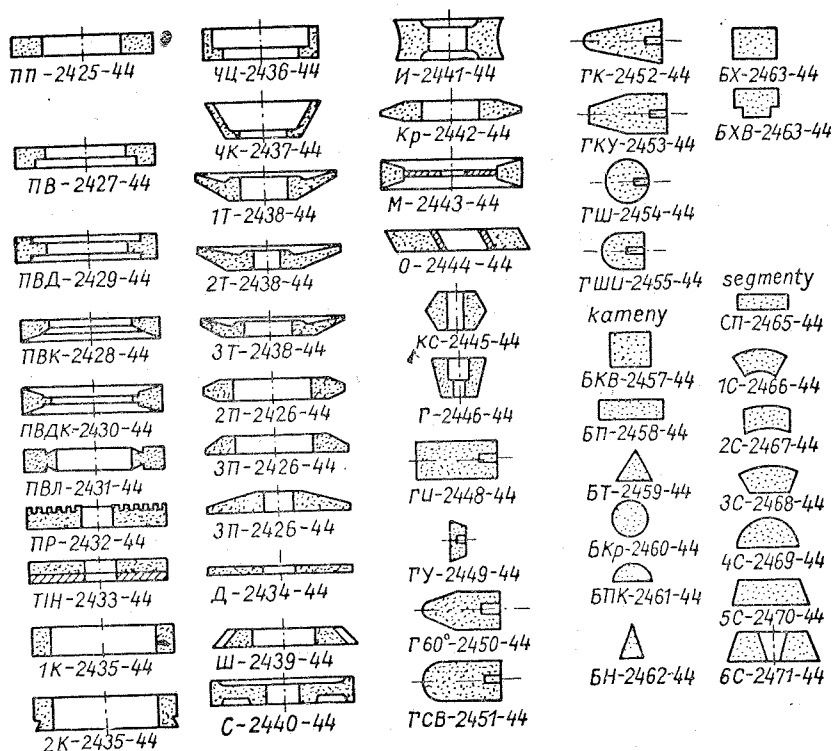
Rozdělení kotoučů podle tvaru, způsobu pnutí, účelu a jakosti je na obr. 2 a 3. U každého tvaru je číslo normy ČSN, v níž jsou rozměry kotoučů. Nejběžnější jsou kotouče ploché (1, 2). Jejich šířka nemá být příliš větší než délka broušené součásti, protože pak se kotouč opotřebí většinou jen na části šířky, ale orovňuje se celý. Užší kotouče s keramickou vložkou se mohou slepit tmelem „lederit“ na sebe v širší kotouč. Na čelo kotouče se nasype 2 mm lederitu v prášku, který se zahřeje asi na 120 °C, kdy se prášek taví. Pak můžeme kotouče stlačit na sebe a pootočit jimi, aby se tmel rozdělit rovnoměrně. Tmel se nemá dostat až k okrajům spáry, poněvadž je po ztuhnutí tvrdý a vadí při obtahování.

Brusné segmenty jsou vhodné k obroušení většího množství materiálu. Protože brusí přerušovaným povrchem, může se použít tvrdších druhů brusiva než u plných kotoučů. Prostorem mezi segmenty může protékat řezná (chladičí) kapalina, která čistí povrch součásti. Musíme věnovat největší péči seřízení a vyvážení segmentů. Zvláště dobré jsou výsledky u křehkých, úzkých součástí, kdy má rovinná bruska větší výkon než stejně velká frézka. Segmenty brusí většinou čelem. Neoheňávají tolik broušený povrch jako plné kotouče, protože se sřítávají s povrchem na menší ploše a jsou mezi nimi mezery. Na přesné, úzké součásti používáme však raději plných kotoučů, protože chvěním a pružením segmentové hlavy vznikají na broušené ploše vlnky hluboké až 0,005 mm.



Obr. 2. Brusné, řezací a leštící kotouče (ČSN 22 4500)

1 — brusné kotouče ploché; 2 — brusné kotouče ploché s velkým otvorem; 3 — řezací a drážkovači kotouče; 4 — brusné kotouče s jednostranným vyhrábním; 5 — brusné kotouče na ostření vrtáků; 6 — brusné kotouče se zkosným vyhrábním; 7 — brusné kotouče s oboustranným vyhrábním; 8 — podávací kotouče pro bezhruté brusky; 9 — brusné kotouče prstencové; 10 — brusné kotouče jednostranně zkosné; 11 — brusné kotouče oboustranně zkosné; 12 — brusné kotouče zaoblené; 13 — brusné kotouče hrncovitě; 14 — brusné kotouče hrncovitě s velkým otvorem; 15 — brusné kotouče míškovité; 16 — brusné kotouče kuželové; 17 — brusné kotouče na ostření noží začal strojů; 18 — brusné kotouče na třmenové kalibry; 19 — brusné kotouče táhlové; 20 — brusné kotouče na frázy na dřevo; 21 — brusné kotouče na obuvnické frézy; 22 — řezací kotouče na kámen



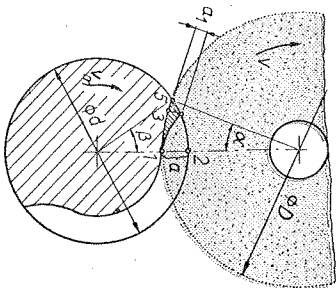
Obr. 3. Sovětské značky brusných kotoučů, kamenů a segmentů podle norem GOST 2424-44 až 2471-44

Brusle musí vědět nejen jak pracovat dobře a hospodárně, ale také proč jsou určité zásady nutné. K tomu dojde jen studiem teorie, která objasní příčiny složitých jevů při broušení. Dosavadní teorie není úplná. Vychází většinou z řezných podmínek jednoho zrna a převádí výsledky na celý kotouč. To nevede k správným závěrům, neboť při broušení záleží velmi mnoho na vlastnostech brusky i na kotouči jako celku (na jeho struktuře, stejnorodosti, pracovní tvrdosti aj.).

Základní rovnice broušení

Při broušení vnějších rotačních ploch pracuje kotouč podle obr. 4. Tím, že se otáčí obrobek i kotouč roste hloubka řezu od nuly v bodu 1 až na hodnotu a_1 , což je největší hloubka řezu (nebo tloušťka ubírané vrstvy-řísky). Kotouč sestává s obrobkem na stejném oblouku od 1 do 5, dlouhém L . Radiální přísuv a je radiální hloubka řezu 12 (tloušťka ubírané vrstvy).

Za jednotku času T přijde bod 1 na kotouči do polohy 5 a zároveň bod obrobku 5 přijde do polohy 4. Od brousi se přířez 145. Zvětšili se nějak hloubka řezu a_1 , vytlumují se oscilace zrna dřívě, čímž kotouč brouší, jako kdyby byl měkký. Zmenšili-li se a_1 , brouší kotouč, jako kdyby byl tvrdší. Hodnotu



Obr. 4. Broušení vnějších rotačních ploch (do kulata)

a_1 měníme změnami posuvu v_m nebo přísuvu a . Zmenší-li se opočetbením průměr kotouče D , zkrátí se jeho styčný oblouk L , vzroste hodnota a_1 , čili menší kotouč brousí měkčeji. Je-li

L délka styčného oblouku 1—5,

T jednotka času,

v, v_m obvodové rychlosti kotouče a obrobku,

a_1 největší hloubka řezu (tloušťka třísky),

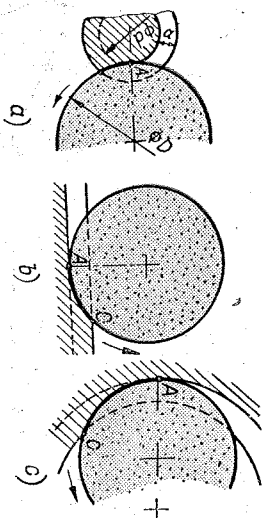
n počet ostří zrn na jednotku délky obvodu kotouče, platí vztahy:

$$T = L : v$$

$$54 = v_m T : 34 = v_m T \cdot \sin(\alpha + \beta);$$

$$a = \frac{34}{n \cdot L} = \frac{v_m T}{n \cdot L} \cdot \sin(\alpha + \beta) = \frac{v}{n \cdot v} \cdot \sin(\alpha + \beta) \quad (A)$$

Rovnice (A) vyjadřuje názorně základní vztahy při broušení. Právě, že přísuv a závisí přímo na kruhovém posuvu v_m obrobku a na sinu $(\alpha + \beta)$, nepřímo na řezné rychlosti kotouče. Zdvojnásobení přísuvu a (zvětší tloušťku třísky asi o 40 %). Důležité závěry plynoucí z rovnice (A): Zvětší-li se obvodová rychlost v_m obrobku, zvětší se tloušťka třísek a kotouč brousí měkčeji. Zmenší-li se obvodová rychlost obrobku, zmenší se tloušťka třísek a kotouč brousí tvrději. Zmenší-li se řezná rychlost kotouče, zvětší se tloušťka třísek a kotouč brousí měkčeji.



Obr. 5. Dotykový oblouk $AC = L$ při broušení:

vnějším a), rovinném b), vnitřním c). Jen při velkém poměru d/D jsou v L malé rozdíly, např. pro $D = 100$ mm, $d/D = 12$, $a = 0,015$ mm je (L vnitřní): (L rovinné) : (L vnější) = 1,28 : 1,21 : 1,47

Zmenší-li se průměr kotouče, zvětší se tloušťka třísek a kotouč brousí měkčeji. Zmenší-li se průměr obrobku, zvětší se tloušťka třísek a kotouč brousí měkčeji. Zvětší-li se průměr obrobku, zmenší se tloušťka třísek a kotouč brousí tvrději.

Délka styčného oblouku L (oblouk AC na obr. 5) je důležitá v teorii broušení. Vzorec pro její výpočet odvodil např. J. M. Maslov v knize Základy teorie broušení (český překlad SNTL, 1953). Uvádí též soupis 70 největších sovětských prací o broušení. Pro praxi stačí přibližné vzorce:

1. Broušení vnějších rotačních ploch (obr. 5-1):

$$L \approx \sqrt{\frac{Dda}{d+D}}$$

Příklad. Průměr $D = 250$ mm, průměr $d = 60$ mm, $a = 0,005$ mm.

$$L \approx \sqrt{\frac{Dda}{d+D}} \approx \sqrt{\frac{250 \cdot 60 \cdot 0,005}{250 + 60}} \approx \sqrt{0,242} \approx 0,492 \text{ mm.}$$

Kdyby byl průměr kotouče $D = 600$ mm, vzroste L jen na 0,52 mm.

2. Rovinné broušení obvodem kotouče (obr. 5-2):

$$L \approx \sqrt{aD}$$

Příklad. Průměr $D = 300$ mm; $a = 0,015$ mm.

$$L \approx \sqrt{aD} \approx \sqrt{0,015 \cdot 300} \approx 2,2 \text{ mm.}$$

3. Broušení vnitřních rotačních ploch (obr. 5-3):

$$L \approx \sqrt{\frac{Dda}{d-D}}$$

Některé praktické závěry: Malý kotouč má i krašší L , řezá krašší i tlustší třísky než velký kotouč za stejných podmínek. U malého kotouče se proto rychleji vylamují zrna, bude se zdát měkčím.

Čím větší je průměr obrobku, tím delší je L ; proto by měla být větší i řezná rychlost kotouče. Je lepší zvětšit obvodovou rychlost obrobku než rychlost kotouče, protože má větší vliv. Při rovinném

broušení je L delší než při broušení rotačních ploch, a proto volíme kotouče o 3 až 4 stupně měkčí.

Také tloušťka třísky je základní a důležitý pojem v teorii broušení. Je-li příliš velká, kotouče se rychle opotřebí. Je-li příliš malá, kotouč páli a neřeže. Vzroste-li obvodová rychlost obrobku, zvětší se tloušťka třísek, namáhání zrn je větší, zrna se snadněji vytlamují čili máme stejný stav, jako kdyby kotouč změkkl. Zabráníme tomu volbou jemnějšího zrna, husté struktury, aby se tlak zachytil větším počtem zrn a kotouč přestal brousit měkce.

Tloušťka třísek roste, zvětšili-li se obvodová rychlost materiálu, vzdálenost zrn v kotouči, hloubka řezu a podélný posuv.

Tloušťka třísek se zmenšuje, zvětšili-li se obvodová rychlost kotouče, šířka kotouče. Tím klesá i namáhání brusných zrn.

Vliv průměru kotouče D a průměru obrobku d je složitější. Zvětšili-li se průměr kotouče při $v = \text{konst.}$, má to malý vliv na tloušťku třísek. Zvětšili-li se průměr kotouče při $n = \text{konst.}$, zmenší se značně tloušťka třísek, zvláště u malých kotoučů (do $D = 200 \text{ mm}$).

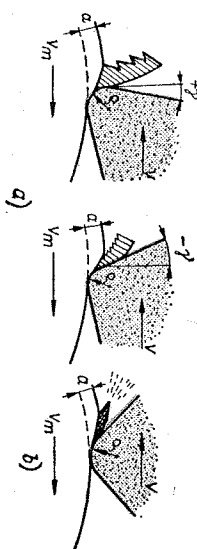
Zvětšili-li se průměr obrobku při $v_m = \text{konst.}$, roste délka styčného oblouku L , tím se zvětší počet najetou brousících zrn a zmenší se tloušťka třísek. Zvětšili-li se průměr obrobku při jeho stálých otáčkách, roste objem kovu ubroušeného za jednu otáčku obrobku při nezměněné délce styčného oblouku, čili roste tloušťka třísek.

Vzroste-li v_m dvojnásobně, vzroste tloušťka třísek o něco méně než dvojnásobně. Vzroste-li podélný posuv s dvojnásobně, vzroste tloušťka třísek dvojnásobně. Z toho plyne, že změny obvodové rychlosti obrobku v_m a podélného posuvu s působí skoro stejně, mají velký vliv na produktivitu práce, čistotu povrchu, trvanlivost kotouče, řezné síly atd. Starší práce tyto vlivy správně nepostřehly, nehodnotí např. správně vliv podélného posuvu s a obvodové rychlosti obrobku v_m při broušení.

Když najdeme optimální tloušťku třísky (při níž jednak dosáhneme žádané čistoty povrchu nebo trvanlivosti kotouče, jednak brousíme co nejproduktivněji), můžeme změnu jedné hodnoty při práci vyrovnat vhodnou změnou jiné hodnoty. Zmenšili-li se např. průměr kotouče opotřebením, nahradíme to takovým zvětšením jeho rychlosti, aby tloušťka třísky zůstala stejná.

Jak řeže břit zrna třísky?

Zaoblení ostří zrna ϱ je několik tisícín mm, tedy malé vzhledem k přísuvu a , obr. 6-A. Jen zřídka je na břitu kladný úhel čela $+\gamma$, většinou má břit velký záporný úhel čela $-\gamma$, např. -45° . Tříska se značně ohívá, ale netaví se. Teprve při větším zaoblení ostří, obr. 6b, se částice třísky silně pěchují a taví. Rozžhavená nebo roztavená tříska se napřed drží v pórech mezi zrný a prudce vyletí, jakmile se obvod



Obr. 6. Vznik třísky při broušení

kotouče uvolní. Je-li příliš velká, zatlačí se do póru a odstředivá síla ji nestačí uvolnit. Kotouč se ucpává a musí se vyčistit orovnááním nebo nastřením. Za 1 minutu se ubere i několik set miliónů třísek, z nichž málokterá je tlustá tisícinu mm.

Řezná rychlost kotouče

Je to obvodová rychlost v kotouče v metrech za vteřinu [m/s].

Je-li D — průměr brusného kotouče v mm,

n — počet otáček brusného kotouče za minutu, je

$$v \doteq \frac{3,14 \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} ; n \doteq \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{3,14 \cdot D} ; D \doteq \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{3,14 n}$$

Příklad. Má-li kotouč pro broušení obvodem průměr $D = 100 \text{ mm}$ a $n = 6000 \text{ ot./min.}$ je jeho řezná rychlost

$$v \doteq \frac{3,14 \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} \doteq \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 6000}{60 \cdot 1000} \doteq 31,4 \text{ m/s.}$$

Aby kotouč průměru $D = 250$ mm brousil rychlostí $v = 35$ m/s, musí mít

$$n = \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{3,14 \cdot D} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 250} = 2674 \text{ ot./min.}$$

Přesto, že se v poslední době brusky velmi zdokonalily, jsou už přes 30 let obvyklé tyto řezné rychlosti kotoučů:

při vnějším broušení oceli	28 až 33 m/s,
při broušení dř	10 až 30 m/s,
při rovinném broušení	20 až 25 m/s.

Hrnecovitě kotouče brousí rovinné plochy menší rychlostí, a to 10 až 20 m/s, aby příliš nepřepělily jejich hrany.

Malou řeznou rychlostí klesá výkon a rostou tlaky na zrna kotouče. To má stejný účinek, jako kdyby kotouč změkl, protože větší tlak rychleji vylamuje zrna. Broušený povrch je drsnější. Malou rychlost vyrovnáme tím, že zvolíme měkčí kotouč. Zvětšením rychlosti dostaneme lepší broušený povrch, ale stejný výsledek dá snadněji jemnější kotouč.

Broušení velkými rychlostmi

Tím rozumíme rychlosti přes 35 m/s. Brousí-li kotouč větší řeznou rychlostí, ubírají jednotlivá zrna v časové jednotce menší množství kovu, tlaky na zrna jsou proto menší. To má stejný účinek, jako kdyby kotouč ztvrdl. Při příliš velké řezné rychlosti takový kotouč nebrousí, nýbrž leští, a proto říkáme, že tlačí; malé tlaky na zrna nestačí vylomit tupá zrna, kotouč se ucpává nebo pálí broušený povrch.

Zvětšujeme-li však přiměřeně řeznou rychlost kotouče, zmenší se průřez deformace stroje a obrobku, zvýší se přesnost rozměru a tvaru. Abychom dosáhli určité jakosti broušené plochy, můžeme např. zvětšit rychlost přísuvu (přitom se zvýší i výkon broušení). Protože se při větší rychlosti odděluje více třísek, roste i množství tepla v místě řezu; třísky mají bílou barvu a je nebezpečí, že se broušená plocha vyhřeje. Tomu zabráníme zvětšením obvodové rychlosti v_m obrobku a úpravou chlazení.

Hodnota v_m nesmí ovšem překročit určitou mez, aby se nezhoršila jakost výbrusu a nevznikla vlnitost nebo vyhrátí ve vlnách. Poněvadž se zrna při rychlejším broušení méně namáhají, opotřebuje se kotouč méně a spotřeba brusiva na odbroušení objemové jednotky materiálu (tzv. měrný obrus) je menší.

Produktivita práce se zvyšuje teprve tehdy, zvětší-li se obvodová rychlost v_m obrobku; nestačí tedy jen zvětšit řeznou rychlost, protože teprve zvětšením v_m roste objem ubroušený za určitý čas i měrný obrus.

K zvětšení počtu otáček brusek při modernizaci je často výhodnější měnit kmitočtu z 50 na 150 Hz než převody do rychla. K zvětšení obvodové rychlosti v_m obrobku stačí vyměna řemenice. Koník musí pak mít otčený karbidový hrot.

Starým brusným kotoučem se většinou výkon broušení zvětšením řezné rychlosti nelepší. Zlepší se síce jakost broušeného povrchu a klesá řezný odpor, avšak při vyšší rychlosti se snižují mezi přípustné hodnoty přísuvu a posuvu. Produktivita i hospodárnost broušení se zlepši i v těchto případech, použijí-li se vyšší řezné rychlosti hlavně tam, kde je malá tuhost mezi kotoučem a obrobkem, např. při broušení dř, při broušení dlouhých a štíhlých součástí. Při tom může být čas na dojískrování na rozměr delší než čas na broušení s přísuvem.

Pro broušení velkými rychlostmi jsou nutné speciální kotouče s pevnějším pojivem, pórovitější. Např. pro kalenou ocel vyhovely sovětské kotouče E60 SM1 K z elektrokorundu průměru 380 mm, široké 50 mm, při řezné rychlosti 50 m/s, rychlosti podávání materiálu 50 mm/min, se stranovým posuvem 18 mm/ot, s přísuvem 0,01 mm/zdvih.

Při sériovém broušení dř v kroužcích valivých ložisek řeznou rychlostí 50 až 60 m/s na upravené brusce BDA 40 se zvýšil výkon broušení o 15 až 40 %, zlepšila se jakost výbrusu až o 30 % a spotřeba kotoučů byla o 10 až 35 % menší než při broušení normální rychlostí. Kroužky z kalené oceli 14 109 s tvrdostí 63 H_{RC} se brousily kotouči A 99 B 80 K 7 V (které mají větší pevnost v tahu) přísuvem asi 0,8 mm/min, podélným posuvem asi 2500 mm/min (blíže J. Říčka, časop. Strojírenství č. 12, 1960). Sovětská praxe a rozsáhlé pokusy hlavně z výroby valivých ložisek ukazují, že při broušení větší řeznou rychlostí vzrůstá produkti-

vita práce o 30 až 50 %, spotřebuje se o 30 až 35 % méně kotoučů a zmenšuje se počet zmetků o 15 až 20 %.

Velmi důležité je, že se nezvětšuje jen řezná rychlost kotouče, nýbrž i přísuv, obvodová rychlost obrobku i podélný posuv, např.

Normální broušení, $v = 30$ m/s	Rychlostní broušení, $v = 48$ m/s
Prísuv $a = 2\mu$ na 1 dvojdvih	$a = 4$ až 5μ na 1 dvojdvih
Rychlost obrobku $v_m = 60-80$	v_m co největší, až 200 m/min
Dvojdvihů za 1 min 60 až 80	80 až 100 dvojdvihů/min.

Zrntost kotouče je stejná, asi č. 46. Kotouč přejíždí broušenou plochu o 0,5 své šířky.

Zvláště významné je, že větší řezné rychlosti se osvědčily u i bezhrutých a rovinných brusek (brousících obvodem kotouče) a zvláště u segmentů brousících čelem, kde je hospodárně používat co nejvíce horní hranice rychlosti (22 až 25 m/s u starších brusek, ale až 70 m/s u nových).

Před širším zavedením broušení velkými rychlostmi je třeba upravit celostátní i podnikové bezpečnostní předpisy. Bude nutná kontrola pevnosti každého kotouče zkouškou na roztřetí a normy pro rychlostní brusné kotouče a práci s nimi. Také bude třeba rekonstruovat starší brusky a změnit konstrukci nových brusek. Chod brusných a pracovních větren musí být co nejpřesnější, se stupňovitou změnou otáček, bez chvění. Je třeba zlepšit a zesílit ochranné kryty kotoučů. Se sériovou výrobou rychlostních brusných kotoučů se jistě rozšíří i broušení velkými rychlostmi v průmyslu.

Posuv v_m obrobku (obvodová rychlost, rychlost podávání)

Při broušení rotačních ploch je kruhový posuv v_m obrobku roven jeho obvodové rychlosti

$$v_m \cong 3,14 \cdot d \cdot n_m \quad [m/min]; \quad n_m = \frac{v_m}{\pi \cdot d} \cong \frac{v_m}{3,14 \cdot d} \quad [ot/min].$$

Je-li např. průměr broušeného hřídele $d = 100$ mm $= 0,1$ m a má $n_m = 32$ ot/min, je kruhový posuv obrobku $v_m \cong 3,14 \cdot d \cdot n_m = 0,1 \cdot 32 \cong 10$ m/min.

Při broušení rovinných ploch je posuv obrobku přímočarý a je roven posuvové rychlosti stolu v m/min.

Zvětšení posuvu obrobku má na broušení stejný vliv jako změkčení kotouče. Zrna ubírají větší třísky, a proto se dříve vytlamují; opotřebení kotoučů vzrůstá. Je-li kotouč při práci příliš tvrdý a ucpává se třískami, zlepšíme jeho práci tím, že zvětšíme posuv i podélný posuv.

Zmenšení posuvu obrobku má na broušení stejný vliv jako zvětšení tvrdosti kotouče. Kotouč déle vydrží, snadněji však popálí povrch obrobku. Proto brousíme např. duté tenkostěnné obrobky při větším kruhovém a větším podélném posuvu obrobku. Je tu však opět nebezpečí, že se kotouč rychleji otupí a bude se chvět. Je-li kruhový posuv příliš malý, kotouč tvrdý a přísuv velký, kotouč se ucpává. Má-li pak tvrdý kotouč malý přísuv, pálí a hřeje.

Správný posuv obrobku pozná zkušený brusník podle vzhledu broušeného povrchu nebo podle obrusu (brusného prachu). Příliš velký posuv uvolňuje i neotupená zrna a přetěžuje kotouč; proto se má pro větší posuvy volit tvrdší kotouč a naopak měkkí kotouč dobře brousí i při menších posuvech.

Brousili kotouč špatně (např. při velké styčné ploše s obrobkem, odpružili obrobek, zahřívá-li se příliš, je-li malý výkon), pomůže často zmenšení velikosti posuvu obrobku. Na první pohled je ovšem překvapující, že zmenšením tohoto posuvu roste výkon, neboť např. při soustružení roste výkon naopak zvětšením počtu otáček obrobku.

Posuvy v_m [m/min] obrobku jsou při strojním broušení asi tyto:

broušení vnější	15 až 20,	broušení rovinné	4 až 8
broušení vnitřní	20 až 30,	ostření nářadí	4 až 6

Při malém podélném posuvu s se doporučují i značně větší kruhové posuvy v_m obrobku, a to až 200 m/min při broušení velkými rychlostmi.

Kruhový posuv v_m obrobku [m/min] pro obrobek průměru d [mm] určíme přibližně z řezné rychlosti v [m/s] kotouče, a to dělením

číslem q z další tabulky. V této tabulce jsou též příklady vhodné zrnitosti a tvrdosti kotoučů.

$$v_m = \frac{V}{q} \quad [\text{m/min}]; \quad n_m = \frac{1000 \cdot V_m}{\pi \cdot d} \approx \frac{1000 \cdot V_m}{3,14 \cdot d}$$

Broušený materiál a kotouč	Broušení rotačních ploch		Broušení rovinné			
	vnější	vnitřní	obvodem	železem	sežmeny	
Kalená ocel	$q = 60 \text{ K}$	36 J	36 K	24 J	24 J	
Korund	$q = 2,1$	$1,33$	$1,33$	$0,83$	$0,85$	
Nekalená ocel	$q = 60 \text{ L}$	36 K	36 L	24 J	24 K	
Korund	$q = 2,1$	$1,33$	$1,33$	$0,83$	$0,83$	
Litina	$q = 60 \text{ L}$	36 K	36 L	24 J	24 K	
Karbid křemíku	$q = 1,66$	$1,05$	$1,05$	$0,67$	$0,67$	
Měd, mosaz, bronz	$q = 60 \text{ J}$	36 I	36 J	24 H	24 I	
Karbid křemíku	$q = 1,33$	$0,83$	$0,83$	$0,53$	$0,53$	
Lehké slitiny	$q = 60 \text{ I}$	36 H	36 I	24 Q	24 H	
Karbid křemíku	$q = 0,83$	$0,53$	$0,53$	$0,33$	$0,33$	

Příklad. Brouší se vnější válcová plocha součásti z kalené oceli; průměr $d = 80 \text{ mm}$, $v = 32 \text{ m/s}$, kotouč 60 K , kruhový posuv obrobku $v_m = v/q = 32/2,1 = 15,2 \text{ m/min}$; otáčky obrobku $n_m = 1000 \cdot v_m / 3,14 d = 1000 \cdot 15,2 / (3,14 \cdot 80) = 60 \text{ ot/min}$.
Kdyby se broušila součást stejného průměru z hliníkové slitiny, kde $v = 20 \text{ m/s}$, kotouč $\text{SiC } 60 \text{ I}$, $v_m = v/q = 20/0,83 \approx 24,1 \text{ m/min}$; $n_m = 1000 \cdot 24,1 / (3,14 \cdot 80) = 96 \text{ ot/min}$.

Podélný (stranový) posuv

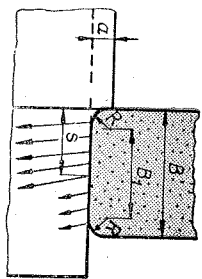
Posuv s se určuje několika způsoby:
1. Jako posuv kotouče nebo obrobku v mm na 1 otáčku obrobku, $s \text{ mm/ot.}$

2. Jako posuv kotouče nebo obrobku o část šířky kotouče B na 1 ot obrobku, např. $s = 0,75 B$ na 1 ot.

3. Jako posuv kotouče nebo obrobku v mm/min, $s \text{ mm/min.}$

4. Jako velikost (rychlost) podélného posuvu $u = s \cdot n_m / 1000 \text{ v m za min}$, jsou-li n_m otáčky obrobku za min a s je v mm/ot.

Dáme, aby posuv s byl co největší, protože tím roste výkon broušení (tloušťka třísky). To však vyžaduje širší kotouče při větším namáhání brusky. Moderní brusky mají rychlý podélný posuv s a malý posuv obrobku v_m , aby byl broušený povrch rovinnější. Někdy také kotouč nebo materiál kmitá (osciluje) malými zdvihy podélně na obě strany. Novější praxe ukazuje, že to není nutné. Kotouč při broušení jiskří v celé šířce B , i když je posuv např. jen $0,5 B$, protože krajní zrna nestačí při posuvu ubrat všechny materiál (obr. 7).



Obr. 7. Záběr kotouče

Malý podélný posuv zjemňuje účinek kotouče. Naleznou řeže větší počet zrn a na každé zrně je menší tlak. To má stejný vliv, jako kdyby kotouč byl trochu tvrdší. Protože do styku s materiálem přijde větší počet zrn, je povrch lepší. Větší podélný posuv umožní volbu tvrdšího kotouče, při tvrdším kotouči je i opotřebení kotouče menší a výkon brusky větší. Kotouč také méně pálí.

Na koncích přejíždí kotouč o $1/3 B$ přes okraj. Menší přejetí je škodlivé, protože okraj kotouče může být víc opotřeben než střed a zanechává na konci větší průměr. Také větší přejíždění škodí, kotouč musí brousit větší průměr, protože se zmenší jeho tlak.

Směrnice pro volbu podélného posuvu s :

Hrubování vnějších a vnitřních rotačních ploch:

$s = (2/3 \text{ až } 3/4) B$ pro ocel; $s = (3/4 \text{ až } 4/5) B$ pro litinu.

Hlazení vnějších a vnitřních rotačních ploch:

$s = (1/4 \text{ až } 2/3) B$ pro ocel i pro litinu.

Pro velmi jemné hlazení $s = (1/4 \text{ až } 1/3) B$.

Hrubování rovinných ploch na čisto: $s = 40$ až 60 mm/min pro ocel.
Hlazení rovinných ploch na čisto: $s = 10$ až 30 mm/min pro ocel.

Přísuv

Přísuv a v mm/ot obrobku nebo na jeho jeden dvojitý úhel určuje tloušťku vrstvy, která se brousí najednou. V literatuře o broušení se často tvrdí, že hloubka řezu brusných zrn se rovná přísuvu kotouče nebo že je dokonce o něco menší. To je nesprávné. Skutečná hloubka řezu zrn je 15 až 30krát větší než přísuv a , protože zrna ř. žou postupně řáhy. Např. u přísuvu $a = 0,005$ mm na jeden záběr kotouče byla změřena skutečná hloubka řezu zrn $0,12$. Vždyť jen pružnosti pojiva, obrobku a kotouče vznikají deformace větší než přísuv a .

Pro broušení vnějších rotačních ploch volíme přísuvy $0,005$ až $0,1$ mm/ot, pro broušení děr $0,005$ až $0,05$ mm/ot, pro rovinné broušení $0,001$ až $0,2$ mm/dvojitých.

Větší přísuv dává tlustší třísky, zrychluje opotřebení kotouče a zvyšuje výkon brusky (jako kdyby kotouč zmeškl). Toto zdánlivé zmešklí vyrovnáme, např. při zaplétování, zmenšením posuvu v_m obrobku, neměli se opotřebení kotouče příliš zvětšit. Hrubší zrna snesou i větší přísuv, jemné kotouče nemohou brousit velkým přísuvem. Při určité velikosti přísuvu se začíná broušený povrch pálit, je posekaný a kotouč se rychle vydroluje.

Dřívější názor, že při větším přísuvu se třískami ucpávají póry kotoučů, praxe nepotvrdila. Kotouč se může ucpat při broušení každého materiálu příliš malým přísuvem, kdy se nevyplavují zrna.

Při velké dotkové ploše obrobku a kotouče není přípustný velký přísuv, protože by se příliš zvětšoval řezný odpor, který by mohl kotouč i roztrhnout.

Zmenšme-li podélný posuv, můžeme někdy zvětšit přísuv. U tenkých obrobků to však nejde, neboť by se příliš ohýbaly větším tlakem. Záleží tedy přísuv i na tuhosti obrobku a stroje (a ovšem i na požadované jakosti povrchu).

Základy soustružení velkými rychlostmi se někdy nespřímně uplatňovaly i pro broušení a tvrdilo se, že ke zvětšení produktivity broušení

se má napřed zvětšit přísuv, a když už to nelze učinit, mají prý se zvětšit rychlost posuvu obrobku a podélný posuv. Tento návod není dobrý. Výhodné je zvětšit rychlost posuvu obrobku v_m úměrně s růstem řezné rychlosti v kotouče (vzroste-li dvojnásobně, je výhodné zvětšit i v_m dvojnásobně), aby se zachoval stejný průřez třísky. Podstata broušení větší rychlostí je ve větším v_m . Zvláště při broušení na čisto je přísuv nepatrný ($a = 0,005$ mm) a výkon můžeme zvětšit jen větším počtem otáček kotouče a obrobku. Také se tím obvykle zlepši jakost povrchu.

Tlaky kotouče a výkon k pohonu brusky

Tlak kotouče na materiál se může rozložit podle obr. 1 na řezný odpor P (tečná, obvodová síla), axiální tlak A a radiální tlak R . Největší je R (R bývá až $3P$), nejmenší A . Zrna mají velké záporné úhly, obvodová síla je menší než radiální, a proto je na brusce nutné dokonale vedení a uložení kotouče i obrobku. Z řezného odporu P se počítá výkon k pohonu brusky, který se spotřebuje hlavně na tvárné přetvoření třísky a materiálu na na tření, tj. teplo, které roste, zmenšuje-li se tříska.

Je-li na ose kotouče krouťící moment M_k a průměr kotouče D , pak obvodová síla $P = M_k/D$. Moment M_k změříme jednoduchým elektrickým přístrojem. Při řezné rychlosti v m/s a účinnosti brusky η ($\approx 0,8$) je výkon k pohonu brusky $N = P \cdot v/75\eta$ koní, resp. $N = P \cdot v/102\eta$ kW (kilowattů).

Většina těžších rovinných brusek má ampérmetr, na němž čteme proud odebraný motorem. Podle toho poznáme zatížení kotouče a ze změřeného výkonu N snadno určíme řezný odpor P . Neklesají-li rychle ampéry při zastaveném posuvu, značí to, že je kotouč tupý (ohlazený) a neřeže.

Příklad. Ocel ČSN 11 600 se brousí kotoučem L 46; $v = 30$ m/s, $v_m = 16$ m/min, podélný posuv $s = 16$ mm/ot, přísuv $a = 0,08$ mm, účinnost brusky $\eta = 0,75$. Pokusem změřený řezný odpor $P = 16$ kg. Výkon k pohonu brusky $N = P \cdot v/102\eta = 16 \cdot 30/(102 \cdot 0,75) = 6,3$ kW.

Velikost řezného odporu P závisí na správné volbě brusného kotouče. V tom rozhoduje hlavně zkušenost brusáře a mistra, protože P se mění za jinak stejných podmínek i podle tvrdosti pojiva.

Při broušení oceli za sucha stačí normální výkon i tlak pro přísuv, jsou-li zrna i vazba houževnaté. Kotouče s křehkou vazbou spotřebují při broušení za sucha značně větší hodnoty (pokusy H. Kruga).

Při rovinném broušení (obvodem) vznikají mnohem menší tlaky než při broušení čelem. Vodorovné tlaky při broušení soustředným (při němž se materiál tlačí souhlasně s kotoučem) a nesusledným jsou asi stejné (měřili Marshall a Shaw).

Při broušení kalené oceli v ochranné atmosféře skoro bez kyslíku (v dusíku) byly tlaky až 25krát větší než na vzduchu. Stejně i v héliové atmosféře. Jakmile se do ní dostalo trochu vzduchu, tlaky rychle klesly.

Má tedy i malé množství kyslíku při broušení značný vliv.

Malý obsah kyslíku je asi také příčinou menšího sklonu kovů ke svařování (vytvoří se tenká vrstva oxidů). Ohřívý povrch oceli na vzduchu velmi rychle oxiduje, vytvoří se téměř okamžitě primární film oxidů tlustý 10 až 20 Å (1 Å = 0,0001 μ), který zesílí teprve za delší dobu. Při broušení na vzduchu zabírá tento primární film přivaření třisek k povrchu. Bez kyslíku se třisky přivaří k povrchu a musíme je ubírat několika záběry kotouče; proto se spotřebuje více energie.

Brusky spotřebují největší výkon ze všech obráběcích strojů k odebrání materiálu i k běhu naprázdno, protože pracují s velkými počty otáček. Moderní bruska s motorem 20 koní spotřebuje 5 koní k chodu naprázdno a 15 koní k broušení. Velké výkony jsou nutné také proto, aby práce byla přesná (je třeba vynaložit značné přebýtky energie).

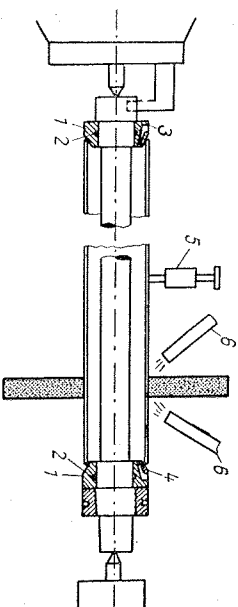
Chlazení a mazání při broušení

Za sucha brousíme obvykle litinu a podobné materiály. Bruska musí mít dobré odsávání prachu, tenkostěnné součásti brousíme malým přísuvem, aby se příliš neohřály a nekřivily (obr. 8).

S chlazením (za mokra) brousíme s přívodem řezné kapaliny ke kotouči. Nejvýhodnější je, dopadá-li kapalina bez tlaku po celé šířce broušení v dostatečném množství (15 až 20 l/min u střední brusky, až 120 l/min u větší brusky, asi 9 l/min za každou ks příkonu).

Řezná kapalina zmenšuje teplotu v místě záběru zrn, zmenšuje řezný odpor, čistí zrna, odplavuje prach, zjemní výbrus, prodlouží

trvanlivost kotoučů a zvýší produktivitu práce, udržuje nejen nízkou, nýbrž i stejnoměrnou teplotu obrobků, a tím i jejich přesnost a jakost. U některých nových brusek se proto řezná kapalina dokonce ohřívá,



Obr. 8. Broušení tenkostěnných trubek

Trubky průměru 65 mm, se stěnou 2,5 mm, dlouhé 1200 mm se naplní brusnou kapalinou a utěsní se zátkami 1 s pryžovým těsněním 2, aby se nekřivily. Děrou 3 se kapalinou napouští, dírkou 4 uniká vzduch. Zátky sedí na krátkých vnitřních kuželech, které trubku středí. Povrch se opírá lunetou 5 a chladí se dvěma proudy kapaliny

aby byla stále stejně teplá. Kolísáním teploty obrobku vznikají tepelná pnutí a trhlinky, které jsou velmi nebezpečné. Proto nemá-li bruska vydatné a rovnoměrné chlazení, brousíme někdy i ocel raději za sucha, aby nekolisala teplota. Prudké změny teploty také trhají kotouče. Studený kotouč se náhlým záběrem při broušení prudce zahřeje tak, že může prasknout. Všíme-li si brusič, že obrobek někde nabíhá teplem a pustí prudce chlazení, může nerovnoměrným ohřevem kotouč prasknout.

Chladíme vodou s přísadou sody (3 až 5 váhových % Na_2CO_3 s malou přísadou mýdla), emulzí (směs vody a oleje např. 1 : 60) a řidkými oleji.

Samotnou vodu u žhavé plochy odpuzují, a proto voda špatně chladí. Přidáváme do ní sodu. Tím se zlepši její přilnavost. Sodný roztok se však nehodí na neželezné kovy, leptá pokožku, ničí nátěr stroje.

Proto je lepší řezná kapalina z rozpustných olejů (hlavně vrtacích olejů) v emulzi s 2% ním podílem oleje. Mastnoty z emulze vážou brusný prach a usazují se v nádržích.

Brousící oleje dobře kotouče čistí, zmenšují jeho opotřebení i zlepšují broušení povrch, ale nestačí odvést teplo. Tvoří mlhu, která vadí při práci. Proto se osvědčují jen na lehké práce, jemné broušení, tvarové broušení, broušení závitů, ostření nástrojů.

Aby se řezná kapalina postupně neohřívala, musí být nádrž u brusky dost velká. Je v ní zásoba asi na 2 minuty spotřeby (pro přerušovanou práci na 1,5 minuty).

Filtrační brusné kapaliny roste trvanlivost kotoučů až o 20 %. Proto se v brusnách stavějí i ústřední filtrační stanice. Význam filtrů se někde podceňuje, výsledkem jsou poškozené plochy a větší spotřeba kotoučů, protože nečistoty kotouče zdrsňují a je nutné častěji orovnávat. Při výměně kotouče se musí vymýt i vnitřek krytu.

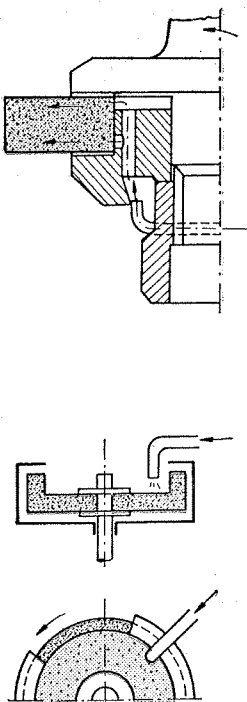
Sírník molybdeničitý MoS_2 , vynikající nový mazací prostředek proti zadíření a opotřebení nástrojů i strojních součástí (černý prášek) byl sice zkoušen i při broušení, avšak většinou nedal dobré výsledky. Kotouče s MoS_2 ve vazbě brousily lépe než normální kotouče hlavně nerezavějící ocel, zmenšením tření zrn se však prodlužuje strojní čas. Práškovými brusivými s přísádkem MoS_2 se zjevně výbrus, hlavně při zabrušování a zaběhávání, avšak až čtyřnásobně se prodlouží čas potřebný k práci (viz Technische Rundschau, č. 13/1959, s. 55).

Vnitřní chlazení brusných kotoučů

Řezná kapalina přivedená např. upínací přírubou nebo jinak dovnitř kotouče (obr. 9) prostupuje působením odstředivé síly póry kotouče k obvodu, a tím kotouč čistí a chladí. Novější zkoušky ukazaly, že vnitřní chlazení kotoučům neškodí a že je velmi výhodné (viz Stanek i instrument, č. 9/1959).

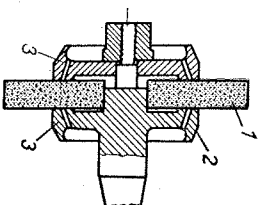
Zvlášť výhodná je kombinace vnitřního a vnějšího chlazení. Zevním chlazením vodou s 10 % sody rychle odvádíme teplo, zevnitř přivádíme vřetenový olej, který dobře maže. Na kotouč průměru 396 mm

šířky 50 mm, s vrtáním 203 mm, který brousil řeznou rychlostí 38,5 m/s a obrobek měl rychlost 25 až 30 m/min při přísuvu 0,5 mm/min se přivádělo zevně 8 l/min vody a zevnitř 12 cm^3 /min oleje. Odtékající olej s vodou se usazuje na povrchu a po filtraci se ho opět použije.



Obr. 9. Schéma vnitřního chlazení brusných kotoučů

Množství obroušeného materiálu vzrostlo proti broušení bez vnitřního chlazení až dvojnásobně, trvanlivost brusných kotoučů se prodloužila průměrně o 90 %, spotřeba kotoučů klesla asi na polovinu, zlepšili se výbrus a klesla spotřeba energie. Chladili se jen vodou se sodou zevně i zevnitř, jsou výsledky jen asi o 40 % lepší než bez vnitřního chlazení. Z přírub se vede olej do kotouče např. 60 dírkami průměru 5 mm, obr. 10. Nejvhodnější byl olej s viskozitou asi 2 až 2,2 cP při 50 $^{\circ}\text{C}$, s bodem zápalnosti přes 165 $^{\circ}\text{C}$.



Obr. 10. Příruba pro vnitřní chlazení kotoučů

Příklad. Uhlíková ocel kalená na 63 H_{RC} se brousila běžným způsobem. Přísuv $a = 0,03$ mm. Po 20 záběrech, když kotouč ubrousil 18 cm^3 materiálu, byl ocupen, dával hrubý povrch a začal pálit. Při úpravě vnitřního chlazení

Olej se vede trubičkou do žlábků v přírubách 2, odstředivou silou protéče dírkami 3 do kotouče 1.

BROUŠENÝ MATERIÁL

($a = 0,03$ mm) obrousil kotouč ve stejném případě 54 cm^3 materiálu na 60 posuvů a ještě nebyl zcela otupen. Vzrostla tedy jeho trvanlivost nejméně o 200 %.

Při běžném broušení s přísuvem $a = 0,01$ mm byla drsnost $H_{sk} = 0,36 \text{ } \mu$. Po úpravě vnitřního chlazení byl přísuv zvětšen na $a = 0,02$ mm. Tím se za stejný čas ubrousilo dvojnásobné množství materiálu. Střední kvadratická drsnost byla $H_{sk} = 0,3 \text{ } \mu$.

Brousitelnost ocelí

Čím tvrdší je ocel, tím opatrněji ji musíme brousit, aby nevznikly spáleniny, povrchové trhlinky, měkká místa a povrchová napětí. Hlavně záleží na rovnoměrném, vydatném chlazení. Velmi snadno se při broušení poškodí povrchově kalená ocel, např. cementovaná. Vyhřátí po kalení na 150 až 180°C , aby se odstranilo vnitřní pnutí, zmenšuje i citlivost k broušení.

Jiskření při broušení

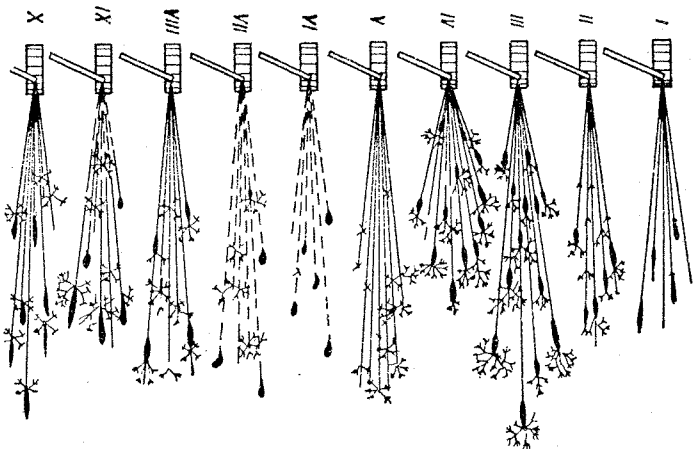
Žhavé třísky nebo roztržené částečky broušeného kovu tvoří jiskry. Chceme-li je zkoumat, postavíme jim do cesty skleněnou destičku. Její povrch se rychle pokryje prachem a přitavenými kapičkami.

Tvar a barva jisker záleží na druhu oceli, obr. 11. Množství, délka a jasnost jisker závisí na množství prvků obsažených v oceli. Čím více uhlíku je v oceli, tím více je jisker, a tím silnější jsou jejich exploze. Stejně působí i mangan a křemík, živěji hoří jiskry s větším množstvím lehce spalitelných prvků, jako C, Mn, Si. Je-li v broušené oceli více prvků, které špatně hoří, jako Cr, W, je jiskření tmavší a chudší. Větší obsah wolframu zvětšuje přerušování jisker a zbarvuje je do červena. Má vliv i na velikost oštěpovitého zakončení jisker. Na barvu a tvar jisker má vliv i jakost brusného kotouče. Jiskry konstrukční oceli jsou např. jasně žluté, dokud je kotouč ostrý. Po otupení kotouče jsou temně červené.

Charakter jisker těžce oceli žíhané, kalené, zušlechťené nebo přirodití je stejný. Nejvíce jisker se však tvoří na kalené oceli, nejméně na žíhané.

Jak vznikají exploze jisker? Rozžhavená jiskra se rychle oksiduje, čili spaluje. Letí však rychle vzduchem, tím se též prudce ochlazuje. Ochlazováním se smršťuje povrchová vrstva jisker. Mezi povrchem

a vnitřkem jiskry vzniká prudké a silné puclí. Tím celá jiskra exploduje roztrhne se. Změní se v menší částčky, jejichž spalování pokračuje tím intenzivněji, čím jsou menší. Proto po každé explozi jiskry ožívají.



Obr. 11. Tvar a barvy jisker různých ocelí:

I — měkká uhlíková ocel s 0,12 % C. Sítomové žluté; II — středně tvrdá uhlíková ocel s 0,5 % C. Světlé žluté; III — tvrdá uhlíková ocel s 0,9 % C. Žlutobílá; IV — velmi tvrdá uhlíková ocel s 1,2 až 1,4 % C. Bílá; V — tvrdá manganová ocel s 10 až 14 % Mn. Temně žlutá; VI — rychlořezná ocel s 10 % W, 4 % Cr, 0,7 % C. Temně červená; VII — wolframová ocel s 1,3 % W. Temně červená; VIII — křemíková ocel. Světlé žluté; IX — chromová ocel. Barva podle obsahu uhlíku; X — chromliková ocel 3 až 4 % Cr. Žluté

Drsnost broušeného povrchu

Odpověď na otázku, kdy má povrch součásti správnou drsnost, je velmi obtížná. V praxi často brousíme povrchy zbytečně hladší než je třeba, a tím vznikají velké ztráty.

Středně broušený povrch je pětkrát levnější než dokonale leštěný povrch a také se asi čtyřikrát rychleji opotřebí. Opotřebením se zvětšuje počáteční vůle uložení, může se zhoršit funkce součásti a mnohdy i trvanlivost. To má velký význam: špatně, hrubě broušené povrchy u součásti, které se třou, velmi zhoršují trvanlivost stroje. Vyrobili jsme stroje levněji, ale stroje má krátkou životnost. Na tuto otázku by se mělo zaměřit úsilí kvalitařů v průmyslu i práce výzkumných ústavů.

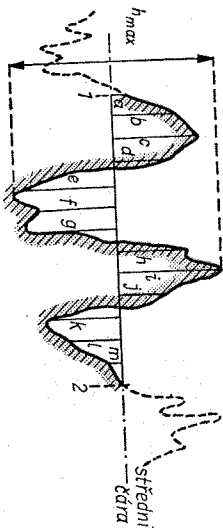
Důležitější je zjištění, že příliš dobrý povrch může škodit u součásti, které se po sobě posouvají. Přesvědčíme se o tom snadno na dvou kostičkách základních měrek. Mají velmi dokonale povrch, čekali bychom tedy, že mezi nimi bude jen nepatrné tření. Zatím však se po sobě posouvají dosti obtížně, mnohem hůř než podobné kostičky s horším povrchem. Také příliš hladké válce na válcování páskové oceli za studena špatně pracovaly, protože klouzaly. Dokonale hlazené pánve ložisek (superfinišované) mají menší nosnost než pánve se sítí jemných přetříchů k udržování oleje (s nerovnostmi 3 až 6 μ).

Brousíme-li velmi křehké hmoty, např. litinu nebo bronz, padají malíčké třísky mezi zrna a broušený povrch a zatačují se do povrchu. Tím se povrch kazí.

Na kalené oceli získáme broušením lepší povrch než na oceli nekalené, broušené za jinak stejných podmínek. Při broušení kalené oceli vznikají vyšší místní teploty, tím roste její tvárnost pod břítý zrn a třísky se oddělují lépe a čistěji.

Zvýšit velký vliv na drsnost broušeného povrchu má řezná rychlost v kotoučce. Při větší rychlosti vie namáhání zrn menší a zmenší se drsnost. Kotouč zrnitosti 80 při malé rychlosti $v = 10$ m/s dává drsnější povrch než kotouč č. 46 při $v = 30$ m/s. Povrchy broušené větší rychlostí mají kratší rysky než povrchy broušené malou rychlostí. Při větší rychlosti kotouče jsou třísky tenčí, a proto je i hloubka rysek v povrchu menší, povrch je čistší.

Měření drsnosti povrchu není dosud dokonalé. ČSN 01 4450 i GOST 2789-45 měří střední kvadratickou úchytku nerovnosti H_{sq} , obr. 12, která je zpravidla $1/3$ až $1/2$ max. úchytky h_{max} a zapisuje se na výkresy podle obr. 13.*)



Obr. 12. Výpočet H_{sq} z profilogramu na délce 1—2

Tuto délku rozdělíme na $n = 13$ dílků (nebo na jiný libovolný počet). Změříme odchylky od střední čáry a, b, c, \dots, m , určíme jejich čtverce $a^2, b^2, c^2, \dots, m^2$, a výpočteme

$$H_{sq} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 + \dots + m^2}{n}} \text{ v mikronech } (1 \mu = 0,001 \text{ mm})$$

Naměřili jsme např. v mikronech:

$a = 4,$	$a^2 = 16$
$b = 19,$	$b^2 = 361$
$c = 23,$	$c^2 = 529$
$d = 16,$	$d^2 = 256$
$e = 31,$	$e^2 = 961$
$f = 20,$	$f^2 = 400$
$g = 27,$	$g^2 = 729$
$h = 20,$	$h^2 = 400$
$i = 31,$	$i^2 = 961$
$j = 13,$	$j^2 = 169$
$k = 23,$	$k^2 = 529$
$l = 15,$	$l^2 = 225$
$m = 6,$	$m^2 = 36$

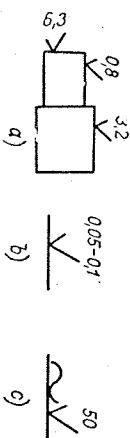
$$H_{sq} = \sqrt{\frac{5572}{13}} = 20,7 \mu$$

Střední kvadratická odchylka tohoto profilu je 20,7 mikronů. Porovná se s odchylkou, připustnou normami drsnosti. Výpočet je zdlouhavý. Byly sestaveny přístroje, které přímo ukazují u hodnotu H_{sq} (např. Abbottův profilometr)

Součet 5572

*) Norma ČSN 01 4450 z r. 1960 je zcela přepracována. Drsnost povrchu s odstupňuje podle střední aritmetické úchytky R_a = (součet úchytek od střední čáry) : (počet uvažovaných pořadč). Číselné hodnoty praktické řady drsnosti a způsob značení na výkrese (obr. 13) se přitom nemění.

Dva povrchy, jejichž profilové křivky jsou v obr. 14, mají stejné $H_{sq} = 0,75 \mu$, ale na první pohled vidíme, že při funkci budou mít velmi odlišné vlastnosti. Povrch (A) vyhoví v ložisku velmi dobře, poněvadž jeho hlubší rýhy příznivě zadržují olej. Povrch (B) se rychle opotřebí, vznikne příliš velká vůle.



Obr. 13. Příklad značení drsnosti na výkresech:

a — číslo udává nejvyšší dovolenou drsnost povrchu příslušné plochy podle praktické řady drsnosti; b — je-li třeba, aby drsnost byla dodržena v určitých mezích, zapisí se obě mezní hodnoty; c — má-li se předepsané drsnosti dosáhnout bez přidavku materiálu, předradí se vlnovka. U ploch, u nichž není žádná značka drsnosti, neklademe na drsnost povrchu žádné požadavky



Obr. 14. Průřez dvěma povrchy, které mají stejné číslo drsnosti a přece mají zcela odlišné vlastnosti

Z toho plyne, že k dokonalějšímu určení drsnosti povrchu potřebujeme hodnotu H_{sq} i profilovou křivku. Tento nedostatek mají i jiné normy drsnosti; kritiku britských norem viz Engineering z 23. 10. 1959, str. 393.

Zrnitost korouče můžeme volit podle předepsané drsnosti H_{sq} např. takto:

Pro $H_{sq} \dots \dots \dots 0,05$ až $0,2$ $0,2$ až $0,4$ $0,4$ až $1,6$ mikronů,
zrnitost asi $\dots \dots \dots 46$ až 200 30 až 60 10 až 36 .

Změny v povrchu broušené součásti

Broušený povrch se může porušit rozdrácenými brusnými zrny nebo místním zahřátím a prudkým ochlazením. Na hrotech zrn, kde

se kotouč stýká s materiálem, je tlak až 2000 kg/mm² a teplota 700 až 1600 °C.

U měkké (vyžíhané) oceli nestačí krátký čas ohřevu ke změnám slohu (struktury) v povrchu, a proto ani nevznikají trhliny. Poruší se jen velmi tenká povrchová vrstva, která se tím zpevňuje. Je-li L délka dotykového oblouku zrna v mm, v řezná rychlost kotouče v m/s, trvá užití jedné třísky $T = L/1000$ v vteřin; pro $v = 30$ m/s a $L \approx 1,5$ mm vyjde $T = 1,5/30 \cdot 000 = 0,000\ 05$ s, ohřátí je tedy opravdu velmi krátké.

U tvrdé (kalené) oceli se při nesprávném broušení ohřeje povrch na 250 až 300 °C, a tím se ukáže barva jasně nebo temně hnědá. Mění se sloh v tenké povrchové vrstvě, vznikají i objemové změny, a proto, se vytvoří v povrchu vnitřní napětí (stejně jako při jiném obrábění). U ztuštěných, kalených nebo povrchově kalených (zejména cementovaných) ocelí vznikají místním napuštěním na povrchu tenké měkké vrstvy (ať již ohřátím při velkém tlaku nebo při velkém přísuvu). Pokles tvrdosti k jádru se může změřit na vyléštěném průřezu (mikrotvrdost) nebo i na broušené ploše. S rostoucím přísuvem do hloubky roste tloušťka měkké vrstvy. S tím musíme počítat hlavně u nástrojů.

Vnitřní napětí jsou v povrchu většinou už před broušením, po tepelném zpracování. Broušením se mění. Napětí po broušení nelže obvykle hlouběji než do 0,15 mm a největší jeho špičky leží 0,05 až 0,075 pod povrchem. Čím ostřejší brousíme a čím tlustší vrstvu ubíráme, tím větší napětí vzniknou. Čím tvrdší je materiál, tím větší jsou i rozdíly napětí v broušeném povrchu. Usilovné broušení vytvoří tahová napětí, lehké broušení tlaková napětí, avšak často se střídá obojí od tahu 70 kg/mm² k tlaku až 95 kg/mm².

Přestoupili vnitřní napětí mez pevnosti, povrch popraská. Poruší-li se tenká vrstva, obvykle to nevede, ale většinou jsou trhliny (když už vzniknou) hlubší a svědčí o špatném tepelném zpracování před broušením. Trhliny při broušení zavlnila tedy skoro vždycky kalifna.

Proč vznikají trhliny většinou v síťovině kolmé ke směru broušení? Ohřátý povrch se roztáhne a když se opět ochladí, mají jeho částice menší objem, a proto povrch popraská.

Přidávky na broušení

Velikost přidávků na broušení závisí na průměru a délce obrobku, na upnutí a předešlém obrobení a na tepelném zpracování. Má velký vliv na hospodárnost práce. Proto musíme věnovat volbě přidávků největší péči. Příliš velké přidávky zhorší produktivitu, příliš malé přidávky ztíží práci a seřízení stroje a větší počet zmeků. Aby stacily menší přidávky, je někdy výhodné obrobky před broušením rovnat. Zpravidla ubereme na hrubo asi 80 % přidávku a při obrábění na čisto 20 %. V sériové výrobě se hrubuje na zvláštní brusce, jinak se musí vyměňovat kotouče nebo (v kusové výrobě) brousíme stále jedním kotoučem, ale na hrubo zmenšíme rychlost posuvu obrobku.

Velikosti přidávků na broušení pro součásti kruhového průřezu bez tepelného zpracování jsou uvedeny v další tabulce, a to pro délky do 150 mm (levá dvě čísla nad sebou) a nad 400 do 800 mm (pravá dvě čísla nad sebou); pro tepelně zpracovaný materiál jsou přidávky asi o 0,1 mm větší.

Ø, mm	3 až 10	11 až 18	19 až 30	31 až 50	51 až 120	121 až 180	181 až 260	nad 260
Přídavek, mm	0,25 0,15	0,3 0,2	0,3 0,15	0,3 0,2	0,4 0,3	0,3 0,2	0,35 0,25	0,4 0,35
	0,7	0,5	0,4	0,35	0,4	0,35	0,4	0,5

Na příklad hřídel Ø 20 mm, délka 600 mm, bez tepelného zpracování, má přídavek na Ø asi + 0,3 až + 0,4 mm; kdyby měl délku do 150 mm, stačil by přídavek + 0,2 až + 0,3 mm.

Přidávky na broušení děr v součástech, bez tepelného zpracování, upnutých v tříčlístovém sklíčidle, volíme co nejmenší a to:

Ø, mm	3 až 6	7 až 10	11 až 18	19 až 30	31 až 50	51 až 80	81 až 120	121 až 180	181 až 250	251 až 300
Přídavek, mm	0,15 0,25	0,2 0,3	0,25 0,35	0,3 0,45	0,35 0,5	0,4 0,55	0,45 0,6	0,5 0,65	0,55 0,70	0,6 0,8

Např. díra Ø 20 mm má přídavek na broušení —0,3 až —0,45 mm.

BRUSKY

Uvedeme zde jen několik poznámek k práci brusek. Seznam a popis více než sta typů brusek, které pracují v našich strojárnách, je příliš obsáhlý. Všechny významnější typy už mnoho let vyrábíme, je třeba stále sledovat zprávy z veletrhů a výstav. Normy: 20 0024 — soudnost pohybu, 20 0344 — přesnost, 20 0420 — velikosti brusek. Hlavní typy brusek jsou:

Brusky na vnější rotační plochy (nesprávně „do kulata“) tj. jednoduché, hrotové, pro práci mezi hroty a ve sklířidle; univerzální hrotové; zapichovací; bezhroté průchozí i zapichovací. Brusky na vnitřní rotační plochy (brusky na díry, nespr. „vnitřní brusky“), tj. jednoduché; planetové; bezhroté.

Rovinné brusky, tj. pro broušení obvodem kotouče s vratným stolem a s vodorovným vřetenem; pro broušení čelem kotouče nebo broušení hlavy, s vratným stolem a se svislým vřetenem; bubnové se dvěma kotouči pro broušení čelem aj.

Speciální brusky, tj. na válce válcovacích stolic; na čepí klíčových hřídelů, naše BKH1 aj.; na vačkové hřídele, naše polcautomaty BEK 152 aj.; na vodiči dráhy, lože obráběcích strojů; na závit (bližší A. Václavovič, Závitý a šrouby, 1952); na sedla ventilů, naše BV, na šneky; na turbínové lopatky; kopírovací na ozubení; na ložkové kroužky; ruční přenosné brusky, s ohledným hřídelem aj.; ruční kyvadlové brusky; s brusným pásem atd.

Ostříčky na nástroje — jednoduché a univerzální na frézy, vrátky, vřetuzníky, závitové nástroje atd.

Univerzální hrotová bruska má dva stoly, vrchní a spodní. Spodní stůl je uložen na vedení lože a má podélný posuv. Vrchní otočný stůl je uložen na spodním stole a umožňuje brousit i kuželové plochy. Z našich konstrukcí jsou rozšířeny starší typy Kameníček řady U (1U

až 7U) a novější řada BUA s možností automatického pracovního pochodu.

Hrotová bruska je zjednodušená univerzální a brousí hlavně válcové nebo táhle kuželové plochy. Zapichovací bruska brousí širokým kotoučem celou délku obrobku najednou. Univerzální hrotová bruska BUT 63 (TOS Hostivař) nahrazuje starší typ brusky 7U, který předtí výkonem, přesností, jakostí výrobku, zjednodušenou obsluhou i tím, že může brousit těžší součásti (do váhy 2500 kg).

O modernizaci brusek řady U, které se vyrábějí už asi 20 let, píše M. Pražák a J. Novotný ve Strojírenské výrobě č. 2, 1957. Příklady zapichovacího broušení na brusce BUA 31 uvádí A. Novotný ve Strojírenské výrobě č. 8, 1959. Brousí buď širokými kotouči, nebo několika kotouči najednou ve speciální přírubě. Na ocel vyhověly např. kotouče A99 46L 8V.

Naše bezhrotá bruska BB10 je vhodná pro sériovou výrobu rotačních součástí průchozím a hlavně zapichovacím způsobem s polcautomatikým pracovním cyklem. Brusný i podávací kotouč mají hydraulické ořovnávací zařízení.

Brusky na díry mají vřetenem vodorovné i svislé. Větší díry se brousí planetovým pohybem vřeten, které krouží kolem osy. Z našich konstrukcí vynikají typy HS a BDA. Bruska BDA 63 je určena k sériovému broušení děr v součástech do vnějšího průměru 630 mm. Při kusové práci může pracovat s ručním ovládáním, i s automatickým cyklem, řízeným sledovacím měřidlem, kalibrem nebo vačkou. Přisuvy pracovního vřeteníku a broušícího vřetená jsou hydraulické. Brousí vřetenem s elektromotorem při broušení osciluje na podélných saních. Obrobek je na vřeteníku umístěn na příčných saních, kolmých k podélným.

Rovinné brusky pro práci obvodem kotouče mají vodorovné vřetení; používá se jich zejména v nářadovnách (naše konstrukce TOS Hostivař BPH 200/600; BPH 20 N). Stůl má podélný posuv hydraulický i ruční a strojní nebo ruční přičný posuv. Vřeteník má jemný ruční posuv do záběru i rychlý posuv k přestavení elektromotorem, ovládaným tlačítky. Z dalších našich konstrukcí vynikají typy BRP (portálová rovinná bruska s vodorovným vřetenem) BRH, (s automatickým pracovním pochodem), se svislým vřetenem BPV, BTV aj.

Z našich speciálních brusek vyniká BE 7, brousící najednou vnější povrch, vnitřek i čelo kroužků valivých ložisek (popis je ve Strojírenské výrobě č. 8, 1957).

Pohon brusek

Abys udržela stálá řezná rychlost, přizpůsobuje se někdy počet otáček kotouče průměru. Dále má kotouč malou rychlost pro orovnávání. Může-li se počet otáček plynule řídit, stačí při kusové výrobě měnit řeznou rychlost místo výměny kotoučů. Proto potřebuje střídávý elektromotor variátor. Aby běh byl klidný a tichý, je pohon od motoru řemenný (bez konce) a motory jsou co nejbližší základům a často pružně zavěšeny.

Uložení brusných větet

Vřetena mají kluzná nebo valivá ložiska odlehčená od tahu řemenů. Není dosud jisto, která z nich jsou lepší. Praxe ukazuje, že kluzná ložiska často umožňují lepší výborus než valivá, lépe se v nich tiuní chvění. Valivá ložiska jsou citlivější, chvění je třeba vyloučit pružným předpětím (stažením) ložisek. Kluzné ložisko se „usadí“ teprve po ohřevu na stálou teplotu.

Posuvy

U brusek na vnější a vnitřní rotační plochy má pracovní větetník (s obrobkem) vlastní motor s převodovkou s ozubenými koly nebo s variátorem. Má malý počet otáček a hrot většinou neočočný. Podélný posuv stolu je výhradně hydraulický, příčný posuv je také hydraulický na konci zdvihu stolu (to znamená, že kotouč při krátkém zastavení stolu zapichuje). Elektrické dorazy řídí velmi přesně zastavení přísuvu. U rovinných brusek (kde kotouč brousí obvodem), které mají stůl jako brusky na rotační plochy, má příčný posuv na konci zdvihu (až 2/3 šířky kotouče) větetno nebo stůl. Svislý přísuv má vždy větetno.

Při broušení čelem kotouče je velmi výhodný otočný stůl (plynulá práce). Přísuv je rovnoběžný s osou větetna a vyrovnává jen úbytek výšky kotouče opotřebením a orovnáváním.

U bezhrotých brusek má podávací (regulační) kotouč samočinný přísuv až na konečný rozměr. Opotřebením brusného kotouče se vyrovnává ručním stavěním i jinak. Axialním přestavením větetníku podávácho kotouče se odděleně obtahují brusný i podávací kotouč. Počet otáček se řídí v jemných stupních nebo plynule. Vřeteno podávácho kotouče nese velké tlaky a točí se pomalu, takže v jeho ložisku nevzniká ani hydrodynamický nosný film oleje. Proto musí být páhve zvláště tuhé, stavěcí.

Čerpadlo se pohání někdy od hlavního motoru, lepší však je, měli-li zvláštní motor. Pak se hlavní motor může spustit teprve až když pracuje čerpadlo.

Automatizace brusek

V čtyřech závodech (v automobilkách, ve výrobě valivých ložisek, obráběcích strojů aj.) je broušení hlavní dokončovací operací. V automobilovém a traktorovém průmyslu pracuje např. 14 % strojů brusným nástrojem. Veliká pozornost se věnuje automatizaci broušení. Nástací automatizovat jen pracovní cyklus, ale i měření, upínání a vyjímání obrobků a orovnávání kotouče.

Četné dosavadní pokusy o automatizaci brusek se nezdařily, protože skoro vždy je čas pracovního cyklu automatické brusky delší než čas brusek obsluhovaných ručně. Jde-li totiž o broušení nepřetržitého přídávku, probíhá pracovní posuv kotouče bez broušení a to je ztráta času („brousí se vzduch“).

Posuvy pro automatický cyklus musíme nastavit tak, aby se zabránilo i maximálnímu házení při nejmenším přídávku, aby nevznikli zmetek, a proto se součástí s menším házením nebrousí hospodárně.

Některé otázky automatizace broušení probírá V. Zavlajov časop. Strojírenství č. 8, 1950 na základě referátů z konference o automatizaci obráběcích strojů z r. 1959.

Automatické cykly jsou ovládány sledovacími měřidly (např.

Směrnice pro volbu brusných kotoučů

Materiál		Broušení ploch									Ostření nástrojů		
		válcových vnějších			válcových vnitřních			rovinných			zrnitost	soudržnost (tvrdost)	ovisivo
		zrnitost	soudržnost (tvrdost)	brusivo	zrnitost	soudržnost (tvrdost)	brusivo	zrnitost	soudržnost (tvrdost)	brusivo			
Oceli	nekalené	uhlíkové	46—60	L-N	Korund	46—60	K-M	Korund	1)24—36 2)46—60	F-G K-L	Korund	—	—
		slitinnové	46—60	L-N	Korund	46—60	L-M	Korund	1)24—36 2)46—60	F-G K-L	Korund	—	—
		rychlo- řezné	46—60	L-N	Korund	46—60	L-M	Korund	1)24—36 2)46—60	F-G K-L	Korund	—	—
		uhlíkové slitinnové	60—80	K-L	Korund	46—60	J-L	Korund	1)24—36 2)60—80	I-F I-K	Korund	46 60—80	K-M L-M
		rychlo- řezné	60—80	K-L	Korund	60—80	I-L	Korund	1)24—36 2)60—80	I-F I-K	Korund	46—60	K-L
		cement.	60—80	I-K	Korund	46—60	I-K	Korund	1)24—36 2)60—80	I-F I-K	Korund	—	—
	kalené	nitridovaná ocel	—	—	—	60—80	I-K	Karbor.	—	—	Karbor.	—	—
		šedá litina	36—46	J-L	Karbor.	36—46	I-L	Karbor.	24—46	H-K	Karbor.	—	—
		mosaz a bronz	36—46	K-M	Karbor.	36—60	J-L	Karbor.	24—46	F-J	Karbor.	—	—
		hliník	46—60	J-L	Kar.sp.	36—60	J-L	Kar.sp.	36	I	Karbor.	36	K-L
		slutiné karbidy	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80	I-K
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	hrub. ext. jemn.

1) Broušení s chlazením.

2) Broušení za sucha.

u našich brusek BUA 20, BUA 31; bruska na díry BDA 63 je řízena programovým cyklem). Polotovary se podávají ze zásobníků samočinnými nakládači (též u rovinných brusek). Často jsou brusky vybaveny zařízením na tvarové orovnávání kotouče, např. podle šablony v měřítku 5 : 1, někdy i na jeho tvarování kladkami. V sériové výrobě brousíme co nejvíce zápichem širokými kotouči, pro jejichž tvarování vyvinuly zahraniční továrny složité a drahé optické, pantografická aj. kopírovací zařízení. U nás pracoval mnohem lepší technologii tvarového broušení kolektiv brusů vedený F. Hamrem v ZJŠ, Brno.

Automatizovaná bruska se při poruše sama zastaví, oznámí poruchu; signalizuje optimální opotřebení kotouče a zastaví se; podává obrobky a měří je. Souhrn zařízení, které to vše dělá, je tzv. autooperátor. Několik jeho konstrukcí popisuje A. Dufek ve Strojírenské výrobě č. 5, 1960, zvláště konstrukci výzkumného ústavu pro valivá ložiska, Brno, pro brusku na díry BDA 40. Dokonalejší využitím stroje se zamontováním autooperátorem vzrůstá výrobnost brusky o 40 % a produktivita práce (vztahena na dělníka) roste nejméně o 200 %, protože jeden dělník stačí obsluhovat alespoň tři brusky.

Stručně probereme několik hlavních brusičských prací. K podrobnějšímu studiu je vhodná Příručka pro brusiče, B. Dobrovolný, 1953; pro začátečníky Broušení kovů, Lebedev, 1952 (překlad z ruštiny).

Volba brusného kotouče

Vybrat vhodný kotouč je umění, jemně se nelze naučit jen z knih. Tu záleží na mnoha činitelích, z nichž největší význam mají (viz též ČSN 22 4503):

1. Broušený materiál. Korundem obvykle brousíme ocel, ocel na odlitky, temperovanou litinu a tvrdé bronzy; karborundem SiC brousíme šedou litinu, mosaz, měkké kovy, měď (zrno 36 až 46, struktura 5), lehké kovy a jejich slitiny, sklo, keramické hmoty, kameny a nejtvrdší materiály, jako jsou slinuté karbidy.

K rychlému úběru tvrdého, křehkého materiálu je obvykle výhodný větší počet zrn, protože každé zrn může zabrat jen malou třísku. Proto volíme střední a jemnou zrnitost. Měkké, tvárnější hmoty brousíme nejúčinněji kotouči s hrubším zrnem.

Velmi tvrdý materiál se však lépe brousí měkkými kotouči, protože se z nich ocupená zrna rychleji vyhlazují. Měkké, snadno brusitelné materiály brousíme tvrdšími kotouči. Na slinuté karbidy volíme kotouče s řídkou strukturou, protože karbid je skoro tak tvrdý jako zrnko kotouče a potřebujeme stále nová ostrá zrna, která se při volné struktuře snadněji vyhlazují. Další tabulka uvádí přibližné směrnice pro volbu kotoučů při strojním broušení.

Prýžové válce např. pro psací stroje brousíme za sucha nebo s chlazením vzduchem nebo vodou; kotouč občas čistíme drátěným kartáčem. Zabíráme tlustší vrstvu najednou, aby zrna lépe řezala.

2. Přesnost a drsnost povrchu. Aby se dosáhlo přesných rozměrů a hladkého povrchu obrobku, je vhodnější kotouč s jemným zrnem, obvykle s keramickým pojivem. Jen pro nejemnější povrchy volíme kotouče s pojivem z umělé pryskyřice, ze šelaku aj.; zrcadlového lesku i na oceli se dosáhne brusivem SiC.

Na měkkém a houževnatém materiálu dosáhneme jemného výbrusu jemným zrnem s hrubou strukturou; hrubujeme však větším zrnem s volnou strukturou. Tvrdé materiály je však lépe hrubovat jemnějším zrnem s hustou strukturou, protože zrna stejně nemožno ubírat velké třísky. Výjimkou jsou slinuté karbidy, pro něž se osvědčila řídká struktura. Hrubování a broušení na čisto rozlišujeme hlavně u nástrojů a přípravků, kladžto v sériovém broušení volíme raději správný kotouč a přidávek tak, aby nebylo třeba hrubovat.

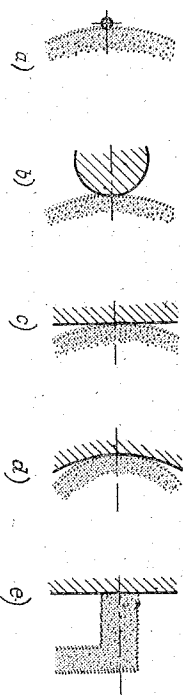
Jak může hrubé zrn brousit jemně? Musíme nařídít malý posuv kotouče a co největší posuv v_m (obvodovou rychlost) obrobku, aby každé místo broušeného povrchu přišlo do styku s mnoha zrny. Tím se povrch ohladí. Dále zlepšíme povrch tím, že necháme kotouč déle vyiskřít, takže má delší dobros bez přísuvu do hloubky. Zlepšená jakost povrchu jde ovšem na vrub výkonu. Kotouč se sám neostří, naopak, musí se častěji a dokonale orovnávat. Už z toho vidíme, že broušení jemných povrchů hrubšími zrny není hospodárné, lépe vyhoví jemné zrn; má též kratší dobros.

Díležitější je, že po hrubování můžeme jemněji brousit jen kotoučem, který má zrnitost asi o 40 až 60 čísel jemnější. Nemůžeme tedy např. hrubovat číslem 24 a pak hned hladit číslem 200 (nejvýše vyhoví zrn asi 80).

3. Styčná plocha kotouče a materiálu. Mění se podle způsobu broušení (obr. 15) a má veliký vliv na volbu zrnitosti a hlavně tvrdosti kotouče. Je-li malá styčná plocha (např. při broušení malého průměru), je malý tlak na 1 mm² mezi materiálem a kotoučem poměrně velký, a proto volíme střední zrnitost a střední tvrdost. Je-li styčná plocha velká, např. při rovinném broušení celým kotoučem, je měrný tlak mezi kotoučem a materiálem poměrně malý, a proto volíme hrubé zrn a měkký kotouč.

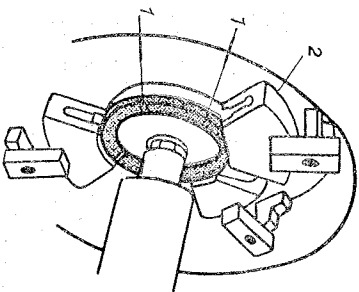
Při broušení děr vzniká velká styčná plocha, a proto musíme volit

mnohem měkčí kotouče než pro kotouče vnějších ploch. Jen do děr s drážkou, např. pro klin volíme tvrdší kotouče, aby se o hranu drážky nevytrhávala zrna. Při broušení čelem kotouče je často velmi výhodné přerušit čelo drážkami nebo dírami, obr. 16 (významný zlepšovací návrh).



Obr. 15. Stečná plocha kotouče a obrobku:

a — broušení velmi malého průměru, při němž je dotyková plocha nejmenší a pro tlisky stačí malé prostory; volíme jemné zrnno s pevnější vazbou (tvrdší); b — normální vnější broušení; c — rovinné broušení; d — vnitřní broušení; e — rovinné broušení čelem kotouče. Dotyková plocha je největší v případech d), e), kdy musí být kotouče měkčí. Např. tvrdost N vyhoví pro ocel průměru 50 mm, ale nevyhoví pro průměr 100 mm, protože už příliš vzrostla dotyková plocha



Obr. 16. Prodloužení trvanlivosti brusných kotoučů

Při broušení přesných drážek v součástech 2 kotouče 1 velmi trpěly a pářily, protože jejich čela se špatně chladila. Broušilo se šest kusů najednou. Úpravou čelních drážek i širokých a hlubokých asi 3 mm, se práce podstatně zlepšila. Odstrídívou sílou protéká drážkami řezná kapalina. Přerušení pracovní plochy kotoučů často zvýší jejich výkon. U dvoustranných dvoukotočových rovinných brussek BSBK (TOS Hostivá) se šestinasobně prodloužila trvanlivost kotoučů tím, že do čelních ploch kotoučů průměru 750/200 mm, tlustých 50 mm, se vyhloubilo osm řad direk průměru 6 až 8 mm, hlubokých 40 mm, v rozteči asi 25 mm, které přerušují plochu mezikružím

4. Řezná rychlost kotouče. Řezná rychlost kotouče má vliv hlavně na volbu jeho pojíva. Keramické pojívo vyhoví do rychlosti asi 35 m/s; keramické kotouče na závity vačky aj. mohou pracovat i vyššími rychlostmi. Pro vyšší rychlosti volíme pojívo z umělé pryskyřice, pryže, šelaku. Jsme-li nuceni zmenšit řeznou rychlost, ubírají zrna větší třísky, kotouče se rychleji opotřebí, a proto volíme tvrdší kotouče.

5. Posuvy. Množství odbroušeného materiálu dostaneme, znásobíme-li navzájem přísuv, posuv obrobku a podélný posuv, tedy $a \cdot v_m \cdot s$. Roste-li toto množství, bitý zrn více pracují a rychleji se opotřebí. Proto volíme tvrdší kotouč. Zvětšili-li se posuv obrobku v v_m a podélný posuv s na jednu otáčku se nemění, roste podélná posuvová rychlost, tím roste i opotřebení kotouče, a proto volíme tvrdší kotouč. Kotouče pro větší tlak (např. pro zapichování) musí být i tvrdší.

6. Stav brusky. Na brusce, která není v dobrém stavu (má např. příliš velkou vůli v ložiskách, základ není stabilní atd.) musíme volit tvrdší kotouče než pro stejnou práci na dobré brusce. Také pro broušení s chlazením volíme tvrdší kotouče než pro práci za sucha, kde musí být kotouč měkčí, aby brousil „chladněji“.

7. Průměr brusného kotouče. Velké kotouče jsou výhodné pro produkční broušení rotačních ploch i pro rovinné broušení i hromadné výroby, protože se nemusí tak často orovnávat a náklady na opotřebení o 1 cm³ jsou menší. Kotouč průměru např. 200 mm se opotřebí dvakrát rychleji než kotouč průměru 400 mm, protože brousí jen polovičním počtem zrn. Naopak kotouč průměru 400 mm ubrousí každým cm³ svého opotřebení o něco víc než dvakrát větší množství materiálu než kotouč průměru 200 mm za stejných podmínek. Protože cena kotouče závisí obvykle na jeho objemu, jsou větší kotouče hospodárnější. Velký stroj je však opět dražší a má větší režii.

Pro kusovou práci, např. tvarové broušení v nářadovnách se vždy lépe hodí kotouče menších průměrů a měkčí. Mají menší obvod, a proto se snadněji tvarují, uspoří se diamanty i čas. Menší kotouč má i užší styčnou plochu s obrobkem, která je zvlášť důležitá, brousíme-li tvar širokým záběrem, např. najednou v šířce 100 mm.

Např. tvarový kotouč průměru 100 mm, široký 50 mm, lze tvarovat třikrát rychleji než kotouč průměru 200 mm stejně široký, při značné

úspoře diamantů a snadnější práci. Je nesprávné, volili brusit třeba na jediný tvarový nůž kotouč velkého průměru. Stačí průměr od 80 do 120 mm; malými kotouči také brousíme tenké obrobky, aby se co nejvíce zkrátil styčný oblouk.

Kvalifikaci brusíře můžeme posuzovat též podle toho, kolik spotřebuje kotoučů. Čím lepší je brusíř, tím méně kotoučů spotřebuje při velkém výkonu. Zvyšší velké ztráty vznikají neodborným orovnáváním.

1. Pokyny, které usnadní správnou volbu kotoučů

Brousíme-li stále stejné obrobky, zvolíme celkem snadno správný kotouč. Za běžného provozu, kdy se na jedné brusce brousí různé obrobky, kalené i měkké, na hrubo i na čisto, někdy v menších sériích, vyžadují výměny kotoučů značný čas. Hledíme volit kotouče vždy pro skupinu prací.

Někdy nemůžeme použít k broušení nejvhodnějšího kotouče. Potom si pomůžeme drobnými úpravami: příliš tvrdý kotouč častěji orovnáváme nebo mu udělíme menší počet otáček; stejně působí zvětšení přisuvu do hloubky nebo rychlejší podélný posuv nebo větší počet otáček obrobku. Je-li kotouč pro práci příliš měkký, nebo příliš hrubý, zvětšíme počet jeho otáček a zmenšíme posuv nebo počet otáček obrobku. Je-li kotouč příliš jemný, má stejný účinek jako kotouč příliš tvrdý. Odpomůžeme zmenšení průměru kotouče asi v polovině šířky obtažením. Pak brousí jen polovina šířky. Tak také upravíme kotouč, který je pro danou práci příliš široký, a proto příliš ohřívá obrobek.

Zkušební brusíř dokáže mnoho i s jediným kotoučem, hlavně v malém podniku, kde se práce často střídá. Tam totiž nemůže měnit kotouče tak často, jak by to bylo nutno. Zato v sériové výrobě se musí volbě kotouče věnovat největší péče, aby kotouč brousil opravdu dobře bez dlouhého zkoušení. Švédská zkušena se tu vždy vyplácí. Hlavně hledíme, aby kotouč dával žádaný povrch, pracoval hospodárně a ubrousil co nejvíce materiálu v nejkratší době.

1. Broušený materiál má vliv hlavně na tyto prvky broušení:

Brusivo (uměly korund na kov s velkou pevností, karbid křemíku na kov s malou pevností, hlavně litinu a slinuté karbidy a barevné kovy).

Tvrdost (na tvrdší materiál měkký kotouč, na měkký materiál tvrdší kotouč).

Zrnitost (čím měkký a těžnější materiál, tím hrubší zrna, čím tvrdší a křehčí materiál, tím jemnější zrna).

Sloh (čím měkký a houževnatější materiál, tím pórovitější kotouč, čím tvrdší a křehčí materiál, tím hutnější sloh).

2. Bruska (stroj) má vliv hlavně na tyto prvky broušení:

Tvrdost (čím lehčí je stroj a čím větší možnost chvění, tím tvrdší kotouč; čím stabilnější je stroj, tím měkký může být kotouč).

Zrnitost (čím lehčí je stroj a čím větší možnost chvění, tím jemnější kotouč, čím stabilnější je stroj, tím hrubší kotouč).

Sloh (čím lehčí je stroj a čím větší možnost chvění, tím pórovitější sloh, čím stabilnější je stroj, tím hutnější sloh kotouče).

3. Dotyková plocha kotouče a součásti má vliv hlavně na:

Zrnitost (čím větší plocha, tím hrubší zrna, čím menší plocha, tím jemnější zrna).

Tvrdost (čím větší plocha, tím měkký kotouč, čím menší plocha, tím tvrdší kotouč).

Sloh (čím větší plocha, tím pórovitější sloh, čím menší plocha, tím hutnější sloh).

4. Počet otáček brusného kotouče má vliv hlavně na:

Tvrdost (čím menší počet otáček, tím tvrdší volíme kotouč, čím větší počet otáček, tím měkký může kotouč být).

Pojivo: Závisí na řezné rychlosti v , m/s:

$v =$ do 35 do 45 do 50 do 80 m/s,

pojivo: keramické, organické, guma, šelak, bakelit.

5. Chlazení a rozměry kotouče mají vliv hlavně na:

Tvrdost (pro broušení s chlazením tvrdší kotouč, při jemném broušení hustší emulze).

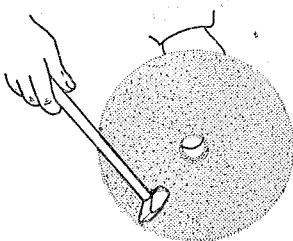
6. Přídavek na broušení má vliv hlavně na zrnitost. K hrubému a polohrubému broušení používáme kotoučů se zrnem č. 12 až 36. Při broušení na čisto nebo při malém přídavku na broušení použijeme kotoučů č. 60 až 120.

Upnutí brusných kotoučů a segmentů

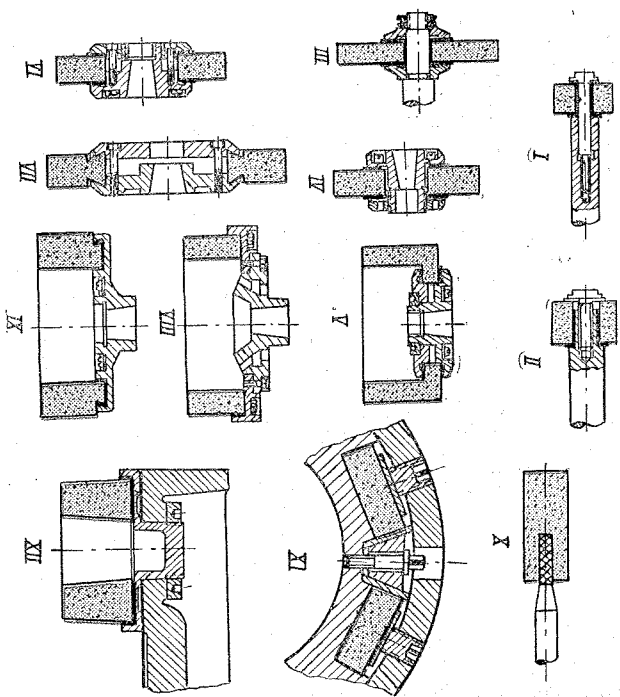
Běžné upnutí je na obr. 17. Před upnutím kotouč očistíme a poklepem paličkou nebo kladivkem zjistíme, dávají-li jasný, doznívající tón (obr. 18). Tak zjistíme, nemá-li kotouč trhliny.

Kotouč má díru o málo větší než je průměr upínacího čepu (norma ČSN 22 4501); vůle je např. od 0,1 do 1 mm pro kotouče s dírou do průměru 100 mm. Příliš malá díra se může provrtat, velká se vypouzdří kovovým trubkovým pouzdem anebo se zalije olovem a znovu se provrtá.

Upínací přírubby mají průměr asi $1/2$ průměru kotouče (podrobnosti ve vřad. nařízení č. 41/1938 Sb. par. 88 odstavec 1), nejméně $1/3$ průměru kotouče (podle normy ČSN 22 4501). Tlačí na kotouč jen mezi kružím širokým 5 až 15 mm u obvodu (ne celou plochou) a pod přírubu se vkládají podložky tlusté 0,5 až 2 mm z papíru, lepenky, pryže aj., které přechíňají na celém obvodu aspoň o 1 mm (obr. 19). Velké hrnčové kotouče se s úspěchem upínaly podle obr. 20.



Obr. 18. Zkouška zvuku kotouče



Obr. 17. Upnutí kotoučů a segmentů:

I, II — malé kotouče, upínané na válcovitou stopku šroubkem; III — větší kotouč upnutý dvěma přírubami; IV, V, VI, VII — větší kotouče, upnuté na hlavě s vnitřním kuželem; VIII, IX — upnutí na lícni desce; X — brusné tělísko („cičárko“) nastmelené na vroubkované stopce tmely Betoxyl nebo Betofer (vřr. Betosta, Brno 12) nebo silonem; kotouček se oběje na teplotu tavění silonu, do díry se nastříhají např. odpady silonových vláken, zasadí se čep a nechá se vychladnout; XI — čelní brusné segmenty upnuté v brousiči hlavě příložkami, šrouby a klíny; XII — miskovitě segmenty upnuté na velké hlavě přírubami, do nichž se segmenty natmelf

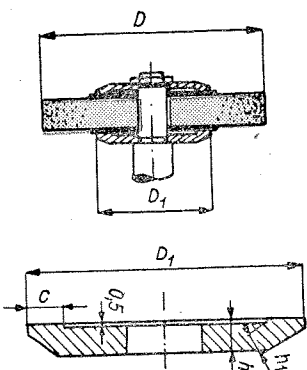
Orovňávání a ostření brusných kotoučů

Orovňáváním dáme kotouči přesný geometrický tvar a soustřednost. Ostřením obnovíme jeho řezivost, tj. odstraníme tupá zrna a třísky ucpávající póry. Někdy se vylamují tupá zrna samoostřením, ale neovornoněrně; kotouč tím ztrácí válcový tvar a musí se stejně orovnat. Nejčastěji orovňáváme tvarové kotouče, protože se na různých částech obvodu opotřebují nesterjně, a tím ztrácejí správný profil.

Jemně orovnáme kotouč diamantem v držáku, který je dobře upnutý na brusce a opřeny (normy držáků ČSN 22 4920 a 22 4921). Levnější a pro většinu případů stejně dobré jsou orovnávací kladky tla-

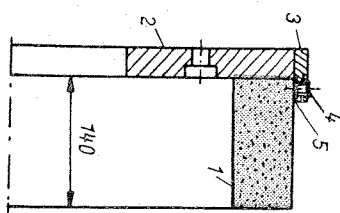
čící na kotouč. Jejich vážnou nevýhodou je, že při orovnávací rychlosti kotouče (18 až 35 m/s) mají značné otáčky (např. 25 000 ot/min), protože mají malý průměr. Pro malý průměr kladky nemůžeme upravit valivá ložiska, do ložisek vníká brusný prach, a tím kladky velmi trpí.

K ostření větších kotoučů, určených k ostření nástrojů, vyhovují orovnávací hvězdíčky, dobře upnuté a opěně. Menší kotouče ostříme



Obr. 19. Rozměry upínacích přírub podle sovětských norem

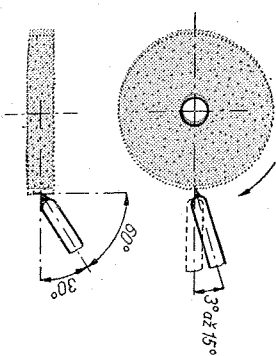
Průměr brusného kotouče D	Průměr příložných přírub D ₁	Šířka kruhové dosedací plochy c	Výška příruby	
			h	h ₁
25	10	2-3	2	2
50	20	2-5	3	3
75	30	3-6	5	3
100	40	5-10	5	3
125	50	5-10	6	3
150	60	6-12	8	5
200	80	6-12	8	6
250	100	8-14	8	6
300	100	9-14	8	6
400	175	10-16	10	6
500	175	10-16	10	6



Obr. 20. Upnutí velkých
hrncovitých kotoučů

Kotouče 1 se držíte tmelily na přírubu. Práce se urychlí mechanickým upínáním. Na přírubu 2 se navaří kroužek 3 s několika šrouby 4 a s drážkou, v níž je ocelový pás 5. Kotouč upneme šrouby rovnoměrně po celém obvodu

Obr. 21. Poloha diamantu
při orovnávání a ostření



a hrubě orovnáváme a tvarujeme ručně tyčinkami z karbidu křemíku nebo z karbidu boru, zatavenými sírou do držáku. Na dokončení diamantem necháme vrstvu 0,1 mm tlustou.

Zjistilo se, že diamant brusná zrna hlavně vytlumuje, jen velmi zřídka některé přerizne.

Diamanty. Nejlepší průmyslové diamanty jsou carbon, pak bort

a ballas. Pokud je diamant pěkný krystal, můžeme ho v držáku upnout. Většinou se diamant zaklepe, zapájí na tvrdo, zaleje do držáku. Velikost diamantu volíme podle tabulky:

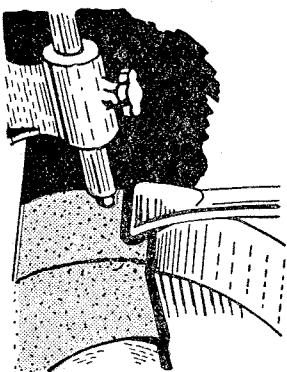
Průměr kotouče do 100 101 až 200 201 až 300 nad 300 mm,
váha diamantu 0,25 až 0,5 0,5 až 0,75 0,75 až 1 1 až 1,5 karátů.

Každý brusník má mít svůj diamant, za který odpovídá. Při práci se držák s diamantem sklání podle obr. 21. Ostří-li se diamant, natočíme jej, aby pracoval stále ostro u hranou. U moderních orovnávacích přípravek se diamant samočinně pootočí po každém průchodu přes kotouč a má přísuv asi 0,002 mm. Diamant musí mít stále ostrý hrot, aby pracoval

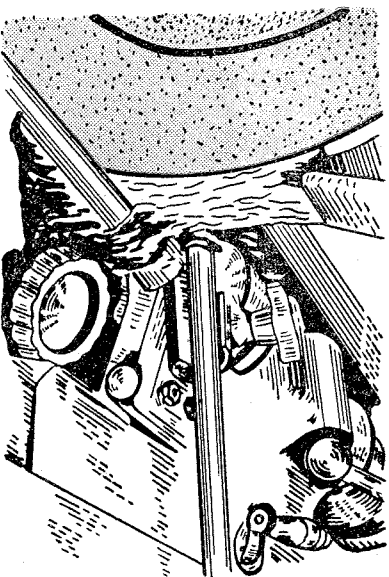
s malým odporem. Tupý diamant dává drsnější kotouč a nevytvoří přeseň válcovou plochu. Kotouč jím orovnaný brousí mnohem tvrději, než uvádí jeho značka. Před broušením se musí každý nový kotouč před vyvážením orovnat na obvo-

dě i ze stran.

Přísuv diamantu při ostření je 0,02 až 0,04 mm na každý zdvih. Přejíždí-li diamant po obvodu kotouče rychloposuvem bez vyjiskření, je to tzv. ostření otevřené; dosáhne se tak vysoké řezivosti kotouče. Při jemném ostření pomalým posuvem zmenšujeme postupně přísuv a nakonec povrch kotouče přejedeme diamantem vyjiskřovacím zdvi-



Obr. 22. Začínáme orovnávat na nejvyšším místě obvodu, ne u kraje kotouče



Obr. 23. Kotouč ostříme diamantem s chlazením, tak jako při broušení

hem bez přísuvu; povrch kotouče je hladší a brousí jemněji. Proto „otevřeným“ způsobem ostříme hrubovací kotouče a jemným způsobem hladící kotouče.

Rychlost podélného posuvu diamantu závisí na zrnitosti a tvrdosti kotouče a na požadované jemnosti orování. Pomalejším posuvem se dosáhne jemnějšího kotouče; posuv však nesmí být příliš pomalý, aby se kotouč nechlátil. Při příliš rychlém posuvu vzniknou na kotouči rýhy.

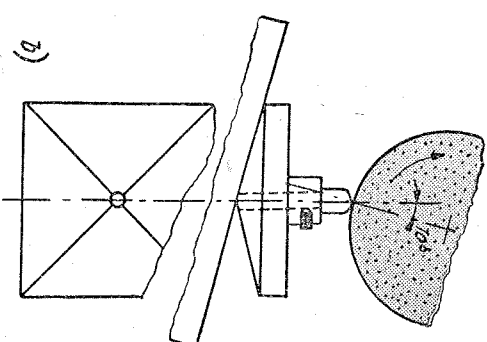
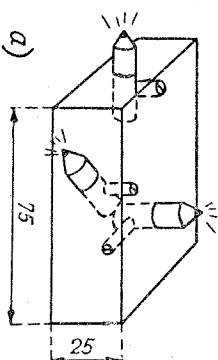
Kotouč se obvykle víc opotřebí na hranách a na obvodu zůstává vypouklý. Začínáme proto orovnávat na nejvyšším místě (obr. 22), aby diamant při podélném posuvu nezajel příliš hluboko a nepoškodil se. Při jemném orování musí mít diamant již při prvním záběru podélný posuv, aby v kotouči nevznikla rýha. Orovnááme tak dlouho, až podle zvuku poznáme, že diamant zabírá na celém kotouči stejně.

Orovnááme na suchu nebo s chlazením, tak, jak budeme brousit; brousíme-li s chlazením,

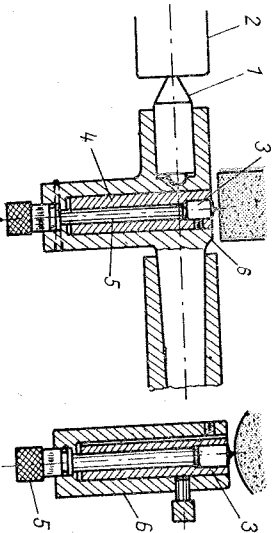
Obr. 24. Kostky s orovnávacím diamantem

V kostce a) je několik přesných děr pro držák diamantu. Kostku opíráme o magnetickou desku nebo hranol. Dosedá na magnetickou desku. Opřením o jiný bok jehlanu pracuje i jiná hrana

diamantu



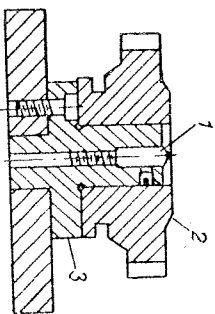
orovnáváme také kotouč s chlazením (obr. 23). Za sucha musíme dávat pozor, aby diamant nenaběhl teplem do modra nebo nepraskl nahřímým ochlazením. Prach splachujeme nejlépe proudem kapaliny radiálně na kotouč.



Obr. 25. Orovnávací diamant v opěrném hrotu

Hrot 1 opírá součást 2. Držák diamantu 3 je v pouzdru 4, které se může stavět mikrometrickým šroubem 5. Hlava 6 se upíná v kuželové dutině vřetena koníku. Orovnáváme bez přerušení práce tím, že zajedeme stolem doprava

Stává se, že pokud kotouč nebrusí, běží po orování přesně, je vyvážen. Při broušení však vznikají na obrobku vlny a na obvodu kotouče tmavá místa, svědčící o tom, že kotouč nebrusí celým povrchem. Příčinou toho je malá tuhost držáku orovnávacího diamantu, který se rozkmitá; držák je dostatečně tuhý, když při dokončovací třísce diamantu s přírůstkem 0,03 mm je jeho



Obr. 26. Brousíci přípravek s orovnávacím kotoučem

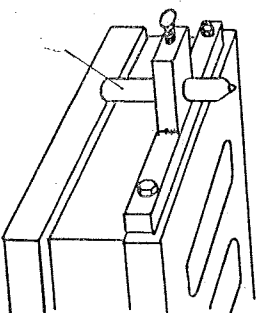
Kolečko 2 se brousí na přesnou výšku. Nasadí se na tep 3 a výšku diamantu 1 nařídíme podle základních měrek tak, aby při broušení kotouče 1 kdyby brusil zabal do větší hloubky, orovná diamant kotouč na rozměr. Tak se může brousit sériově bez měření

deformace menší než 1 mikron, čili je-li deformace asi 1 mikron na každý kg radiálního tlaku. U brusek na vnější rotační plochy jsou obvykle držáky orovnávacích dost tuhé, v rovinných bruscech a u kopírovacích zařízení nebyvají někdy držáky dost tuhé, mají vůle v kluzném vedení. Hydraulický podélný posuv k orovnávání (např. 0,2 mm/min) bývá trhaný, je-li olej pružný, protože v něm jsou jemné bublinky vzduchu. Hydraulika brusky se musí dobře odvzdušnit.

Několik návrhů na zlepšení orovnávání je na obr. 24 až 27. O diamantech ve strojírenství viz P. Růžička, Strojírenská výroba č. 1, 1956. Ve stejném čísle J. Maixner, Z praxe zasazování diamantů.

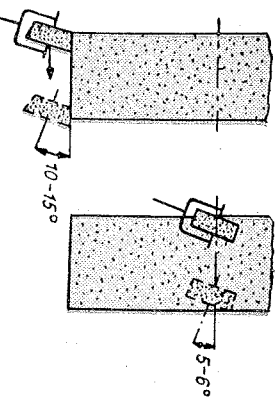
Diamantové tyčinky mají místo jednoho většího diamantu několik malých diamantů za sebou ve tmelu nebo jsou ze stmelového diamantového prachu.

Kladky z oceli, slinutého karbidu, z karbidu křemíku jsou buď

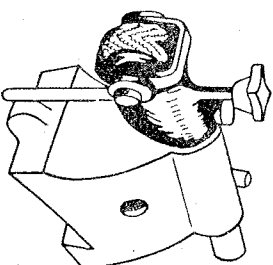


Obr. 27. Orovnávač na magnetické desce

Držák diamantu 1 se upne stavítelem na boku desky. Urychlí se tím orování kotoučů i bez snímání obrobků s desky, prach nepadá na desku

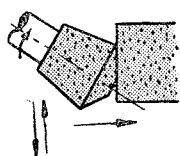


Obr. 28. Poloha orovnávacích kladek



Obr. 29. Zviněné ocelové kladky

šikmé, nebo se stavějí šikmo k ose (obr. 28). Držák kladek se musí pevně opřít; ložiska čepů se jednou týdně čistí a vyrovnávají se jimi opotřebením. Nakonec přejíždíme kladkou po kotouči bez přísuvu tak dlouho, až přestane jiskřit. Podélný posuv je při obtahování na hrubo 1,5 až 2,5 m/min, na čisto 1 až 1,5 m/min. Přísuv je na hrubo 0,08 až 0,12 mm na jeden zdvih, na čisto 0,02 až 0,05 mm na jeden zdvih.



Ocelové kladky se zvláštním povrchem pracují podle obr. 29, zvonovité ostříčí kotouče z karbidu křemíku podle obr. 30 (na hrubo lépe než ořovnávací tyčinky).

Kladky ze slinutých karbidů mají pro hrubování novité ostříčí podélný posuv 0,5 m/min a přísuv 0,02 až 0,04 mm, kotouče z SiC na čisto podélný posuv 0,2 až 0,3 m/min a přísuv 0,01 až 0,03 mm. Pro větší kotouče vyhovuje několik kladek vedle sebe. Kladka nesmí přejít celou šířkou přes kraj kotouče; na jedno obtažení stačí 5 až 7 průchodů.

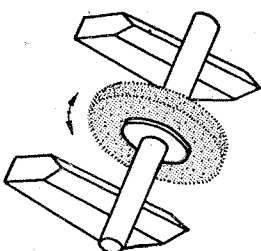
O výrobě ořovnávacích kladek z odpadů slinutých karbidů píše časopis Věstník Mašinstrojenia, č. 3/1955. O „bezdiamantovém“ ořovnávání brusných kotoučů píše J. Dáňa a J. Matxner ve Strojírenské výrobě, č. 7/1957.

Zamačkávací kladky. Kotouče se mohou také ořovnávat a tvarovat zatlačením co nejmenší ocelové nebo litinové kladky, nejčastěji z rychlořezné oceli tvrdosti 62 až 64 H_{RC} . Vydrěná zrna kotouče ničí kladku, proto tvar kladky nezůstane přesný. Nemůžeme např. ořovnat širokou kladkou rovný kotouč. Někdy (např. pro hrubou výrobu; u širokých kotoučů na broušení závitů; u kotoučů velkých průměrů a šířek, kde by byla značná spotřeba diamantů, apod.) se zamačkávacích kladek s úspěchem používá pro keramické kotouče zrnitosti 120 až 320. Bruska musí být tuhá, protože kladka značně tlačí na kotouč a pružení vřetena by mělo vliv na přesnost práce. Kotouč se při zamačkávání točí jen rychlostí asi 30 až 100 m/min. Poháně se buď kladka, nebo kotouč, přísuv kladky je 0,003 až 0,03 na otčku kotouče. Kladka se chladí a maže olejem, kotouč se často kartáčuje. Kosouče ubývá při zamačkávání rychleji než při tvarování diamantem; má dokonce některé výhody

proti kotouči ořovnanému diamantem, např. někdy déle vydrží, rychleji se ořovná aj. Diamantem ořovnaný kotouč však brousí povrch lepší jakostí a přesnějších rozměrů.

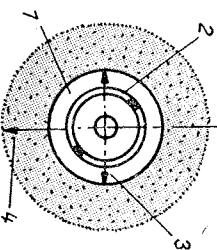
Vyvážení brusných kotoučů

Nový a opotřeбенý kotouč se musí na ose přesně vyvážit. Nasadí se na přesný trn, který se opírá o dva břity; staticky je vyvážen tehdy, zůstane-li po natočení v každé poloze v klidu, tj. sám se neotočí, obr. 31.



Obr. 31. Vyvážení kotouč se zastaví v každé poloze

Podrobnosti v normě ČSN 22 4506, Statické vyvažování brusných kotoučů



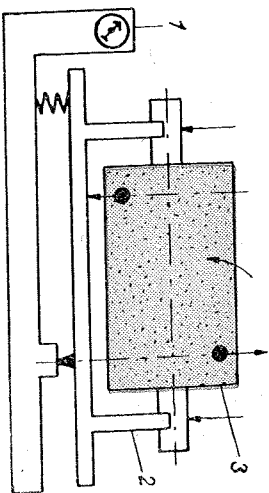
Obr. 32. Vyvažování brusného kotouče:

- 1 — upínací příruba s drážkou pro závaží; 2 — vyvažovací závaží, posuvná v drážce a upevňená šroubky; 3 — vodorovné značky; 4 — značka těžké strany kotouče

Nevyvážený kotouč pozná brusící podle chvění krytu nebo přívodu chladící kapaliny. Kotouč se vyvažuje např. přesouváním dvou nebo čtyř závažíček v drážkách upínací příruby (obr. 32). Před vyvážením kotouč vždy ořovnáme.

Širší kotouče je nutno vyvažovat i dynamicky na vyvažovacích strojích, které přímo ukazují, kde je třeba přidat závaží a jaké velikosti (obr. 33). Opotřebením se vyvážení kotoučů porušuje, protože nemají

rovnoměrný sloh. Proto se musí vyvážení často opakovat. Buď má brusit několik upínacích hlav s vyváženými kotouči, nebo mají kotouče samostatně vyvážovací zařízení. Takové zařízení zkonstruoval Výzkumný



Obr. 33. Schéma dynamického vyvážování
Ukazatel 1 určí nerovnováhu, výkyv kolečky 2 s vyvážovacím kotoučem 3

ústav obráběcích strojů a obrábění (VÚOSO) v Praze ve čtyřech velikostech (typ IZV 12). Montujeme je na vřeteno buď před kotouč, nebo na řemenici. V zařízení jsou vyvážovací závaží, která zaujmou takovou polohu, aby těžiště celku leželo v ose otáčení.

Upínání broušených obrobků

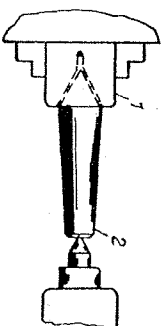
Materiál upínáme mezi hroty, ve skličidle nebo v kleštině ve vřetenu, na lícni desce, na stole brusky, na magnetické upínací desce aj. Velká péče se věnuje zrychlení a automatizaci upínání, aby se zkrátily vedlejší časy.

Mezi hroty je obrobek upnut buď přímo jako při soustružení, nebo je upnut na upínacím trnu (na nějž se dutý obrobek nasadí). Při broušení se raději používá neočích hrotů než otočných, protože jsou přesnější. Velkou péči musíme věnovat středícím důlkům. Stačí nepatrně šikmá osa důlku nebo nečistota na hrotu, aby vznikl oválný, hrانatý nebo křivý povrch. Proto se důlky před broušením vyhlazují

např. měděným kuželem a brusným práškem s olejem. Hodí se k tomu rychloběžná vrtačka, ještě lepší však je vybrousit důlek na speciální brusce. Také opotřebované hroty můžeme obrousit přímo na brusce zvláštním přípravkem nebo podle obr. 34. Výhodné jsou hroty ze slinutých karbidů, které méně trpí při práci a jsou dlouho přesné.

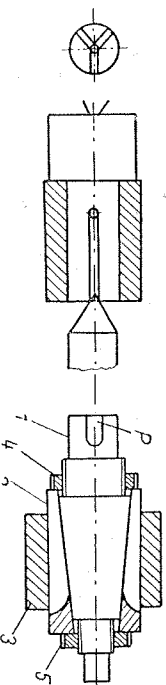
Obrobkem mezi hroty otáčí obvykle unášec, např. srdce. Obrobek brousíme obvykle až k unášeci, pak ho obrátíme, přestavíme unášec a dokončíme práci. Podle délky obrobku se obvykle přesouvá jen koník. Tím se vedení lože opotřebí jedностranně, a proto by se měl přesouvat koník i vřeteník.

Samosvorný unášec je lepší než srdce se šroubem. Čelisti unášeců nedrží na kaleném povrchu, lepší je nanýťovat na ně vložku, která dosedá na povrch obrobku větší plochou. Výhodnější jsou unášece přímo u hrotu, které mají samosvorné čelisti. Upínací skličidla a kleštiny jsou ovládány často pneumaticky.



Obr. 34. Oprava hrotu
přebroušením kužele

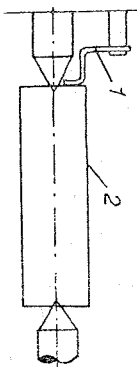
Hrot 2 opřeme o hliníkovou vložku 1 ve skličidle a přitáhneme koníkem. Tření mezi hliníkem a ocelí stačí k unášení hrotu



Obr. 35. Rozpínací trny:

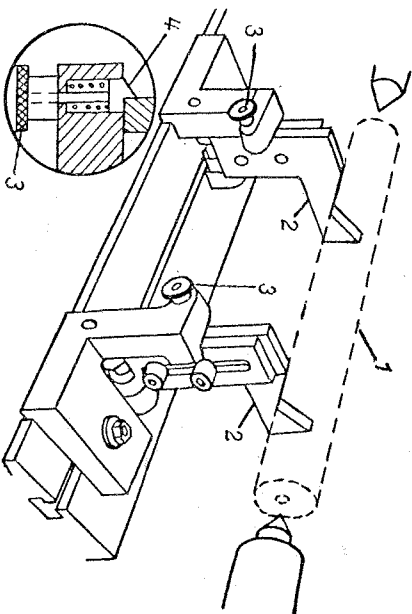
1 — kuželový trn s důlky na obou koncích a s ploškou pro unášec; 2 — rozříznuté pouzdro, které se rozpíná natážením na trny; 3 — upnutý materiál; 4, 5 — matice k řízení polohy pouzdra 2, a tím i k upnutí materiálu 3

Trny jsou buď mírně kuželovité, nebo válcovité rozpínací (obr. 35). Na jednom konci trnu bývá stále unášecí srdce, aby se práce urychlila. Pro menší přesnost stačí válcovité trny, na něž se obrobky nasrčí a stáhnou axiální maticí.



Obr. 36. Unášec 1 z páskové oceli se přichytí pájkou k čepu 2, jehož celý povrch chceme brousit najednou

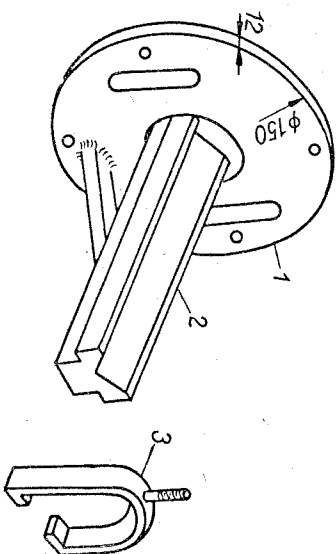
Opěrky (lunety) opírají dlouhé, tenké obrobky. Jejich seřízení je obtížné, špatně postavené čelisti lunet tlačí a křiví materiál. Nejprve nastavíme podle obrobku spodní čelist, potom vodorovnou a třetí čelist. Magnetické lunety na broušení velmi tenkých drátů ků propracoval novátor K.



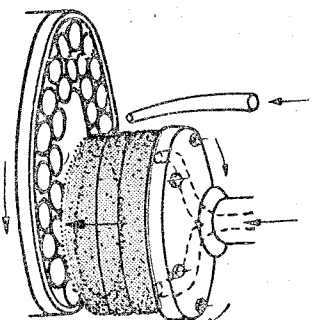
Obr. 37. Držák obrobků při upínání na brusec

Aby se usnadnilo upínání dlouhých a těžkých součástí 1 mezi hroty, upraví se na suportu stavitelné a sklopné opěrky 2. Když hroty zachytí součást, povytáhneme západky 3, a tím můžeme opěrky 2 sklopit. Náběhem na palce 4 se opěrky zajistí ve svislé poloze

Kyzlink; popis je v knize Novátorské metody ve výrobě nářadí, 1954. Sklíčidla a kleštiny upínají obrobky hlavně při broušení děr. Důležité je, aby přesně střédla. Při hromadné výrobě se osvědčují upínací přípravky, např. membránová sklíčidla svírající čelisti pružnou deskou aj.

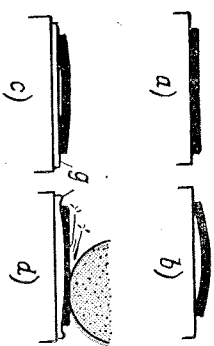


Obr. 38. Prizma k upnutí součástí, které nemůžeme upínat mezi hroty, a k výstřednému broušení. Deska 1 se upne na unášecí desku vřetena, obrobek se upne v prizmatu 2 třmenem 3



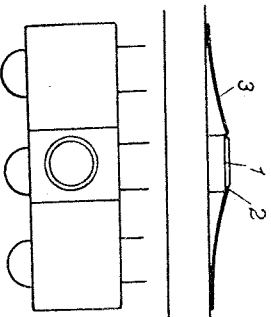
Obr. 39. Upnutí na otočném stole s magnetickou deskou

Tři návrhy na zlepšené upínání na bruskách jsou na obr. 36, 37, 38. Rovinné brusky v nářadovnách musí být vybaveny zvláštním příslušenstvím, aby se jich mohlo plně využít (k broušení tvarů aj). Sadu pomůcek potřebujeme vždy pro celou skupinu strojů, pro kolektiv brusců. Patří k nim páry kostek (podložek) s výstupky k podkládání součástí, magnetické ocelové podložky prokládané mosaznými lamelami, upínací úhelníky,



Obr. 40. Postup při rovininém broušení tenkých pružných součástí

Pružný křivý polotovar se upnutím na desku a) sice narovná, ale po sejmutí s desky se opět pokrčí podle b). Tuto závadu odstraníme tím, že pod polotovar vložíme měkkou pryž tlustou asi 0,5 mm podle c). Upnutá součást se zatlačí křivým povrchem do pryže podle d) a může se broušením srovnat. Je-li pokrčivění větší, brousíme několika průchody a obrátíme obrobek



Obr. 41. Upnutí hliníku na magnetickou desku

Na obrobcech 1 srazíme roh 2 a za vzniklou hranu je upínáme planžetou 3 s prořazenou dírou. Planžeta je tlustá asi 0,25 mm. Magnetická deska ji pevně přitáhne

svěrky k upnutí součástí na úhelníky, přiložený úhelník ke kolmému ustavení součástí, který se zvětšenou patkou upíná na magnetické desce, prismatické upínací kostky k upnutí válcových součástí, hrokový upínací přístroj, rozpnací (stavitelné paralelní) podložky seřizitelné na výšku, elektromagnetická upínací deska (Drukoy, TOS aj.) a sinusové pravítko (ČSN 25 3710). Magnetické desky jsou se stálým magnetem nebo s elektromagnetem (stejnoseměrný proud 110 nebo 220 V). Magnetický upínací držák silou asi 10 kg na každý čtvereční centimetr. Obvykle má deska pro větší obrobky i větší póly, deska pro malé obrobky má malé, husté póly; větší kusy na ní nedrží, protože při malé vzdálenosti pólu neproniknou magnetické silové čáry hlouběji do materiálu.

Na kruhové desce ustavíme menší součásti mezi větší a vnitřní kroužky (obr. 39), které jsou o něco nižší než součásti, aby se mohlo plynule brousit. Úzké, tenké obrobky rovnáme raději přes největší možný počet pólu oddělených mosaznými prstenci, aby dobře držely.

Tenká, nerovná součást se může přitážením na desce zkrivit. Proto ji při broušení obrátíme na obě strany nebo brousíme na pryžové podložce podle obr. 40. Prstence (mezikruží) se může přitážením na desce bortit. Osvědčilo se obrousit obě strany, hrubě je přelapovat, aby byl povrch rovný a pak teprve brousit na čisto.

Desku občas přesně brousíme měkkým, dobře ořovaným kotoučem zrnitosti asi 46 (brousí-li se obvodem) nebo 24 až 30 (brousí-li se čelem). Vybrousíme i nepatrná poškození a poškrábání.

Na desce lze přímo upínat jen ocel nebo litinu. Mosaz, bronz a některé nerez se musí přidržet ocelovými kostkami nebo pravítky. Také ocel opíráme (blokuje) těmito příložkami, aby byla zajištěna v případě přerušení proudu. K upnutí nemagnetických materiálů (např. hliníku) máme již elektrostatické upínací desky, které upínají bez magnetických polí (vyrábějí se v USA, viz Metalworking Production, 10. 4. 1959, zatím jsou drahé, od 6000 šv.fr.). Na obr. 41 je zlepšovací návrh, jak upínat nemagnetický materiál na magnetické desce.

Měření při broušení

Základní kontrolní pomůcky brusiče jsou: přesná přiměřená tužšírovací deska ČSN 25 5311.1; přesný kontrolní válec průměru 40 mm, vysoký 80 mm ke kontrole kolmosti průsvitem nebo obtiskem; měřicí stojánek s číselníkovým úchylkoměrem (páčkový); sada základních měrek; nožové pravítko ČSN 25 3741 pro kontrolu rovinosti ploch průsvitem; plochy kalený úhelník ČSN 25 5121.1 aj.

Zásady přesného měření nemůžeme v této malé práci probírat. Běžná dílenská měřidla často k měření na bruskách nestačí, na tisícin milimětrů měříme minimetry, srovnávacími měřidly s číselníkovým úchylkoměrem a nejnověji sledovacími měřidly, která řídí práci brusky v závislosti na měřeném průměru. Taková měřidla jsou s mechanickým indikátorem s elektrickými kontakty, s elektronickým nebo pneumatickým zesílením, na broušení přerušovaných ploch v hrotech, pro roviné brusky (u nás je vyvořil VÚOSO v Praze; viz Strojírenskou výrobu, č. 4/1957, článek F. Maríáka „Sledovací měřidlo [m] 18“; přehlednou zprávu „Automatické měření a řízení podmínek při broušení“ vydal

UTEIN, Praha 1955). Údaje měření může hodnotit počítač, který seřizuje stroj (jde o tzv. statické ovládání brusky, které přihlíží i k úbytku kotouče a teplelné roztažnosti — [dilataci]).

O přesnosti automatické aktivní kontroly při broušení píše J. Říčka ve Strojírenské výrobě č. 2, 1959. Vliv deformací obrobu a stroje může být méně úplně vyloučit tím, že měříme na vhodném místě. Vliv chvění se zmenší úpravou hmot a pružin měřících zařízení. Vliv kolísání teploty obrobu se zmenší účelným a vydatným chlazením. Úbytek měřících doteků je poměrně malý, sledujeme jej periodickou kontrolou měřidla během směny.

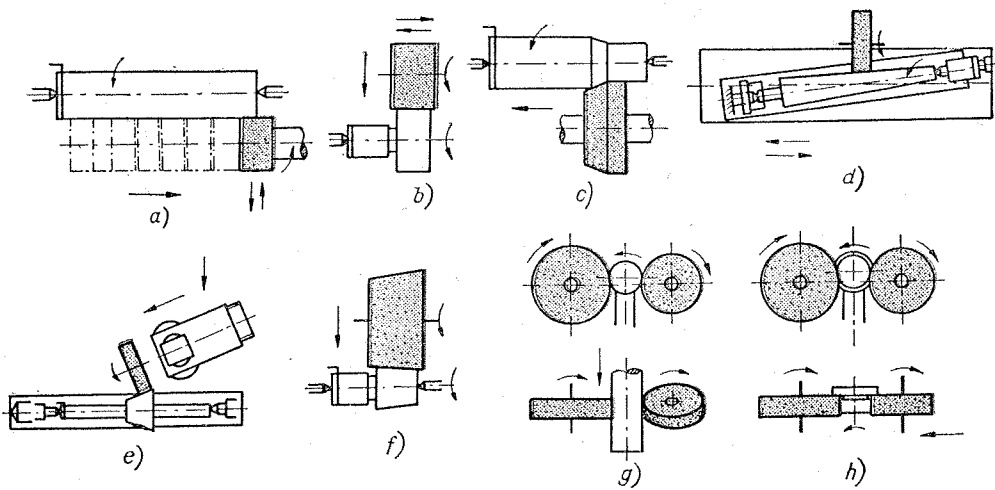
Broušení vnějších rotačních ploch

(obr. 42)

Normální broušení vnějších rotačních ploch s podélným posuvem vyžaduje kvalitativního brusíče, protože nemůžeme vždy seřizovat vypínací samočinné dorazy a brousíme nakalibr. Postup při broušení: Navrtají se středy, upne se unášec, orovná se brusný kotouč, zabere se tenká tříška po celé délce, změní se průměr, upraví se dorazy a stupnice děličko kroužku přísluvu a brousí se povrch. Kalené obroby se často před broušením rovnají za tepla. Ohřívají se tak, aby na nich kapka vody syčela. Rovnání za studena nebo odbroušení malých nerovností neodstraní vnitřní napětí, obrobek se znovu zkriví např. po odbroušení určité vrstvy, po malém ohřevu aj.

Příklady broušení. 1. Litinová trubka průměru $d = 102$ mm, dlouhá 480 mm, kotouč 36 L průměru $D = 610$ mm, $B = 190$ mm; posuv obrobu $v_m = 11$ m/min, přísluv $a = 0,19$ mm, podélný posuv $s = 20$ mm/ot. Jeden kus se obrousil za necelé tři minuty.

2. Hřídel šichro stroje s klikou uprostřed, dlouhý 355 mm, má na koncích broušené čepy do ložisek průměru $d = 12,2 \pm 0,005$ mm, dlouhé po 75 mm. Brousí se mezi hroty, opevn lunetou, na brusce oscilující hlavou. Kotouč 24 K průměru $D = 360$ mm, $B = 75$ mm, řezná rychlost $v = 26$ m/s, přidavek na broušení 0,015 mm, posuv obrobu 4,5 m/min (měl asi 120 ot/min).



Obr. 42. Broušení vnějších rotačních ploch:

a — normální (průchozí) broušení s podélným posuvem; b — zapichovací broušení; c — hlubkové broušení s podélným posuvem; d, e, f — broušení kuželů; g, h — bezhruté broušení průchozí a zapichovací

Začátek práce v kusové výrobě. Posuneme vřeteník a koník tak, aby střed obrobku stál přibližně uprostřed stolu. Orovňáme kotouč a zabereme jemnou třísku. Změříme obrobek, abychom poznali, jaký je přírůstek na broušení a nebrousili se kužel. Stupnicemi nařídíme posuvy a brousíme.

Zvuk má být stále stejný, to je znakem rovnoměrné práce. Příliš tvrdý kotouč dává při práci vysoký tón, příliš měkký kotouč vydává tón řinčivý, přerušovaný. Zvláště nebezpečný je klokaný zvuk, který je znamením, že v kotouči je trhlina. Práci je třeba ihned přerušit. Také při větší změně zvuku ihned stroj zastavíme, neboť to je znamení vážné poruchy kotouče. Když přiblížíme kotouč asi na 0,08 mm k povrchu součásti, začne sčítet. Podle toho řídí brusíči polohu kotouče, nevidí-li na jiskření.

Péče o hroty. Hroty brusky a délky obrobku musí být vždy dokonale čisté. Poškozený hrot hned opravíme.

Podélný posuv. Na koncích zdvihu má kotouč přejíždět přes obrobek asi třetinou své šířky. Na začátku směny (nebo stáli-li stroj delší čas) odvzdušníme hydrauliku, aby nebyly posuvy trhavé (pružnosti oleje).

Mazání stroje. Mazání lze může mít vliv na přesnost práce. Lehký olej vytvoří tenčí film než hustý olej. Zejména u větších brusů, kde se tlakem kotouče může stůl posouvat, mažeme hustým olejem.

Jak brousit nekruhový povrch? Podle jiskření poznáme, že je povrch obrobku nekruhový nebo že hází. Změníme přísuv a brousíme napřed jen vystupující částí. Teprve když kotouč jiskří po celém obvodu obrobku zvětšíme přísuv, aby se obrousil celý přírůstek. Tím se ovšem prodlužuje strojní čas a klesá produktivita práce.

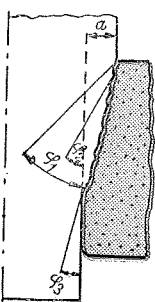
Ukazuje-li se často výstřednost (excentricita) více na koncích, je chyba v tom, že se pohybují hroty. Také může být v hrotech nečistota. Chybu musíme hledat prostě v hrotech.

Ukazuje-li se větší výstřednost uprostřed délky, je to způsobeno změnou teploty. Obrobek se teplem roztahuje, proto musí hrot koniku pružit. Nerovnoměrným ohříváním se křiví. Nejdelší (nejteplejší) část povrchu se přiblíží ke kotouči, tam kotouč více řezá, ohřívá tedy povrch ještě více. Tím se zveštuje nesejné roztahování teplem. Když se kotouč

vrací zpět, brousí opět výstředně, ale na druhé straně průměru. Ke konci délky se už teplota obrobku ustálila, takže když jde kotouč zpět, nemůže brát skoro nic tam, kde předtím brousil víc. Proto bere na druhé straně průměru. Tím vysvětlíme, že někdy brousí kotouč postupně na obou stranách. Tomu se odpomůže lepším chlazením, a když ani to nestačí, volíme měkký kotouč.

U velkých průměrů trvá dobroušování poměrně dlouho. K měření jsou tu zvláště výhodné obkročáky s ručičkovým úchytkomětem. Jsou upnuty na sklápěném ramenu na krytu kotouče a nasadí se při dobroušování na průměr.

Hlubkové broušení s podélným posuvem. Kotouč ubírá na jednu celý přírůstek. Jeho přísuv se tedy nemění, nejvýše se vyrovnává opotřebením kotouče. Hrana kotouče hodně trpí, často se sráží v kužel dlouhý 6 až 12 mm, a tím se zmenší průměr kotouče u okraje asi o 0,8 mm. Hlubka řezu bývá 0,1 až 0,4 mm na jeden zdvih, zato podélný posuv je malý, asi 1 až 6 mm na 1 ot materiálu (obr. 43). Brousíme tak hlavně krátké tuhé součásti, hlavně z litiny a bronzu. Někdy se povrch dodatečně ochladí několika průchody kotouče s ručním posuvem.



Obr. 43. Podstata hlubkového broušení

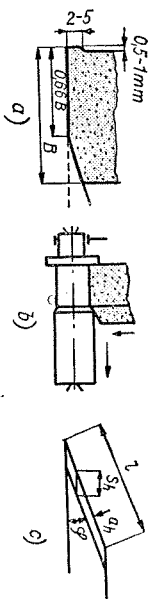
Podélný posuv $\approx a$, někdy je i menší než hloubka řezu a . Na kotouči se úhel φ zmenšuje z φ_1 na φ_2 atd.

Hlubkovým broušením se často značně zvýší produktivita práce. Proto je třeba jeho použití v praxi propagovat (obr. 44).

Válcová část kotouče se stále zužuje a zužuje se až asi na 5 mm. Potom musíme kotouč znovu orovnat, aby dával čistý povrch. Povrch broušený kuželovým náběhem kotouče je temnější barvy než část povrchu obroušená válcovým povrchem kotouče.

Měření při hlubkovém broušení ukázala (viz Diačenko, Issledovanie processa šlifovaniia, 1941), že spotřeba strojního času se proti normálnímu broušení zmenší asi na 30 až 75 % při strojním podélném posuvu a na méně než 30 % při ručním posuvu. Ruční posuv dává větší

produktivitu práce, ale vyžaduje kvalifikované brusíče, aby nevedl k rychlému opotřebení kotouče a ke zhoršení broušeného povrchu. Dosahuje se podélných posuvů až 20 i 30 mm na 1 ot obrobku.

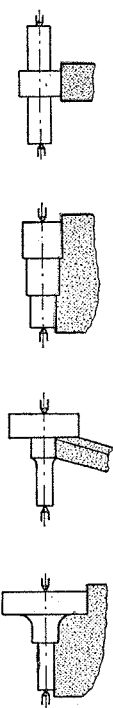


Obr. 44. Postup hloubkového broušení

Abyste se obrousili i přechod u nákrutku, brouste se kotoučem upraveným podle a) od konku k vřetenku podle b). Měli byste obrousit vrstvu t mm a je-li hloubka řezu a mm, potřebujeme při normálním broušení $i = t/a$ záběrů. Při hloubkovém broušení volíme podélný posuv i -krát menší ($s_a = s/i$). Řežeme tím při jedné otáčce obrobku vrstvu $a_a = s_a \cdot \sin \varphi = (s/i) \cdot \sin \varphi$, podle c) s je podélný posuv při normálním broušení. Aby se ubíraly v obou případech stejně tloušťky, je $a_a = a = t/i = (s/i) \cdot \sin \varphi$ čili $\sin \varphi = t/s$. Např. $t = 0,3$ mm, $s = 10$ mm na 1 ot. obrobku, $\sin \varphi = 0,3/10 = 0,03$, $\varphi = 2^\circ$. Délka $l = t/\sin \varphi = ts/t = s$. Nemění se tedy vrstva obroušená na 1 ot obrobku, ale obrousí se celý přídavek t najednou při stejném strojním čase jako při normálním broušení. Ušetříli jsme závlahy naprázdno a čas na přísuv

Zapichování (broušení přísuvem). Broustí se celá délka obrobku najednou širokým rovným nebo tvarovým kotoučem, nebo několik povrchů soupravou kotoučů (obr. 45), tedy s největší vůbec možnou produktivitou.

Proto se zapichovací brusky používá hlavně v hromadné výrobě, v automobilkách apod. Kotouč je poněkud širší než obrobek. Broustí-li



Obr. 45. Čtyři příklady zapichovacího broušení. Může se broust i soupravou několika kotoučů, obtaženou podle šablony po složení

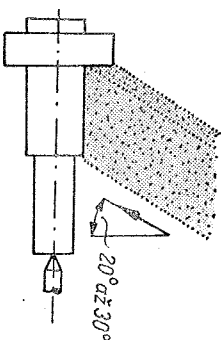
se válcový (rovný) povrch, koná kotouč nebo stůl s obrobkem mají podélný kmitavý pohyb. Tím se má získat lepší povrch a kotouč zůstane rovný. Broustí-li se tvarovým kotoučem, je kmitání vypnuto. Přesnost práce záleží hlavně na přesnosti orovnávacího kotouče. Je-li správně upraven orovnávací diamant, je práce stejně přesná jako při jiném broušení.

U malých a krátkých obrobků je zapichovací přísuv ruční (i když je na stroji hydraulika) na jeden záběr (sledujeme jiskření). Kuželovitost se vyrovná natočením pracovního stolu při prvním kuse, kdy také nařídíme nárazku na průměr. U dobrého stroje měříme při zapichování na doraz asi každý třetí kus kalibrem. U větších obrobků zapichujeme hydraulickým přísuvem. Přisamochůnným přísuvu (0,002 až 0,04 mm na 1 ot obrobku) připravuje si brusíči další obrobek.

Postupným zapichováním brousíme obrobek delší, než je šířka kotouče. Také se tím velmi značně zkrácí strojní čas. Zapichnutím obrousíme na hrubo kus o něco menší, než je šířka kotouče. Potom vysuneme kotouč ze záběru, posuneme obrobek opět o něco menší délku, než je šířka kotouče a znovu zapichneme. Nerovná místa na přechodech zápichů pak konečně ohladíme podélným broušením, pro něž jsme ponechali přídavek asi 0,02 mm. Stačí k tomu 2 až 3 záběry (třísky) s velkým podélným posuvem.

Zapichovací broušení je nejvýkonnější broušení vůbec. Stroj musí být tuhý, nesmí vznikat velké napětí brusného vřetena, aby se příliš neprodloužilo dojskřování.

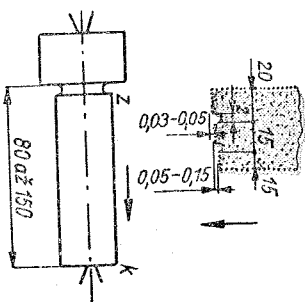
Pro zapichování na hrubo vyhověly keramické kotouče zrnitosti 30 až 46, pro broušení na čisto zrnitosti 50 až 80 (výjimečně až 240), tvrdosti I až M. Kotouče zrnitosti 30 až 60 pro běžné práce mají pórovitost 5 až 8, větší u jemnějšího zrna. Velmi důležité je správné orovnávací a vyvážení kotouče.



Obr. 46. Zapichování kotoučem s šílkou osou

Zvlášť výhodné je zapichování šikmo postaveným kotoučem (obr. 46). Brousi se najednou čelo nákrutku i válcová část.

Broušení osazeným kotoučem. Další povrchy, zejména u obrobků menších průměrů a z měkkých materiálů, brousíme úspěšně osazeným kotoučem. V kotouči vytvoříme ostrým rohem orovnávacího kamínku



Obr. 47. Osazený kotouč (z začátku broušení, k konce broušení)

posuvem odbrousíme místa ponechaná zápichy. Pak teprve spustíme strojní posuv. U velmi přesných průměrů brousíme s přísádkem 0,01 až 0,02 mm a dalším posuvem povrch dokončíme.

Pro měkkou ocel výhoduje kotouč 60 až 60 M, pro kalenou kotouč 40 až 60 K.

Vnější bezhroté broušení. Obrobek se otáčí na vodící liště mezi brusným a podávacím kotoučem, který bývá příčně pohyblivý. Podávací kotouč je skloněn o 1 až 6°, aby se obrobek posouval. Ubrtřá se 0,04 až 0,4 mm na průměr. Podle pohybu obrobku je bezhrotá bruska průchozí nebo zapichovací (obr. 42-g, h) anebo s brusným pásem. Výborně se osvědčuje v hromadné výrobě, má velký výkon a dává přesné obrobky; může se také snadno upravit pro samočinnou práci. Brusný kotouč má řeznou rychlost 15 až 40 m/s, podávací kotouč (stejně široký) má hrubší zrna a obvodovou rychlost 8 až 80 m/min s dokonalou regulací počtu

zápichy asi 2 mm široké a přiměřené hluboké a plochy mezi nimi orovnáme diamantem ve stupních, viz obr. 47. Zápichy zlepši práci kotouče, na přechodech mezi osazením nevzniká šikmá hrana, která se brzy otupí a poškozuje pak broušenou plochu. Řezná kapalina nesmí být příliš mastná.

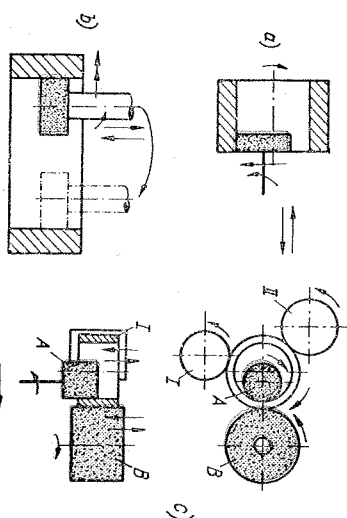
Najedeme-li kotoučem na příslušný rozměr, obrousíme povrch strojním posuvem na jeden záběr. Je-li na obrobku nákrutěk, zajedeme kotoučem zapichovacím způsobem u nákrutku až na správný rozměr, orovnáme stěnu nákrutku a ručním

otáček (např. plynulou od 0 do 380 ot/min). Práci na bezhrotých bruskách v této brožůře neprobíráme, věnujeme jí zvláštní svazek knižnice. Podrobnosti obsahuje kniha V. I. Slonimského „Teorie a praxe bezhrotého broušení“, SNTL, 296 str.

Broušení vnitřních rotačních ploch (děr)

(obr. 48)

Vnitřní broušení s podélným posuvem. Brusný kotouč musí být menší než broušená díra. Obrobek se otáčí obvykle proti směru otáčení kotouče. Kotouč má podélný posuv i přísuv do hloubky. Aby měl kotouč



Obr. 48. Broušení vnitřních rotačních ploch:

a — vnitřní broušení s podélným posuvem, b — vnitřní broušení s planetovým pohybem kotouče, c — vnitřní bezhroté broušení

dostatečnou řeznou (obvodovou) rychlost, musí mít někdy značný počet otáček. Tím vzniká chvění, které zhoršuje broušený povrch. Posuv je ruční nebo samočinný. Pro ruční posuv volíme poněkud menší řeznou rychlost kotouče. Střední řezné rychlosti v m/s pro vnitřní

broušení oceli a litiny jsou podle průměru kotouče D mm asi tyto:

D = do	8	9–12	13–18	19–22	23–30	34–41	50–95	mm
v =	10	14	18	20	23	26	30	m/s.

Pro menší kotouče volíme řeznou rychlost menší, aby neměly příliš velké počty otáček. Při rychlosti 30 m/s by např. měl kotouč v průměru 10 mm $n = 30 \cdot 60 \cdot 1000 / (3 \cdot 14 \cdot 10) = 57\,330$ ot/min. Byla sice již vyrobena broušící vřetena pro 100 000 ot/min, avšak tak velký rychlostem se pro různé překládky raději vyhýbáme.

Na hrubo volíme přísuv $a = 0,002$ až $0,02$ mm, podélný posuv $s = (0,4 \text{ až } 0,75) \times \text{šířka kotouče}$, posuv (obvovou rychlost) obrobku $v_m = 20$ až 150 m/min. Na čisto $a = 0,0015$ až $0,01$ mm, $s = (0,25 \text{ až } 0,4) \times \text{šířka kotouče}$, $v_m = 20$ až 150 m/min. Větší rychlosti a jemnější přísuvy volíme u polautomatů.

Při broušení děr uhne kotouč tlakem na broušenou stěnu poněkud z osy otáčení. Říkáme, že záběr je přetažen. Velikost přetažení závisí na citu brusice a je základem zručnosti při broušení děr. Ve vhodné chvíli, kterou odhadne podle jiskření, vysune brusici rychle kotouč z díry, protože vlivem přetažení by brousil dál. Tento způsob broušení je sice velmi výhodný a rychlý, ale vyžaduje kvalifikovaného brousíče. Brousíme-li obvyklým způsobem, tj. dobrousíme-li na výběh bez přetažení, je sice práce podstatně snadnější, ale zato strojní čas je až o 20 % delší. Dobrousíme prostě tak dlouho, až se kotouč vrátí do osy otáčení a až přetažení zmizí. Přetažený kotouč brousí naproti tomu stále plným záběrem a správný rozměr dostaneme tím, že vyjedeme ze záběru ve vhodný okamžik, který odhadneme podle jiskření. Ztrátu času při dobroušování (doložkování) bez přetažení vyrovnáváme dobře tím, že brusici obsluhuje dva stroje.

Některé brusicí volí pro kotouče k vnitřnímu broušení hned od počátku tenčí brousicí vřetynko, aby mohli spotřebovat větší část kotouče. To je nesprávné, neboť tenké vřetynko brousí špatně. Výhodnější je tlustší vřetynko; teprve opotřebovaný kotouč lze přehodit na tenčí vřetynko.

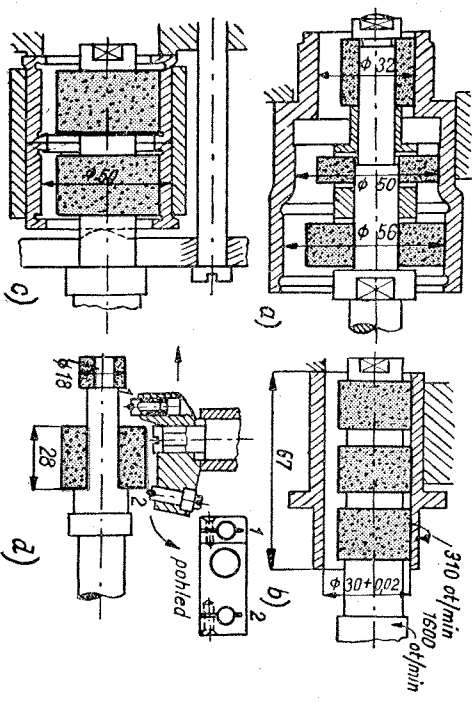
Kotouče se při broušení vnitřních ploch opotřebí rychleji, než při broušení ploch vnějších, protože jsou malé (mají menší počet zrn na

obvodu). Tím je ohrožena přesnost práce a broušení se zdraží. Kotouč musíme často orovnávat před každým záběrem na čisto. Proto díry brousíme nejprve na hrubo a pak na čisto.

Pro broušení děr průměru 100, 25, 10 mm volíme kotouče průměru asi 75, 22, 7,5 mm. Bylo by nesprávné brousit např. díry průměru 100 mm kotoučem průměru 25 mm. Výkon by se tím zbytečně zmenšil. Záleží na tuhosti vřetena; proto je stejně nesprávné brousit otvor 300 mm kotoučem 200 mm upnutým na vřeteno určeném pro kotouč 100 mm.

Díry, jejichž délka je větší než 7 průměrů, brousí se už obtížně. Vřeteno musí být co nejtlustší. Volíme co největší průměr kotouče, asi $3/4$ a $4/5$ průměru díry.

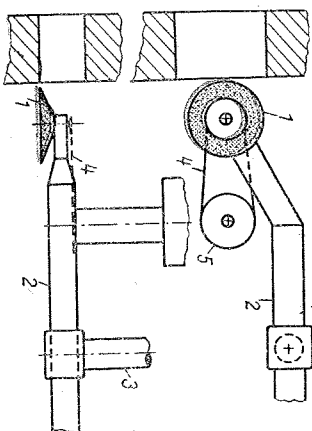
Jednoduché obrobky, které se mohou otáčet, brousíme při vodotěsné ose díry. Na větší obrobky vyhovují svislé brusky, většinou



Obř. 49. Produktivnější broušení děr

Na společné ose je několik kotoučů různých průměrů a) nebo stejných průměrů b). Může se brousit i několik součástí najednou c). Kotouče se orovnávaly najednou podle d) diamanty v držáku, nastavenými na přesný rozměr podle šablony

s planetovým pohybem kotouče. S rozvojem automobilismu, výroby valivých ložisek a jiných podobných výrobků vzrostl v průmyslu i význam vnitřního broušení, které se dříve nahrazovalo jinými způsoby práce. Brousilý se sice již díry kotoučky průměru 2 mm i menšími, což je však nevhodné, protože kotouček (vlastně brousíci rouбіk) se rychle ničí.

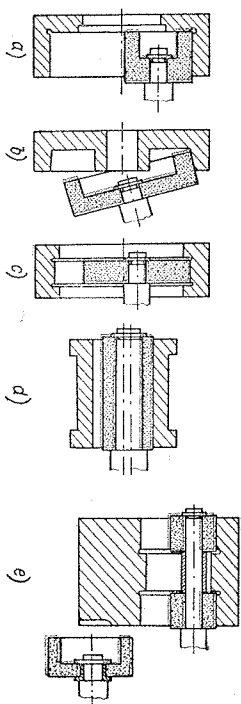


Obr. 50. Broušení hranařých děr
Kotouč 1 je na drážku 2, upnutém na nástrojové brusce objímkou 3. Poháněno klínový řemen 4 od větrána 5 brusky. Zajiđe díry a brousí čelem i hranou.

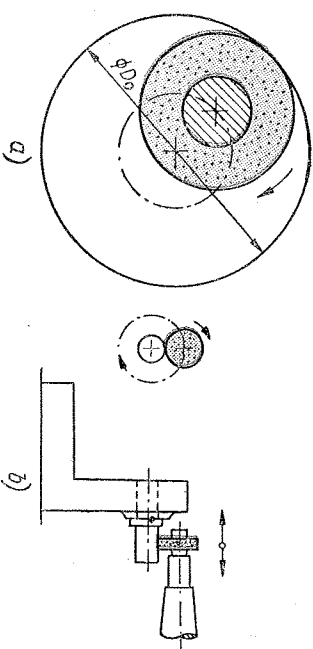
Proto raději brousíme takové malé díry ocelovými trny s diamantovým práškem. Trn má velký počet otáček.

Protože broušení děr je obtížné a drahé, vyhýbáme se mu pokud možno změnou technologického postupu. Díry v nekalené oceli pokud možno nebrousíme nýbrž protahujeme, protlačujeme trny, kuličkami aj. Brousíme hlavně díry kalených pouzder, se dnem aj. U tenkostěnného pouzdra brousíme nejprve díru, někdy však je výhodnější obrusit napřed vnější povrch (např. na bezhraté brusce). Vždy určíme nejnosopdárnější postup pohybů, které k práci potřebujeme, abychom pak mohli pracovat nejen rychle a výkonně, ale i bez větší námahy. Zvlášť důležitě je to u součástí s krátkým strojním časem. Těto studii pohybů a postupů musí věnovat pozornost i staří zkušební brousíči, kteří nepracují často právě neproduktivěji, protože si už dlouhou praxí zvykli na určitý, třeba méně správný postup.

Brusku BDA 40 popisuje podrobně B. Hendrych v článku „Nový typ stroje na broušení otvorů“ ve Strojírenské výrobě, č. 7/1955. Dva návrhy na zlepšené broušení děr jsou na obr. 49, 50.



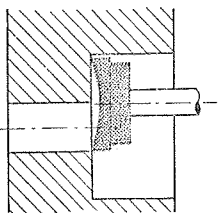
Obr. 51. Vnitřní zapichování
V případech a), b) stůl stojí, v případech c), d) může mít malý podélný kmitavý pohyb. Podle případu e) se brouší nájednou obvodem i čelem kotouče. Na větších strojích brousíme čelo druhým vřetenem podle případu e). V pouzdru (a) se brouší otvor průměru $19 \pm 0,005$ mm, dlouhý 11 mm. Přídavek na broušení je 0,2 mm, výkon brusky je 250 ks/h



Obr. 52. Vnitřní a vnější planetární broušení

zapichování je to velmi produktivní práce. Několik ukázek prací je na obr. 51.

Vnitřní planetové broušení (obr. 51) se dobře hodí hlavně pro díry větší v těžkých kusech. Vřeteno s kotoučem se točí a obíhá po kružnici, podél ní posuv koná stůl s obrobkem nebo kotouč, přísuv koná kotouč. Výjimečně se tak brousí i vnější povrch (vychlňovací čepy).



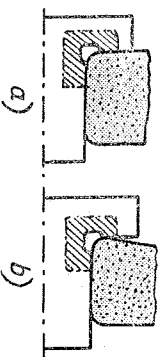
Obr. 53. Broušení dna díry

Vnitřní bezhraté broušení (obr. 48c). Proti malému brusnému kotouči stojí větší podávací kotouč, který brzdi rychlost obrobku, který je ještě opřen např. dvěma kladkami. Vybrousí se tak díra dokonale souosá s povrchem, který se musí napřed přesně obrousit.

Broušenou díru vyleštíme např. dřevěným kotoučkem, na který nanese se jemnou lapovací pastu. Rozměr díry se tím prakticky nemění. Při broušení dna děr musí být kotouč tak malý, aby nepřesáhl celý průměr díry ve dně (obr. 53). Kotouč je na čele mírně vyduť a do hloubky brousí na doraz.

Poznámky k broušení rotačních ploch

Čelo přesně kolmé k ose se brousí zápichem na jednu s válcovou částí (obr. 54-A). Doporučuje se orovnat čelo kotouče trochu šikmo (obr. 54-B). Kotouč brousí jen hranou, jeho osa musí být přesně rovnoběžná s osou obrobku.



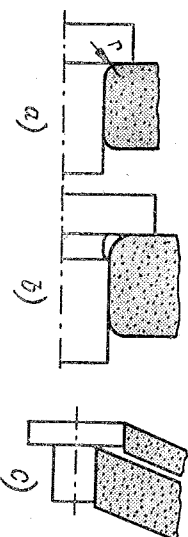
Obr. 54. Broušení čel

Přechody na větší průměry brousíme buď se zaoblením (obr. 55-A), nebo se zápichem (obr. 55-B). Otupením se okraj kotouče zaoblí; ostrý přechod vybrousíme jen obtížně, např. zapichovacím talířovitým kotoučem (obr. 55-C).

Je-li na hřídeli několik přechodů, mají se zaoblit stejným poloměrem, aby se mohly brousit jedním kotoučem (obr. 56).

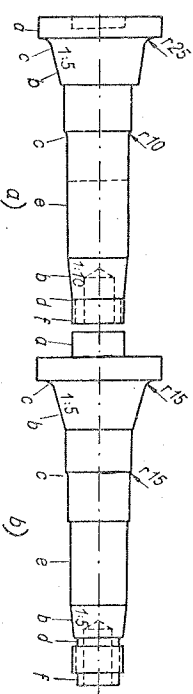
Podobně mají být i kuželové přechody pokud možno stejné.

Ostrý vnitřní roh nebo ostrý úhel vybrousíme zpravidla malým talířovitým kotoučkem. Jeho průměr se však velmi rychle opotřebí, a tím se zmenšuje řezná rychlost. Vhodnější jsou kuželovité hřečky. Při volbě tvaru kotouče musíme hledět hlavně také na využití jeho materiálu. Má-li být na součásti ostrý zářez, nemají být obvod kotouče,



Obr. 55. Zaoblený přechod a zápich v rohu

Při malém r orovnáme kotouč a zapichujeme od čela podle *a*) až na potřebný průměr. Potom dokončíme válcový povrch. Podle *c*) brousí ostrý roh dva šikmé kotouče. Je mezi nimi malá mezera, aby se menší kotouč mohl orovnávat



Obr. 56. Změna tvaru pro broušení:

a) nesprávně: *a* — nevhodný unášecí čep; *b* — kuželky nejsou stejné; *c* — zaoblení nejsou stejné; *d* — chybi zápich pro výběh závitu; *e* — zbývečně se brousí celá délka; *f* — konec se nemůže vystředit na závit;
b) správně: *a* — čep pro unášecí; *b* — stejné kuželky; *c* — stejná zaoblení; *d* — výběh závitu; *e* — osazený průměr se nebrousí; *f* — středící konec

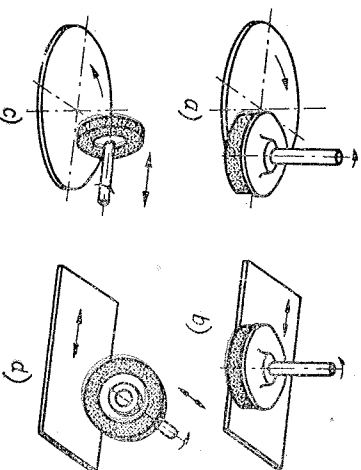
resp. stěna talířku širší, než broušená plocha, protože po opotřebení by brusil stejně musel orovňávat celou šířku kotouče.

Drážky v povrchu obrobku musíme před broušením vyplnit klínky z kovu nebo ucpat tvrdým dřevem. Tím zabráníme poškození hran a také změně tvaru součástí. Je-li drážka bez vložky, poruší kotouč okraje drážky a obrobek pak není přesně válcovitý.

Broušení rovinné (na plocho)

obr. 57

Rovinné broušení odlišků a výčkovků nahrazuje jiné způsoby obrábění, hlavně tehdy, jde-li o menší povrchy a menší přídavky (velké



Obr. 57. Rovinné broušení:

a — čelem kotouče, stůl je otočen s regulací počtu otáček; b — čelem kotouče, stůl má podélný posuv; c — obvodem kotouče, stůl je otočen s regulací počtu otáček; d — obvodem kotouče, stůl má podélný posuv

přídavky hobluje). Zvláště výhodný je otočný stůl (plynulá obsluha). Brousí-li se blíže středu, buď se zvětší počet otáček stolu, nebo se nakloní vedení stolu (anebo kotouče), aby se povrch u středu nevybrousil dutě.

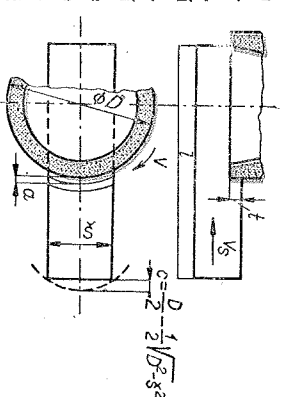
Rovinné broušení čelem kotouče.

Může se ubírat najednou i velký přídavek t (obr. 58). Pro přerušované povrchy se hodí lépe miskovité kotouče, pro nepřerušované povrchy vyhovují brusné hlavy se segmenty (lépe se chladí, lépe odcházejí krátké třísky). Osa kotouče bývá nepatrně nakloněna, aby kotouč nešel celým obvodem.

Rovinné broušení obvodem kotouče (obr. 59, 60).

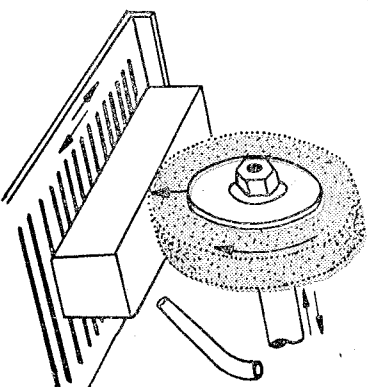
Stůl s obrobkem se může také otáčet. Obvod nemůže ubírat na jedinou tolik materiálu jako čelo kotouče, protože práce jen malou ploškou. Zato však dosahujeme obvodem větší přesnosti. Do hloubky se přisouvá buď stůl s obrobkem, nebo kotouč.

Svislé plochy spojené s vodorovnými brousíme u malých součástí čelem kotouče. Obvodem kotouče brousíme na menších rovinných bruskách s úspěchem i různé tvary (profily) rovným (úzkým) nebo profilovým kotoučem. Broušení přesných drážek a tvarů zapichováním na rovinné brusce BPH 200/600 popisuje Z. Kára ve Strojírenské výrobě, č. 8/1956. Četné pracovní příklady uvádí



Obr. 58. Rovinné broušení čelem kotouče:

t je přídavek na broušení; a — přísuv na 1 ot. kotouče; c — přesah při dokončování. Rychlost podávání stolu $v_s = v_m = 2$ až 3 m/min při broušení „na čisto“, kdy $t = 0,005$ až 0,01 m (u otočných stolů však bývá v_s až 40 m/min.)

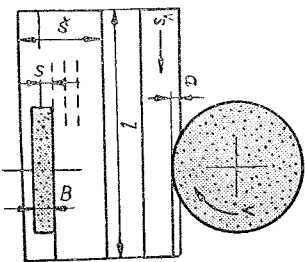


Obr. 59. Rovinné broušení obvodem kotouče

J. Horn ve Štrojírenské výrobě, č. 8/1954. („Nové metody práce při broušení“) a v brožurě Zkušnosti brusíče úderníka, Práce 1952. Příklad mechanizace rovinné brusky ukazuje obr. 61.

Jemné broušení (zvláště hladkých povrchů, např. u měřidel).

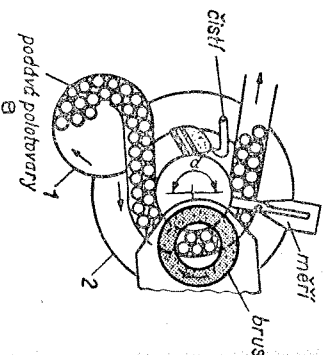
Běžně se jemné povrchy brousí jemnějšími kotouči menší řeznou rychlostí (10 až 18 m/s). Avšak lepší jsou velmi pružné kotouče s gumovým pojivem, zrnitosti 45 až 80 i větší (např. 400 pro kroužky válcových ložisek), s přísuvem asi 0,005 mm, s posuvem v_m obrotku



Obr. 60. Postup při broušení rovinné plochy desky:

v je řezná rychlost kotouče, m/s; $v_m = v_s$ je rychlost stolu, m/min; a — hloubka řezu (přísuv kotouče do hloubky), mm na jeden dvojitýh; l, δ — délka a šířka součástí; s — stranový posuv kotouče, mm na jeden dvojitýh. Na bruskách v sériové výrobě na hrubo $a = 0,015$ až $0,04$ mm, $s = (0,4$ až $0,7)$. B, $v_s = 8$ až 30 m/min; na čisto $a = 0,005$ až $0,015$ mm, $s = (0,2$ až $0,3)$. B, $v_s = 15$ až 20 m/min. Na bruskách s otočným stolem na hrubo $a = 0,005$ až $0,015$ mm, $s = (0,3$ až $0,6)$. B, $v_s = 20$ až 60 m/min; na čisto $a = 0,005$ až $0,01$ mm, $s = (0,2$ až $0,25)$. B, $v_s = 40$ až 60 m/min

2 až 10 m/min, s co největší řeznou rychlostí v (30 až 40 m/s) na dojískování. Tato práce však není hospodárná, neboť honováním a superfinišováním dosáhneme stejných výsledků levněji.



Obr. 61. Plynulé broušení na rovinné brusce

Na stole jsou kotouče 1, 2, poháněné ozubenými převody. Kotouč 1 posouvá polotovary do drážky, kotouč 2 je nesen drážkou pod čelní brusný kotouč. V úhlu α nepůsobí spodní upínací magnetická deska

Broušení válců válcovacích stolic

Válce pro práci za studena jsou už tak tvrdé (přes 85 Shore), že lze dále jen brousit. Většinu válců však nemůžeme a ani nesmíme brousit, ať již z hospodárných důvodů (protože jsou profilované) nebo proto, že musí mít určitou povrchovou drsnost, aby unášely materiál. Přesto se však čtené válce brousí (na válcování pásků, plechů, fólií aj.),

Zrno	Broušení	Řezná rychlost m/s	Posuv mm/ot	Hloubka řezu mm	Jak otov-návat	Kotouč D × B mm
24–50	hrubovat	28	velký	1,27	často lehce	600 × 50
24–50	hrubovat	20,4	střední	1,27	lehce	750 × 75
25–50	hrubovat	20,4	nejmenší	1,27	ne	900 × 75
80	na čisto	28	velký	0,625	často lehce	600 × 50
80	na čisto	20,4	střední	0,625	lehce	750 × 75
80	na čisto	20,4	nejmenší	0,625	ne	900 × 75
150–180	na čisto	25,4	velký	0,25	často lehce	600 × 50
150–180	na čisto	20,4	střední	0,25	lehce	750 × 75
150–180	na čisto	20,4	nejmenší	0,25	málo	900 × 75
150–180	na čisto	20,4	nejmenší	0,25	lehce	600 × 50
320-FF	na čisto	20,4	velký	0,02	málo	750 × 75
320-FF	a dokončit	20,4	střední	0,02	ne	900 × 75
500	velmi jemné	20,4	střední	0,025	málo	500 × 50
500	jemné	20,4	nejmenší	0,025	ne	500 × 50
nejjemnější	přehladit	15,2	střední	0,0075	málo	600 × 75
			nejmenší	0,0075	ne	750 × 75

Tvrzená litina 95–100 Sh.

20–36	hrubovat	28	největší	1,27	často lehce	750 × 50
20–36	hrubovat	28	střední	1,27	lehce	750 × 100
20–36	hrubovat	20,4	nejmenší	1,27	ne	750 × 100
60–80	na čisto	28	největší	0,50	často lehce	900 × 75
60–80	na čisto	20,4	střední	0,50	lehce	900 × 100
60–80	na čisto	20,4	nejmenší	0,50	ne	900 × 100
150–600	leštit	12	nejmenší	—	—	—

a to na speciálních bruskách. Není dosud vyjasněno, má-li být povrch válců lesklý nebo matný. Lesk neznamená ještě hladkost, může vznikat i omáčkáním povrchu v plošky, které dobře odraží světlo.

Hlavní zásada při broušení válců je, že i při posledním přestěžení se musí ubírat třísky. Proto brousíme velmi pomalu, na mnoho záběrů (přůchodů). Kalené nebo chromované válce brousíme raději korundem než karbidem křemíku, tvrzeňou litinu brousíme karbidem křemíku.

Daší tabulka uvádí příklad broušení ocelových válců kalených (nahorě) a válců z tvrzeňilítiny (dole) podle americké fy Carborundum. Každý řádek značí jednu brusíckou operaci.

Tvarové broušení

Tvarové plochy se brousí buď širším tvarovým kotoučem, nebo úzkým kotoučem, který se posouvá tak, aby na ploše vytvářel profil. Rotační obrobky brousíme na rotační plochy (i na bezhrotých), ostatní profily se nejlépe brousí na rovinných bruskách (naše BPH 20 N). Tvarové kotouče si brusí připravuje z malých, opotřebovaných a vyřazených kotoučů. Vybírá si vždy přibližně podobný tvar, aby ubíral z kotouče co nejmeně materiálu. Každou úpravou kotouče se sice ztrácí část brusiva, přesto však je celková spotřeba brusiva menší než při práci úzkým kotoučem s bodovým stykem.

Mnoho diskuzí bylo už o tom, jak se má kotouč tvarovat. Běžně se tvaruje na hrubo tyčkami z karbidu křemíku, na čisto diamantem podle šablony, brusíckou kolečkou aj. (viz Strojirenská výroba č. 11, 1954, až do č. 5, 1958).

Technologji tvarového broušení propíracoval kolektiv ZJŠ, Brno, za vedení novátora F. Hamra. Popisují ji knihy F. Hamra Tvarové broušení, 1952; též Broušení tvarů na rovinné brusce, 1959, přeložené do ruštiny, polštiny, maďarštiny, rumunštiny.

Řezání brusnými kotouči

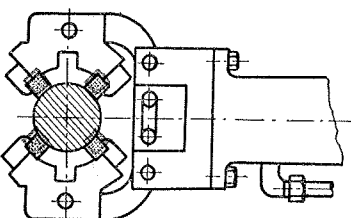
Pokud není nebezpečí, že přeřizovaný materiál ztvrdne, je řezání brusným kotoučem (rozbrusučován) velmi výhodné. Řez trvá jen několik

vteřin, řezou se libovolné materiály (kalená ocel, sklo, kabel i s izolací, trubky, profily aj.). Nejvhodnější jsou k tomu kyvadlové pily s ručním přísuvem: kruhový materiál může mít asi 10 otč/min, aby se kotouč šetřil a nemusel procházet celým průměrem materiálu. Zkušenosti s řezáním kotouči naší výroby (Karbundum v Benátkách n. Jizy) popisují J. Jiráček a V. Spálenský ve Strojirenské výrobě č. 8, 1960. U ruční brusky vyhoví kotouče průměru 125 až 230 mm, tlusté 2 až 10 mm, značky Flex, zpevněné textilní vazbou. Větší řezačka, postavená Metalurgickými závody v Týnci n. Sáz. (např. k odřezávání nářků z ocelových odlitků) řezá kotouči značky Elcarbo E-24 Q průměru do 600 mm, které však nejsou elastické a mají jen keramickou vazbu, a proto nesnášejí boční tlaky (než se budou i u nás vyrábět větší elastické kotouče). Obvodová rychlost kotoučů je 75 m/s.

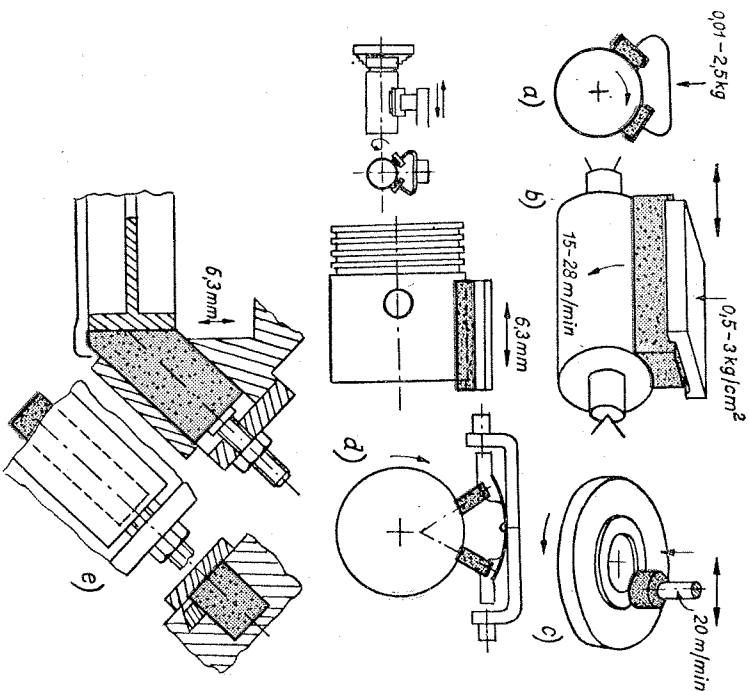
Příklady výsledků: Tyč z oceli Poldi PS se přeřizne za 13 s na ploše 15 cm². Kolejnice z oceli 10 S23 se přeřizne za 23 s na ploše 45 cm². Šamotová cihla se přeřizne na průřezu 94 cm² za 15 s. Kulatina z oceli 11 700 se přeřizne v průřezu 50,3 cm² za 18 s.

Honování

Honováním se dokončují hlavně přesné díry, a to honovací hlavou se 3 až 10 kameny s keramickou vazbou a s jemným zrnem. Ubírá se 0,05 až 0,1 mm na průměr, zjevně se povrch, nejmenší průměr díry může být asi 12 mm. Hlava se otáčí obvodovou rychlostí 54 až 75 m/min a axiálně kmitá 50 až 75 dvojitých zdvihů za minutu. Čím tvrdší je ocel, tím menší je počet otáček a tím rychlejší jsou kamny. Kameny brousí celým (velkým) povrchem, tlačí 3,5 až 14 kg/cm². Aby se nezahřály a nezanášely, musí se dobře chladit brousící emulzí s petrolejem. Díry jsou přesné, povrch se zahřeje jen asi na 55 až 170 °C, zlepši se válcovitost, zmenší se i podélná vlnitost, avšak nevyrovná se



Obr. 62. Honování válcového povrchu čepu



Obr. 63. Přehlazování (superfiniš)

Šipky značí pohyby: a, b — schéma přehlazování rotačních ploch; c — schéma přehlazování rovinné plochy; d — přehlazování hliníkového pistu (dva kameny kmitají o 6,3 mm, píst se pomalu otáčí); e — přehlazování vnější válcové plochy brzdového bubnu (kameny kmitají, buben se otáčí). Pro vnitřní povrch bubnu měly čtyři hrubovací kameny zrnitost 180, hladící kameny zrnitost 360. Pro přehlazování se používá elektrokorundových kamenů s keramickým nebo bakelitovým pojivem, pórovitých, s velmi kvalitním a stejnorodým pojivem. Protože pracují různými pohyby, musí mít jejich ostré hrany ve všech směrech, aby skutečně rovnoměrně brousila

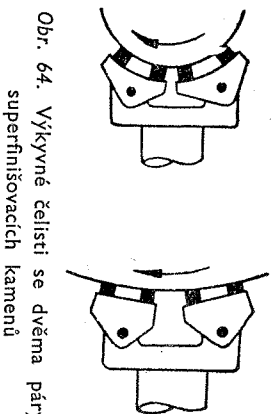
poloha osy, protože honovací hlava je upnuta výkyvně. Obrobky s krátkými dírami se honují srovnávané na sebe (ojnice). Mohou se honovat i válcové konce (obr. 62).

Superfiniš (přehlazování)

Superfinišem se dokončují povrchy ubrušováním vrcholů nerovnosti. Ubrírá se asi 1μ , takže prakticky se rozměr nemění a nemusí se měřit. Na povrch dosedají pružné tlakem jen 0,5 až 3 kg/cm^2 menší brusné kameny tvrdosti H až J, zrnitosti 180 až 600, které mají dva až dvanáct pohybů. Hlavně se skládá rotace s kmitáním (200 až 1800 kmitů za 1 min), zdvih je stálý nebo při práci měnitelný od 2 do 10 mm (obr. 63).

Ubroušením výstupků z povrchu roste styčná plocha mezi kameny a povrchem, až nakonec přestanou kameny brousit. Kameny jsou z korundu nebo z karbidu křemíku, pojivo křemičité nebo keramické. Jsou široké 10 až 15 mm a mažou se petrolejem s přísadou 10 procent oleje. Práce trvá jen 30 až 50 vteřin, protože velké množství zrn brousí a řeže najednou všemi směry. Výkon je často až dvacetkrát větší než při lapování.

Superfinišování ploch velkých průměrů (podle zkušeností Závodu V. I. Lenina v Plzni) popisuje F. Rybář ve Strojírenské výrobě č. 3, 1959. Přístroj podle dokumentace VÚOSO v Praze se upíná na suportu těžších soustruhů. Váží 320 kg, má příkon 1,8 kW, v superfinišovací hlavě jsou výkyvné čelisti se dvěma páry kamenů profilu $20 \times 20 \times 160$ mm, značky KM L5-B-0-25 (obr. 64).

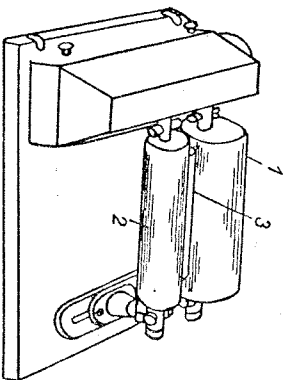


Obr. 64. Výkyvné čelisti se dvěma páry superfinišovacích kamenů

pórovité, značky Elporit, až A99 120J 13V. Honovací kameny na hrubo jsou C48 150J 10V, k leštění A99 320J 9V. K superfinišování na hrubo se osvědčují kameny karborundové nebo ze slinutého korundu (náš K 151); na čisto — kameny s mikrozmernem a s bakelitovou vazbou nebo jemné lapovací kameny s grafitem.

Lapování

Lapováním dokončujeme velmi jemně a přesné povrchy (dotyky měřidel, základní měřky aj.) kotouči s nejmenším zrnem nebo volnými zrny brusiva na lapovacím nástroji (svěrací oblince, lapovací desce, válci podle obr. 65, trnem aj.). Ubírá se tím přídavek 0,01 mm (ale i 0,2 mm) při řezné rychlosti 10 až 20 m/min tlakem 2 až 6 kg/cm². Produktivita je malá, a proto



Obr. 65. Lapování válečků, kalibrů, měřících drátků

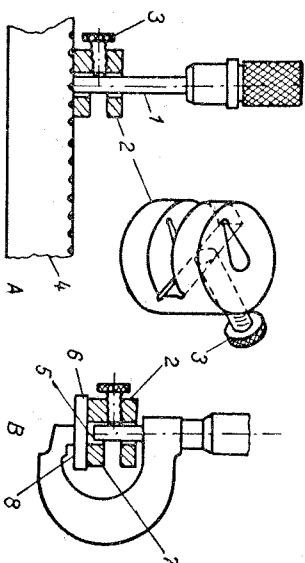
Lapovací válec 1 má průměr dvakrát větší než opěrný válec 2. Oba válce se pomalu točí stejným směrem. Obrobek 3 se točí rychlostí opěrného válce, povrch lapovacího válce 1 má větší rychlost. Na obrobek se tlačí ručně fibrovou tyčinkou se zátezem, již pojízďíme po celé délce. Tam, kde chvilí přitlačíme, obrousíme více materiálu

všude, kde jen lze, nahradíme lapování superfinišováním. Někdy zlepisovacích návrhů z lapování je na obr. 66 až 71.

Lapování proudem (brusivem v kapalině, jež je prudce vrhána stlačeným vzduchem na povrch obrobku, do dutin aj.) povrch hladí, změní jeho strukturu, zpevní jej a zbaví ostřin.

Zrno má rozměry od 110 μ do 5 μ i menší. Větší zrno řezá i větší třísku. Časem se zrna třišť, ale i kapalina se špiní a musí se vyřadit. Zrno 30 (110) μ ubere 0,11 (0,20) cm³ třísek za minutu.

Největší úběr je při proudu zrn podle obr. 72, pod 45°. Tryska je 40 až 50 mm od povrchu, tlak vzduchu má 5 až 6 atp.

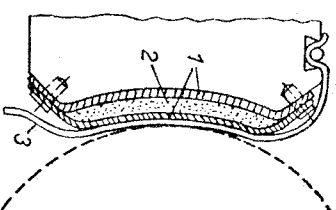


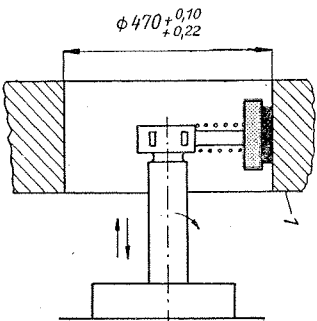
Obr. 66. Ruční lapování dotyků mikrometrů

Nejprve se lapuje čelo mikrometrického šroubu 1 podle A. Šroub se upíná do kaleného držáku 2 šroubkem 3. Lapuje se rovnými pohyby po litinové desce 4, na níž naneseme jemnou diamantovou pastu. Rovné tahy dávaly lepší povrch než kroužení. Vždy po několika tazích se lapovací pasta smyje rozpustidlem, aby se povrch nepoškrábal. Práce je obtížná, vyžaduje zručnost a trpělivost. Dosedací ploška na třmenu se lapuje podle B. Šroub upneme opět do držáku 2, aby vznikla u konce mezera 5. Lapovací destička 6 je litinová, má průměr asi 30 mm. Horní povrch 7 se lehce natře olejem, aby se zmenšilo tření, na spodní povrch 8 se nanáší lapovací diamantová pasta

Obr. 67. Lapování velkých válců

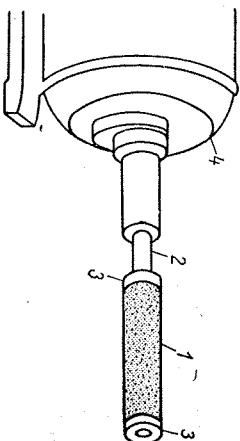
Povrch válců na hazení fotografických filmů na kovové fólie atd. se dokonale lapuje plátnem s brusivem 3, opřeným o 12 mm tlusté vrstvy pryskyřice 2 v pláštěných sáčcích 1. Pryskyřice se zvolna přetvoří podle povrchu obrobku. Brusivo na kalenou ocel mělo zrno 320, pak 400 a 500, načez se povrch leští hedvábním a leštící pastou. Tlak byl 0,2 až 0,6 kg/cm², mazáno olejem, při obvodové rychlosti 100 m/min. Nerez se lapuje diamantovým práškem s olivovým olejem rychlostí přes 3000 m/min





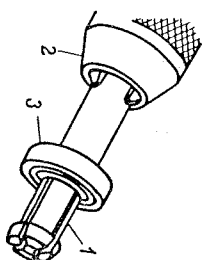
Obr. 68. Lapování velkých děr
Diry se původně hladily vyálcováním čtyřmi kladkami na ramenech tvaru kříže. Mnohem produktivnější a lepší bylo lapování pružně uloženým brusným kamenem 1, třemi až čtyřmi průchody po-
dél osy

Obr. 69. Lapování malých a nepravidelných děr
K lapování a leštění malých děr se osvědčilo smrkové plátno 1, nasazené na trnu z pryžové houby, jehož středem prochází ocelový unášedci trn 2, spojený s osou elektromotoru 4. Kloboučky 3 drží plátno. U nepravidel-



ných, různě zaoblených tvarů pracoval tento nástroj lépe než textilní roublíky

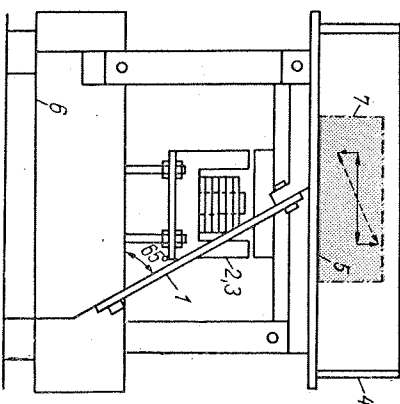
Obr. 70. Lapování hlav malých součástí



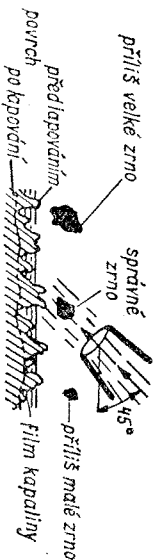
K lapování a leštění konců malých součástí pro přesnou mechaniku (šroubků aj.) se osvědčil skříp-pec 1 upnutý v hlavě stále běžící vrtáčky 2. Na skřípci je utášeno staré kuličkové ložisko 3. Leštěný předmět se vloží do skřípce a posunutím ložiska rukou se upne nebo uvolní. Osvědčily se i hlavy 2 připevněné jen k hřídeli motorčku. Práce se velmi urychlila

Při průměru trysky 5 mm je třeba 1,2 m³ nasátého vzduchu za 1 min, kompresor spotřebuje 10 ks. Přístroj spotřebuje také malé množství vody s přísadou proti rezu k unášení a splachování brusiva. Tryska vydrží až 400 h., tedy mnohem víc než při pískování (vlivem kapaliny). Brusivem je karbid křemíku, korund aj.

Obr. 71. Vibrační lapování (významný zlepšovací návrh)



Dokonale hladké plochy (výbrusy) na vzorku 7 se lapují až po 24 kusech najednou hedvábním 5 na desce vibračního stolu, na němž je leštěcí pasta zrnitosti asi 0,2 mikronu, a to třemi operacemi po 15 až 20 min. Stůl s rámem 4 visí šikmo na pružinách 1 na litém podstavci 6. Elektromagnetem 2, 3 napájeným ze selektovaného usměrňovače, kmitá stůl 60krát za vteřinu nahoru a dolů, a tím se i nepatrně pootočí. Leštěné vzorky „plují“ po hedvábní 5. Je dobré, jsou-li na nich držáčky jako přítěž, aby každý leštěný vzorek vážil asi 350 g



Obr. 72. Schéma lapování proudem

Lapují se tak obrobeneé dutiny zápustek a forem (dokončí a vyčistí se dál ručně), lisovací a tažné nástroje razicí aj., břitvy nástrojů (i karbidových), hlavně fréz, protahováků, kde je malické zaoblení břitu (poloměrem asi 0,01 mm) výhodné, optické přístroje, aby vznikla matná

plocha, čisti se tak povrch a zvětšuje se mez únavy u dynamicky namáhaných strojních součástí.

Soupis asi 30 nových prací o lapování a 17 patentů je v časopise Technische Rundschau, Švýcarský, č. 23/1957. O lapování v praxi píše F. Rybář ve Strojírenské výrobě, č. 5/1957.

Chyby při broušení, jejich příčiny a jak je odstraníme

Vlnky na broušené ploše

1. Kotouč ztratil vyvážení

Znovu se vyváží i s upínací hlavou: vyváží se po orování; spustíme na chvíli brusku bez chlazení, aby vystříkala voda z kotouče; ukládáme kotouče na bok, aby se voda neusazovala na jednom místě obvodu.

2. Kotouč není kruhový

Orovná se před vyvážením a po vyvážení.

3. Kotouč je příliš tvrdý

Zvolíme měkčí kotouč nebo hrubší orovnáme jeho obvod.

4. *Hroty a lunety nejsou správně nastaveny* nebo jsou špatně mazány
Zkontrolujeme osu hrotů a lunety; zlepšíme jejich mazání.

5. Špatné orování

Použijeme ostrého diamantu dobře upnutého v držáku.

Úzké, hlubší nepravidelné rýhy na broušené ploše

Kotouč je příliš hrubý.

Zvolíme jemnější zrna.

Široké, nepravidelné skvrny na broušené ploše, různě hluboké

Kotouč je příliš měkký.

Zvolíme tvrdší.

Větší skvrny na broušené ploše

Na kotouči jsou olejové skvrny nebo ohlazená místa.

Vyvážíme a orovnáme kotouč, chráníme jej před olejem.

Jemná šroubovice tvaru závitu na broušené ploše

Nesprávně orovaný kotouč.

Diamant byl příliš ostrý; diamant byl prasklý nebo uštipnutý; orování pomalejším podélným posuvem a správně skloníme diamant podle obr. 21; při každém třetím záběru diamant pootočíme; přitáhneme pevnější držák diamantu v objímce; orovnáваме menším přísuvem; konečně orovnááme kotouč opačným zdvihem, než bude jeho stranový posuv; zaoblíme hrany kotouče, zkosení nestací.

Také může být chyba v broušení.

Povrch kotouče musí být robnoběžný s povrchem obrobku, aby hrana nebrusila závit; zmenšíme tlak kotouče; upravíme lunety; zmenšíme stranový posuv; pro několik posledních záběrů kotouče měníme stranový posuv, aby se povrch ochladil.

Osamocené hlubší záseky na broušené ploše

1. Špatně orovaný kotouč.

Orovnáme ho ostrějším diamantem a po orování ho okartáčujeme.

2. Pojivo se rozpadá, zrna se uvolňují.

Chladicí kapalina narušuje pojivo např. organické; zmenšíme obsah sody.

Nepravidelné záseky a poškrábání povrch

Nečistoty, nečistá chladicí kapalina.

Vyčistíme nádrž chladicí kapaliny; zlepšíme filtr; vyčistíme vnitřek krytu kotouče.

Hluboké nepravidelné rýhy

Uvolněné upínací příruby kotouče.
Přitáhneme je.

Značky po zrnech na broušené ploše

1. Kotouč je příliš hrubý nebo příliš měkký.

Zvolíme jemnější zrna nebo tvrdší kotouč.

2. *Příliš velký rozdíl zrnitosti mezi hrubovrdným a broušením na čisto.*
Pro hrubování zvolíme jemnější zrna nebo lepší výbrus.

3. Orovňání bylo příliš hrubé.

Orovňáme menším přisuvem a pomalejším stranovým posuvem.

4. Chyba v broušení na čisto.

Začneme brousit s větší obvodovou rychlostí materiálu i větším stranovým posuvem, aby se ochladily rysky po předchozím broušení. Dokončíme při velké rychlosti obrobku, avšak s malým podélným posuvem, s dobrým vyískřením.

Vybroušují se šroubovice stejného stoupání jako je stranový posuv

1. Nesouosost.

Osy obrobku a kotouče spolu nesouhlasí.

2. Nesprávné orovňání.

Diamant přiložíme na osu, kde se stýká kotouč s obrobkem, skloněný dolů pod 3°, zaoblíme hrany kotouče.

Kotouč neřeže, pálí a tlačí, vzniká chvění

Kotouč je příliš tvrdý.

Zvětšíme rychlost obrobku, stranový posuv a přísuv; naostříme kotouč hruběji; volíme řidší brusnou kapalinu; použijeme kotouče s hrubším zrnem, měkčího.

Kotouč značí součást, málo vydrží, neudrží stejné jiskření, obrobek je kuželovitý

Kotouč je příliš měkký.

Zmenšíme rychlost obrobku, stranový posuv a přísuv; zvětšíme řeznou rychlost kotouče; orovňáme kotouč pomalým stranovým posuvem a jemným přísuvem.

Broušený materiál se lepí na zrna nebo do póru kotouče

1. Nesprávný kotouč.

Volíme hrubší zrna, řidší strukturu; zvětšíme množství chladicí kapaliny.

2. Nesprávné orovňání.

Orovňáme kotouč větším stranovým posuvem.

3. Špatná chladicí kapalina.

Postaráme se o hojnější přísuv čistě a řidší chladicí kapaliny.

4. Nesprávný postup práce.

Brousíme tak, aby se pracovní tvrdost kotouče zmenšila; zmenšíme přísuv.

Kotouč se hradí a odírá

1. Nevhodný kotouč pro danou práci.

Zvolíme větší zrna a menší tvrdost; brousíme tak, aby se pracovní tvrdost kotouče změkčila.

2. Nesprávné orovňání.

Ostříme hrubším orovňáním; volíme rychlejší stranový posuv a větší přísuv diamantu.

3. Nesprávné chlazení.

Zmenšíme množství oleje v chladicí kapalině; zvětšíme její množství; zvětšíme obsah sody; nemísíme rozpustné oleje s tvrdou vodou.

4. Nesprávná práce.

Brousíme větším přísuvem.

Obrobek není válcový, rovný, je kuželovitý

1. Hroty nebo lunety nejsou správně seřizeny nebo jsou špatně mazány.

2. Kotouč byl chyběně orovňán.

3. Nesprávná práce.

Kotouč nesmí celý přejíždět přes konec obrobku; zmenšíme radiální tlaky, které způsobují pružné deformace; volíme tvrdší kotouč.

Obrobek se roztahuje a křiví teplem

Snížíme jeho teplotu menším přísuvem a lepším chlazením.

Obrobek nabíhá teplem

1. Nesprávný postup práce.

Zabráníme růstu pracovní tvrdosti kotouče; volíme širší a rovnoměrnější proud chladicí kapaliny; zmenšíme přísuv; nesmíme zastavit obrobek ve styku s kotoučem.

2. Nevhodný kotouč.

Zvolíme měkčí kotouč nebo brousíme tak, aby jeho pracovní tvrdost klesla; zlepšíme chlazení.

Kotouč se roztrhne radiálně na tři kusy nebo na větší počet kusů

Zmenšíme u nového kotouče řeznou rychlost; opravíme upnutí (např. křivé příruby, nečistoty pod nimi, špatné pružné podložky, malá díra v kotouči); zabráíme přehřátí kotouče špatným chlazením; změníme tlak kotouče na obrobek, i příliš velké boční namáhání.

Kotouč se roztrhne nepravidelným lomem radiálně na dva kusy

Vzpříčili se o materiálu.

Chráníme kotouč před nárazy; nepoužíváme kotoučů poškozených trhlinkami např. při dopravě, tj. se špatným, křáplavým zvukem, při poklepu kladívka; nesmíme narážet kotouč ztuhla na čep; dodržujeme bezpečnostní předpisy.

Obsluha několika brusek současně

Rovinné brusky (na plocho), které brousí delší kusy, kombinujeme účelně s bruskami hrotovými nebo na díry. Aspoň jeden stroj má mít delší strojní čas. Např. při obsluze tří brusek se může postupovat takto:

1. Jedna bruska má delší strojní čas, dvě další mají kratší časy.
2. Dvě brusky mají delší strojní čas, třetí pracuje na kusové práci.
3. Všechny tři brusky mají přibližně stejně dlouhý strojní čas; obsluhujeme je střídavě.

Zavádíme-li obsluhu několika strojů ve výrobě už zavedené, postupujeme obvykle takto: Určíme vhodné stroje, které mají automatické vypínání nebo které jsou už částečně automatizovány a postaveny tak, že je jeden dělník může obsluhovat. Propočteme, vyhovují-li operace podmínkám sdrúžené práce, a je-li třeba, změníme operace, výrobní postup a stroje tak, aby vyhověly. Dbáme, aby stroje byly plně využity.

Počet strojů, které mohou být sdrúženy ve skupině, označme x . Stupeň využití pracovní doby dělníka je η , stupeň využití pracovního času strojů η_s . Přibližně volíme podle únavnosti práce $\eta \approx 0,6$ až $0,8$. U strojů umístěných blízko u sebe při snadné práci $\eta = 0,8$.

Kusový čas operace s nejdelším strojním časem je T_e , aritmetický průměr všech vedlejších časů sdrúžených operací je T_o .

Počet strojů, jež lze sdrúžit, $x = \eta \cdot \frac{T_e}{T_o}$.

Stupeň využití pracovního času strojů

$$\eta_s = \frac{\sum T_k}{x T_e}; T_k = T_e + T_o.$$

Příklad. 1. Máme stejné brusky a mají se dělat stejné práce. Nejdelší strojní čas $T_e = 3$ min. Aritmetický průměr všech vedlejších časů $T_o = 1$ min. Zvolíme součinitele využití pracovní doby dělníka $\eta = 0,75$. Počet strojů, které lze sdrúžit,

$$x = \frac{\eta T_e}{T_o} = 0,75 \cdot \frac{3}{1} = 3.$$

Stupeň využití strojního času strojů

$$\eta_s = \frac{\sum T_k}{x T_e} = 3 \cdot \frac{4}{3 \cdot 4} = 1$$

čili obsluha několika strojů v tomto případě nepůsobí ztráty.

2. Chceme sdrúžit 5 operací a 5 strojů, jejichž strojní a vedlejší časy jsou tyto:

Operace číslo	1	2	3	4	5
Strojní čas T_e	8	7	5,5	6	5 min
Vedlejší časy	1,5	0,5	2	2	2,5 min
Kusový čas T_k	9,5	7,5	7,5	8	7,5 min

Aritmetický průměr všech vedlejších časů $T_o = (1,5 + 0,5 + 2 + 2 + 2,5) : 5 = 1,7$ min. Zvolíme $\eta = 0,65$. Počet strojů, jež lze sdrúžit do skupiny, $x = 0,65 \cdot \frac{9,5}{1,7} = 3,64$.

Z toho plyne, že těchto 5 strojů nemůžeme spojit v jednu skupinu pro obsluhu jedním dělníkem. Zkusíme spojit aspoň první čtyři operace, u nichž $T_o = (1,5 + 0,5 + 2 + 2) : 4 = 6 : 4 = 1,5$ min.

$$x = 0,65 \cdot \frac{9,5}{1,5} = 4,1 \text{ strojů.}$$

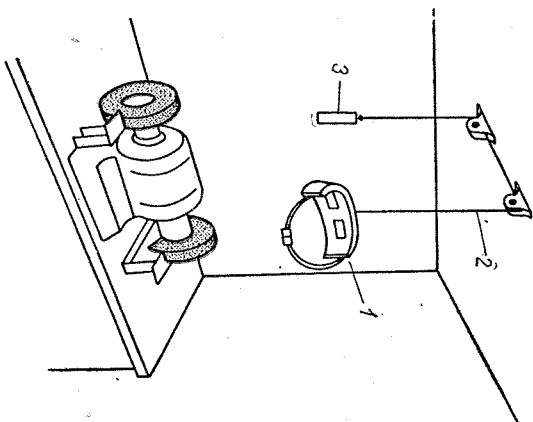
Tyto čtyři stroje mohou být sdruženy pro společnou obsluhu. Stupeň využití pracovního času strojů

$$\eta_s = \frac{9,5 + 7,5 + 7,5 + 8}{9,5 \cdot 4} = \frac{32,5}{38} = 0,85.$$

Přibližně-li blíže k nákladům na broušení (viz J. Maikus, Hospodárnost a produktivita broušení, časop. Strojinství č. 5, 1954), vidíme, že největší položkou jsou mzdy, kdežto náklady na energii a nástroj dohromady jsou značně (např. pětkrát) menší. K zhospodárnění se proto vždy soustředíme na časy potřebné k práci.

Bezpečnost práce při broušení

Bezpečnou práci zaručí už příprava kotouče (uskladnění, vyvážení, správné upnutí). Největší úrazy mohou vzniknout roztržením kotouče.

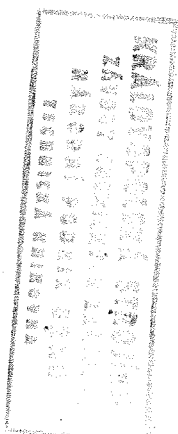


Obr. 73. Ochranné brýle u brusky

Ochranné brýle 1 se zavěsí na lanko asi do výše očí. Dělník si je snadno připevňuje a po práci je opět uvolní. Na lanku 2 jsou brýle přibližně vyváženy závažím 3. Přispívá to k bezpečnosti práce

Ochranné kryty předpisuje norma ČSN 20 0706-0707; jsou spojeny s od-sáváním brusného prachu, ručí za ně dodavatel stroje záručním listem podle par. 99 zákona č. 99/1948 Sb. o národním pojištění. Novější brusky vyhovují všem požadavkům bezpečnosti, mají např. i průhledné ochranné stěny proti rozstříku brusné kapaliny. V úpravách bezpečnostních zařízení u starších brusek je velká příležitost pro novátory (obr. 73).

Základní ustanovení bezpečnosti práce při broušení uvádí zákon č. 76/Sb. o bezpečnosti při práci, ze dne 17. VII. 1951; dále vládní nařízení č. 41 Sb. ze dne 10. II. 1938. Výtah z těchto předpisů uvádí brožura J. Lipka, O. Matoušek. Bezpečnost při broušení, Práce 1958; též ukazuje, že nejlepší výsledky v péči o bezpečnou práci se dosahuje, spolupracuje-li na tomto úkolu každý pracující. Péče o zdraví pracujících a kulturu pracoviště je předním úkolem nás všech.



- B. Dobrovolný, Broušení (Kurs technických znalostí sv. č. 18), SNTL, Praha 1960; Příručka pro brusíče, Práce, Praha 1953.
- F. Hamr, Tvarové broušení, Práce, Praha 1952; Broušení tvarů na rovině brusce, Práce, Praha 1960; Vzorová technologie tvarového broušení, Práce, Praha 1962.
- K. Kyzlink, Novátorské metody ve výrobě nářadí, Práce, Praha 1954; Pokroková technologie, Práce, Praha 1962.
- J. Outrata, Příručka pro brusíče, SNTL, Praha 1960.
- J. N. Maslov, Základy teorie broušení, SNTL, Praha 1953.
- V. I. Slonimskij, Teorie a praxe bezhrotového broušení, SNTL, Praha 1955.
- Speciálním otázkám se věnují čtené svazky Knižnice Strojirenské výroby a Kursu technických znalostí. Sledujte proto seznamy novinek u svého knihkupece.

BOHUMIL DOBROVOLNÝ BROUŠENÍ KOVŮ

DT 621.923.1 — Vydalo Státní nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 51, Praha 1, v lednu 1962 jako svou 3981. publikaci v řadě Knižnice strojirenské výroby — Redakce strojirenské literatury — Odpovědný redaktor Bohuslav Johan — Obálku navrhl Josef Kalousek — Grafická úprava a technická redakce Antonín Kalina — Vytiskl TISK, knižní výroba, n. p., závod Brno, provozovna 11 — 112 stran, 73 obrázků — Typové číslo L13f-B2-II/2580 — Vydání druhé, přepracované — Náklad 9200 výtisků — 5,78 AA, 6,01 VA — D-15*10481

301/05/60
Cena brožovaného výtisku Kčs 3,70
63/III-5-B2
Publikace je určena brusičům ve strojirenské a jako učebnice pro odborné školy a ke školení dorostu v průmyslu

04-219-62 Kčs 3,70

- B. Dobrovolný
1. **Broušení kovů.** Teoretické i praktické základy brusické práce s příklady nové techniky v broušení
- Inž. F. Drábek
2. **Frézy.** Brožurka pro nejširší okruh čtenářů z řad dělníků, mistrů a techniků ve strojirenské, pomocná pro žáky průmyslových škol strojnických
- Inž. F. Drábek
3. **Frézování.** Knižka pro frézáře, seřizovatele, mistry a techniky strojirenské průmyslové pomocná pro posluchače průmyslových škol strojnických
- K. Schebesta
4. **Kopírování na soustruzích.** Knižka o nové mechanizaci pro soustružníky, technologů a techniky v celém průmyslu
- F. Weitzel
5. **Obrotí a bolení strojirenských výrobků.** Brožurka pro pracovníky ve strojirenské, kteří mají zájem na dopravně a balení strojirenských výrobků
- Inž. dr. E. Schmitt
6. **Tvarové nože soustružnické.** Knižka pro konstruktéry nástrojů, technologů, mistry a provozní techniky ve strojirenské a v mechanických dílnách všech průmyslových odvětví. Učební pomocná pro posluchače technických škol strojnických všech stupňů.
- Inž. J. Koloc, inž. K. Pecharý,
inž. Z. Turek
7., 8. **Obrobění karbidovými nástroji.** I. díl: Pracovní podmínky karbidových nástrojů. II. díl: Konstrukce a údržba karbidových nástrojů. Brožurky pro dělníky, mistry, technologů, konstruktéry přípravků a nástrojů ve strojirenské, pomocná pro žáky strojnických průmyslových škol
- A. Koubeček
9. **Revolverové soustruhy.** Knižka pro soustružníky na revolverových soustruzích, pro technologů, seřizovatele a dílenské techniky
- Inž. C. J. Záhoř, inž. V. Elšléger
10. **Kopírování na obroběcích strojích.** Brožurka pro dělníky, mistry a techniky ve strojirenské
- R. Krňák
11. **Svařování litiny.** Souhrn zkušeností pro svařče-opraváře v údržbářských organizacích i pro svařče ve strojírenských a jiných závodech
- R. Krňák
12. **Řezání a drážkování kyslíkem.** Podrobný popis pokrokové metody řezání a drážkování kyslíkem, pro dělníky, mistry a technologů v závodech a údržbářských dílnách
- A. Vachlovský a kolektiv
13. **Soustružení závitů.** Příručka pro dělníky, mistry, technologů a techniky ve strojirenské, dobrá pomocná pro žáky technických škol strojnických
- Inž. L. Pivo
14. **Odpovědné svařování v praxi.** Popis a informace k odbornému výcviku svařčů a svařčovníků technologů v odpovídajícím svařování
- Inž. K. Erozim
15. **Měření účinek geometrického tvaru a polohy funkčních ploch výrobků.** Brožurka pro vedoucí technické kontrol a pro učení školní nových kontrolních kódů
- J. Studnička
16. **Údržba lisovacích nástrojů.** Pro všechny pracovníky, kteří v konstrukci, náradovkách a výdělích přicházejí do styku s lisovacími nástroji
- Prof. inž. dr. F. Draštil
17. **Pokroková kovárská technologie.** Pro dělníky, mistry a technologů. Zabývá se hlavními technologickými zásadami pro práce na jednotlivých typech kovárských strojů
- Z. Kejmel
18. **Tváření plechu I. Základy lisování plechu.** Pojednání o základních technologických pochodech tváření plechu. Pro dělníky a mistry v lisovacích plechu
- A. Vachlovský
19. **Řezání vnitřních a vnějších závitů.** Brožurka pro dělníky, mistry a technologů ve strojirenské, Učební pomocná pro žáky odborných učilišť
- Inž. Ct. Něhlavský, O. Richter
20. **Mazání obroběcích strojů.** Knižka o správném mazání obroběcích strojů. Je určena dělníkům a mistrům údržbářských částí ve strojirenských závodech a mechanických dílnách