Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Nositelka Řádu práce

Fakulta strojní Katedra obrábění a montáže

obor 23 - 07 - 8 - strojírenská technologie
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž

# V Ý B Ě R A N Á V R H T E R M I N O L O G I E P O J M Ů Z O B O R U B R O U Š E N Í K O V Ů

KOM - OM - 234

H e l e n a Š T Ě P Á N O V Á

Vedoucí práce : Doc.Ing. Jaromír Gazda, CSc VŠST Liberec

Konzultant : Ing. Robert Kvapil VŠST Liberec

Počet stran ..... 68

Počet tabulek ..... 2

Počet obrázků ..... 25

25.května 1984

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1983/84

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
## (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Helenu Štěpánovou

obor 23 - 07 - 8 strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Výběr a návrh terminologie pojmů z oboru broušení kovů

Zásady pro vypracování:

1. Význam rozvoje procesu broušení pro vývoj strojírenské výroby

2. Studium základních poznatků a pojmů z oboru broušení

3. Výběr pojmů, návrh označení a definic pojmů a veličin

4. Systematické zpracování do vhodné přehledné formy vybraných pojmů a veličin

5. Shrnutí poznatků, návrh dalšího řešení, závěry

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31 727/62-II/2 ze dne 13. července 1962 Věstník MŠK XVIII sešit 24 ze dne 31. 12. 1962 § 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických prací: náčrty, schemata, tabulky

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran textu

Seznam odborné literatury:


Masloy, J.N.: Teorie broušení kovů, 1. vyd. SNTL, Praha 19[illegible]

Čezný, V. - Rosplíšil, L.: Brusiva a brusné nástroje, 1. vyd. Praha, SNTL 1967

Salje, J. - Brandin, G.: Lexikon der Schleiftechnik

ČSN 01 13 01
ČSN 22 40 10
ČSN 22 00 10
ČSN 22 00 11


Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing.Jaromír Kozák,CSc.

Datum zadání diplomové práce: 15. 10. 1983

Termín odevzdání diplomové práce: [illegible]. 5. 1984

L. S.

Doc.Ing.Jaromír Kozák,CSc.
Vedoucí katedry

Doc.Ing. [illegible]
Děkan

V Liberci dne 20. 1. 19[illegible]

" Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury."

V Liberci, dne 25.května 1984

.....

Obsah:

strana

1. Úvod ..... 5

1.1. Význam norem pro národní hospodářství ČSSR a socialistickou ekonomickou integraci ..... 5

1.2. Postavení broušení v dnešní strojírenské výrobě ..... 6

2. Základní poznatky z oboru broušení kovů ..... 9

3. Rozbor metod broušení ..... 14

3.1. Posouzení stávajících schemat rozdělení procesu broušení a vlastní návrhy ..... 14

3.2. Popis nejběžnějších způsobů broušení ..... 22

4. Výběr pojmů z oboru broušení kovů, návrh definic a označování těchto pojmů ..... 31

4.1. Návrh definic nejobecnějších pojmů v oboru broušení kovů ..... 31

4.2. Výběr pojmů týkajících se kinematiky procesu broušení a jejich rozbor na metodě broušení válcových rovinných ploch ..... 34

4.3. Aplikace poznatků z kap. 4.2. na metodu broušení vnějších netvarových rotačních ploch s upnutím obrobku ..... 51

5. Shrnutí navržených definic a označování vybraných pojmů a jejich systematické uspořádání do tabulek .....59

6. Závěr .....65

Seznam použité literatury .....67

## 1. Úvod

### 1.1. Význam norem pro národní hospodářství ČSSR a socialistickou ekonomickou integraci

V hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1981-85 soudruh G. Husák zdůraznil mimo jiné nutnost účinněji zapojovat československou ekonomiku do mezinárodní dělby práce a tím přispívat k dalšímu růstu technické úrovně výroby a produktivity práce, ke zvyšování sériovosti a efektivnosti výroby, ke snižování její energetické a materiálové náročnosti. V prvé řadě je nutno rozvíjet mezinárodní socialistickou dělbu práce, hledat nové možnosti jejího prohlubování, zdokonalování forem socialistické ekonomické integrace a užší propojení československého hospodářství s ekonomikami členských zemí RVHP, zejména se Sovětským svazem. Dále je třeba pokračovat v mezinárodní spolupráci s nesocialistickými zeměmi v ekonomické a vědeckotechnické oblasti na základě vzájemné výhodnosti.

Společným programem členských zemí RVHP pro plánovité řízení procesu mezinárodní dělby práce je komplexní program socialistické ekonomické integrace. Současná etapa vývoje je charakterizována internacionalizací hospodářského života a výrobních procesů a hlavní otázkou se stává zdokonalování spolupráce v oblasti plánování. Společné plánování integračních opatření členských zemí RVHP však není možné bez norem RVHP.

Jak však bylo na 16. sjezdu KSČ řečeno, aktualizaci a rozvíjení norem všeho druhu se dosud věnuje velmi málo pozornosti. A přece právě tento úkol patří k těm, jejichž zvládnutí rozhodne o účinném uplatnění nových opatření. Jde o to, aby se v normách promítly poznatky vědeckotechnického rozvoje, aby ve všech podnicích měli program jejich soustavného zdokonalování, umožňující dosáhnout vysokých parametrů výroby.

Je zřejmé, že mezinárodní úkoly budou ve stále přibývající míře určujícím prvkem ve vývoji národního hospodářství každé socialistické země, a proto je nezbytné přezkušování a přepracovávání státních norem ČSSR, jež by mělo probíhat v souvislosti s přepracováváním norem RVHP.

## 1.2. Postavení broušení v dnešní strojírenské výrobě

Dá se říci, že normy zasahují do všech oblastí národního hospodářství, z čehož je patrné, že nacházejí široké uplatnění i ve strojírenství, které je nosným odvětvím našeho průmyslu. Nezastupitelné místo ve strojírenské výrobě náleží procesu broušení. Rozvoj techniky v několika posledních desetiletích obohatil způsob broušení o velké množství objevů a nových technologických procesů, které ve svém celku umožnily dnešní vysokou úroveň strojírenské technologie. Tuto úroveň charakterizuje značné zvýšení přesnosti, výkonnosti a životnosti dnešních obráběcích strojů a zařízení a obrovský rozvoj dnešní přístrojové techniky. Podstatný podíl na tomto stavu má i rozsáhlejší používání nových tvrdých brousících materiálů a přesných odlitků a výlisků s podstatně zmenšenými přídavky na obrábění. Velká pozornost se věnuje vývoji umělých druhů brusiva, s čímž souvisí výrazné zvýšení efektivnosti obrábění brousícími nástroji. Přesné broušení se z původního procesu dokončovací úpravy poměrně omezeného sortimentu jednoduchých strojních součástí rozrostlo do širokého souboru úběrových procesů, které stále v širším měřítku navazují přímý kontakt na slévárenské a tvářecí pochody. Došlo tak k podstatnému omezení nebo v některých případech dokonce k úplnému vyřazení nákladnějších způsobu obrábění. Kromě toho umožňuje broušení získat i u složitých strojních součástí takovou přesnost a jakost povrchu, jakých nelze jinými

obráběcími pochody dosáhnout. V současné době se strojní součásti často obrábějí s přesnosti na zlomky mikrometru a s drsností povrchu řádově desetiny až setiny mikrometru, čehož se dosahuje hlavně broušením a dalším dokončovacím obráběním /honováním, lapováním, superfinišováním/. Obecně se tedy dá konstatovat, že se broušení jako metoda obrábění na čisto vyznačuje těmito základními přednostmi:

1. vysokou produktivitou práce, která je určena velikostí plochy obrobku opracovanou za časovou jednotku,
2. vysokou přesností obrobených rozměrů,
3. velkou geometrickou přesností tvaru obrobených ploch,
4. vysokou kvalitou obrobeného povrchu,
5. možností obrábět i velmi tvrdé materiály /kalené oceli, slinuté karbidy, mineralokeramické materiály apod./

Ukázalo se také, že se operace broušení dobře mechanizují a automatizují, čímž dochází k usnadnění nebo zmenšení lioské práce. To vede ke zvyšování produktivity práce, jakosti výroby a ke snižování výrobních nákladů.

Z tohoto stručného výčtu předností broušení je patrné, že si tento způsob obrábění materiálů zajistil v dnešní strojírenské výrobě pevné místo a jeho význam neustále roste. Proces broušení a s ním související jevy jsou však velmi složité, a proto je třeba dále teoreticky a experimentálně tento proces zkoumat.

S tím souvisí i má diplomová práce, která se zabývá terminologií pojmů v oboru broušení kovů. V této oblasti je v definování a označování jednotlivých veličin značná nejednotnost a to nejen mezi našimi autory. Především se neshodují terminologické normy mezi státy, a proto je snahou našich i zahraničních odborníků, kteří se zabývají touto problematikou, sjednotit

značení a definování jednotlivých pojmů a veličin. Cílem snažení odborníků ze socialistických zemí je vypracování jednotné normy RVHP, přičemž by bylo vhodné ,kdyby tato norma zhruba odpovídala i západním normám ISO a DIN.

V souladu s tímto úkolem je i má diplomová práce, v níž se zabývám výběrem některých pojmů z oboru broušení kovů, posouzením stávajících definic a značení a výběrem nejvhodnějších, případně navržením nových definic a označování daných pojmů.

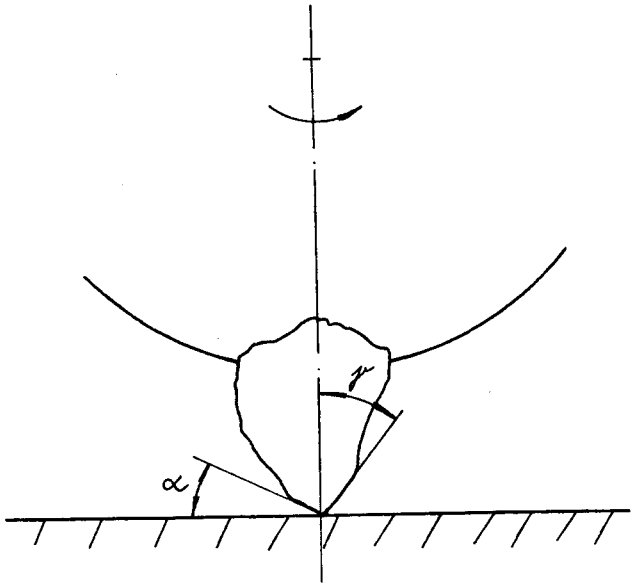
## 2. Základní poznatky z oboru broušení kovů

Broušení patří mezi operace abrazivního obrábění, při kterých dochází k úběru materiálu pomocí tvrdých ostrých zrn. Abrazivní procesy se mezi sebou liší velikostí přídavku na obrábění, kvalitou obrobeného povrchu a dosaženou přesností geometrického tvaru a rozměrů. Nejznámějším a nejrozšířenějším abrazivním procesem je broušení.

Zrna brusiva mohou být buď spojena do požadovaného tvaru brousícího nástroje nebo mohou být volná. Nejčastěji se používá broušení pomocí vázaného brusiva, při kterém má brousící nástroj tvar kotouče. Zrna brousícího kotouče jsou v podstatě malé zuby rozložené většinou nepravidelně s různým převýšením po jeho obvodu. Jejich velikost se pohybuje v rozsahu od 0,003 mm do 3 mm /4/.

Kinematika jednotlivých zrn brousícího kotouče je při broušení rotačních ploch v principu totožná s okružním frézováním, při broušení rovinných ploch s frézováním válcovou nebo čelní frézou. Zásadní rozdíl mezi broušením a frézováním je ve velikosti průřezu odebírané třísky, případně ve tvaru břitu. Velikost průřezu třísek je při frézování řádově $10^{-3}$ až $10^{1}$ $mm^2$, kdežto při broušení je to $10^{-7}$ až $10^{-4}$ $mm^2$ /3/. Zrna brusiva mají tvar nepravidelných mnohostěnů se zaoblenými vrcholy. Toto zaoblení je nevelké, ale přesto je třeba k němu přihlížet, neboť tloušťky třísek ubíraných jednotlivými zrny při mikrořezání jsou srovnatelné s velikostí poloměru zaoblení zrna. Povrch krystalu brusiva má vždy určitou drsnost, takže výčnělky zrna mají funkci dílčích břitů, které odebírají třísky 10 x až 100 x tenčí než hlavní břit /1/.

Brousící nástroj se vyznačuje většinou neuspořádaným rozložením zrn na jeho pracovní ploše. Na uložení zrna v brousícím kotouči závisí tvar břitu a řezné úhly zrna. Břity brousících zrn mají nepravidelný tvar, úhel hřbetu $\alpha$ je poměrně velký a úhel čela $\gamma$ je obvykle negativní. To zvyšuje dynamickou pevnost zrn a jejich odolnost proti silám, které na ně působí. Schematické znázornění je na obr. 2.1.




2.1. Schematické znázornění řezných úhlů na brousícím zrnu.

Další odlišností procesu broušení oproti ostatním metodám obrábění jsou značně velké používané rychlosti. Poněvadž je obvodová rychlost brousících kotoučů vzhledem k rychlosti pohybu obrobku nepoměrně větší, považujeme ji za řeznou rychlost. Pohybuje se většinou v rozmezí 10 až 80 m/s, ve zvláštních případech může být až 100 m/s. Velké obvodové rychlosti brousícího kotouče a malá hloubka řezu každého zrna způsobuje prakticky okamžité odebrání obrovského množství třísek. Odebrání třísky jedním zrnem brusiva trvá přibližně $10^{-4}$ až $10^{-5}$ s, takže celkový počet třísek ubíraných brousícím kotoučem za časovou jednotku

je neobyčejně velký/1/.

Velká řezná rychlost je příčinou velkého vývinu tepla a vysoké teploty odcházejících třísek, které se mohou zahřívat až na teplotu 800 - 1 200°C /4/. Část vyvinutého tepla přechází do mikroskopické vrstvičky materiálu obrobené plochy, která se rovněž zahřívá. Tím vznikají poměrně značná pnutí, která mohou být příčinou vzniku trhlinek v obrobené ploše.

Další zásadní rozdíl mezi broušením a jinými způsoby obrábění je velký měrný řezný odpor, který vzniká v důsledku malých odebíraných třísek.

Souhrnně lze tedy konstatovat, že se broušení liší od ostatních metod obrábění těmito základními zvláštnostmi /1/:

1. nepravidelné rozmístění velkého počtu malých zrn brusiva na pracovní ploše kotouče,
2. brousící kotouč nemá souvislý břit,
3. různá výška zrn brusiva u kotouče,
4. určitá závislost mezi tloušťkou a šířkou vrstvy materiálu odebírané jednotlivými zrny brusiva,
5. zrna brusiva mají nepravidelný tvar a zaoblené vrcholy, které mají obvykle záporný úhel čela,
6. řezné elementární částice /zrna/ mají velkou tvrdost, tepelnou odolnost, jsou ostrá, křehká a štěpí se při broušení,
7. velké obvodové rychlosti brousícího kotouče a malá hloubka řezu způsobují prakticky okamžité odebrání obrovského množství třísek za časovou jednotku,
8. každé zrno brusiva působí na broušenou povrchovou vrstvu dynamicky, což zvyšuje místní teplotu procesu mikrořezání.

Jak již bylo dříve řečeno, brousící zrna jsou nepravidelně rozložena na činné ploše brousícího nástroje. Vrcholy těchto zrn u brousícího kotouče mají vždy různou radiální vzdálenost od ideální válcové plochy, což způsobuje při broušení jejich různé zatížení. Toto nerovnoměrné zatížení souvisí s odlišnou výškou zrn a s nedokonalým geometrickým tvarem brousícího nástroje. Nejvíce zatížená jsou zrna vystupující nad ideální válcový povrch, zatímco ostatní snížená zrna určitou dobu nepracují. Tato zrna začínají působit až po přirozeném opotřebení vyšších zrn nebo po orovnání kotouče.

V průběhu činnosti brousícího kotouče dochází k opotřebení jeho pracovní plochy, což je složitý fyzikálně-chemický proces, jehož průběh závisí na všech podmínkách broušení: charakteristice kotouče, vlastnostech obráběného materiálu, řezných podmínkách atd. Podle vlastností brousících kotoučů /tvrdosti, druhu pojiva, brusiva apod./ a podle řezných podmínek probíhá při broušení buď otupení kotouče nebo se uplatňuje jeho samoostření. Otupení kotouče nastává v důsledku postupného štěpení brousících zrn, jejich zaoblováním a zanášením deformovanými částicemi třísky, takže brousící kotouč postupně ztráci svoji řezivost. Samoostření kotouče nastává v důsledku vylamování částí nebo celých zrn z pojiva. Pak začínají pracovat nová zrna, takže se pracovní plocha brousícího nástroje neustále obnovuje. Tato schopnost obnovování řezné plochy je významnou specifickou vlastností brousících kotoučů /1/.

Na proces broušení má vliv mnoho faktorů. Je to hlavně obráběný materiál, druh brusiva, pojivo, tvrdost a struktura brousícího kotouče, řezné podmínky, řezná kapalina, přesnost a tuhost brusky apod.

Podle druhu brusiva rezeznáváme brusiva přírodní a umělá. Z přírodních brusiv se nejvíce používá přírodní diamant, křemen, smirek a přírodní korund. Menší uplatnění pak má pemza, břidlice, pískovec, leštící růže a okry, pazourek, granát a granátovec. Ze syntetických brusiv se používá syntetický diamant, kubický nitrid bóru, elektrokorund, karbid křemíku, karbid bóru a jejich různé směsi.

Pojiva jsou látky, které spojují drcené brusivo v brousících nástrojích tak, aby měly požadovaný tvar, rozměry a tvrdost. Pojiva dělíme na organická a anorganická.

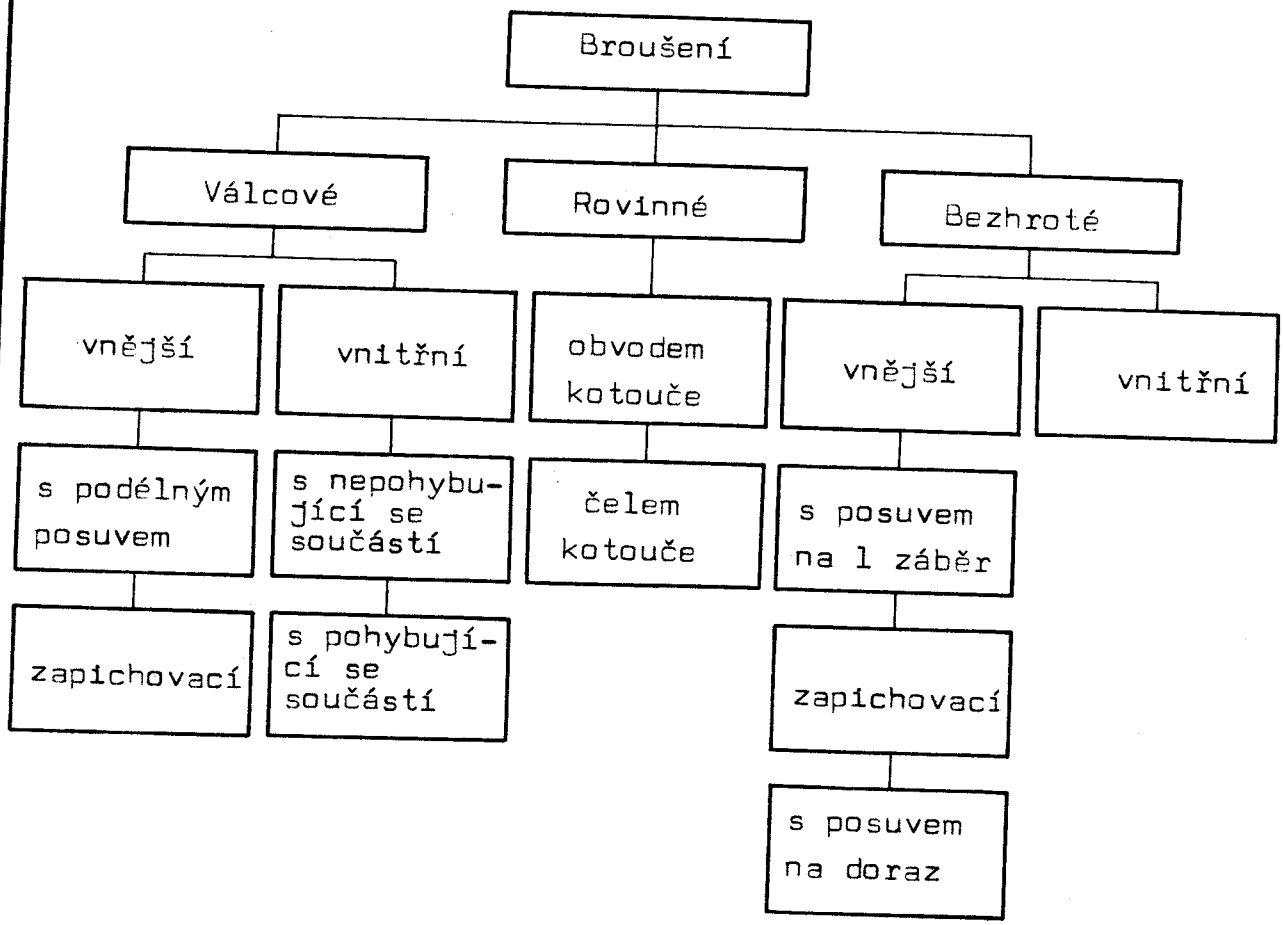
Obecně se dá konstatovat, že hlavním cílem procesu broušení je splnění předepsaných technických požadavků na opracování součásti, s čímž souvisí snaha po vysoké produktivitě práce, po snižování vlastních nákladů a tím po racionálním využití brousících nástrojů a brusek. Základními předpoklady při zlepšování procesu broušení je zdokonalování brusiva a brousícího nástroje, zdokonalování konstrukce brusek a zlepšování technologie broušení. Brusivo se zdokonaluje zvyšováním jeho kvality, zlepšováním fyzikálních a mechanických vlastností, řezivosti a dalších vlastností. Vytvářejí se nové brousící materiály s velmi dobrými řeznými vlastnostmi. V oblasti brousícího nástroje je snaha po vytvoření nových velmi účinných pojiv, s nimiž získá nástroj zlepšené vlastnosti. Dále je to výroba nástrojů s orientovanými a uspořádanými zrny brusiva a výroba širokých brousících kotoučů velkých průměrů, které podstatně zkracují strojní čas obrábění. Produktivitu práce lze také zvyšovat zdokonalováním brusek a jejich vyšší automatizací. V neposlední řadě je také nutnou podmínkou pro rozvoj strojírenství neustálé zdokonalování technologie, která umožňuje zajistit nejvýkonnější způsob výroby strojních součástí v daných podmínkách výroby,kde tvoří broušení závažnou složku.

## 3. Rozbor metod broušení

### 3.1. Posouzení stávajících schemat rozdělení procesu broušení a vlastní návrhy

Při definování pojmů z oboru broušení kovů je třeba se nejprve zaměřit na jeden ze způsobů a s přihlédnutím k ostatním způsobům pak provést potřebná teoretická zkoumání. Získané poznatky je pak nutno aplikovat na další metody broušení, neboť se zde mohou vyskytnout určité odlišnosti. V souvislosti s tím by bylo vhodné provést rozbor stávajících rozdělení procesu broušení na jednotlivé způsoby, neboť již v této oblasti se setkáváme se značnou nejednotností.

Například Armarego a Brown /7/ ve své práci o obrábění kovů navrhují schema rozdělení broušení, které je na obr. 3.1.




obr. 3.1. Rozdělení broušení podle Armarega a Browna.

Domnívám se, že toto rozdělení v některých částech zcela neodpovídá skutečnosti a ani schematické znázornění není nejvhodnější. Například část schematu týkající se rovinného broušení budí dojem, že se nejedná o rozdělení na broušení obvodem kotouče a broušení čelem kotouče, jak je tomu ve skutečnosti, ale že je broušení čelem kotouče jedním ze způsobů broušení obvodem kotouče. Obdobně je tomu i u rozdělení vnějšího válcového, vnitřního válcového a vnějšího bezhrotého broušení.

Zdá se mi také, že není nejvhodnější uvažovat o bezhrotém broušení jako o zvláštní skupině vedle broušení válcového a rovinného, neboť bezhroté broušení lze aplikovat pouze při broušení rotačních a nikoliv rovinných ploch. Z tohoto důvodu by tedy mělo být bezhroté broušení součástí válcového broušení.

V díle Maslova /1/ se nachází následující rozdělení procesu broušení:

1. Broušení vázaným brusivem
   - A/ broušení vnějších válcových ploch
     - s podélným posuvem
     - zapichovací
     - tvarové zapichovací
     - bezhroté broušení
   - B/ broušení vnitřních válcových ploch
     - s podélným posuvem
     - zapichovací
     - planetové
     - bezhroté broušení
   - C/ broušení rovinné
     - obvodem kotouče s posuvným pohybem obrobku

- obvodem kotouče s otáčivým pohybem obrobku
- čelem kotouče s posuvným pohybem obrobku
- čelem kotouče s otáčivým pohybem obrobku

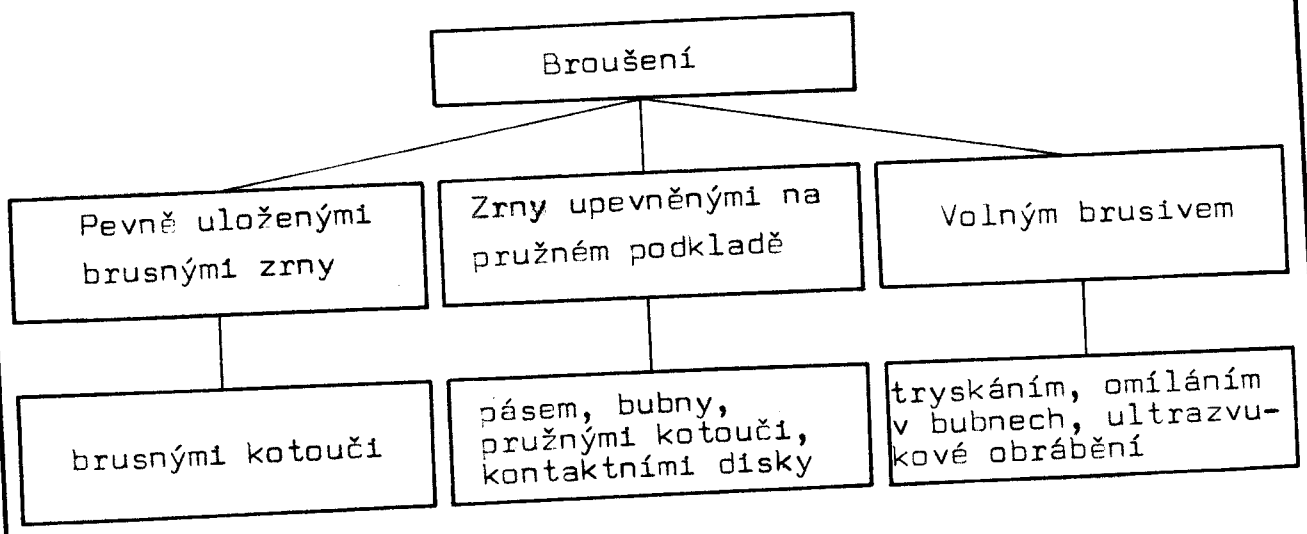
2. Broušení volným brusivem
   - proudem brusiva, ultrazvukem apod.

Prvotní rozdělení broušení z hlediska vázaného nebo volného brusiva se mi zdá vhodné. Podrobněji toto rozdělení rozpracoval ve své práci Šaínov.

Další dělení se v mnohém shoduje s předcházejícím schematem. Je zde však podrobněji rozděleno rovinné broušení, neboť se přihlíží k možným pohybům obrobku.

V tomto rozdělení se však obdobně jako v předcházejícím případě téměř neuvažuje o broušení tvarových ploch, které je však již natolik rozšířené, že je nelze opomenout.

Jak již bylo řečeno, rozdělením broušení z hlediska brusiva se ve své práci zabývá Šaínov /11/- obr. 3.2.




obr. 3.2. Šaínovo rozdělení procesu broušení.

Domnívám se, že toto schema dobře vystihuje rozdělení procesu broušení s ohledem na brousící zrna a jejich vzájemnou vazbu.

Další možné rozdělení procesu broušení uvádí Dráb /13/

A/ Broušení do kulata

1. vnějších ploch

a/ podélným způsobem s malými úběry nebo hloubkově

b/ zapichovacím způsobem

c/ bezhrotovým způsobem průběžně nebo zapichováním

2. vnitřních ploch

a/ podélným způsobem

b/ zapichovacím způsobem

c/ planetovým způsobem

d/ bezhrotovým způsobem

B/ Broušení rovinných ploch

1. obvodem brousícího kotouče

2. čelem brousícího kotouče

C/ Broušení tvarových ploch

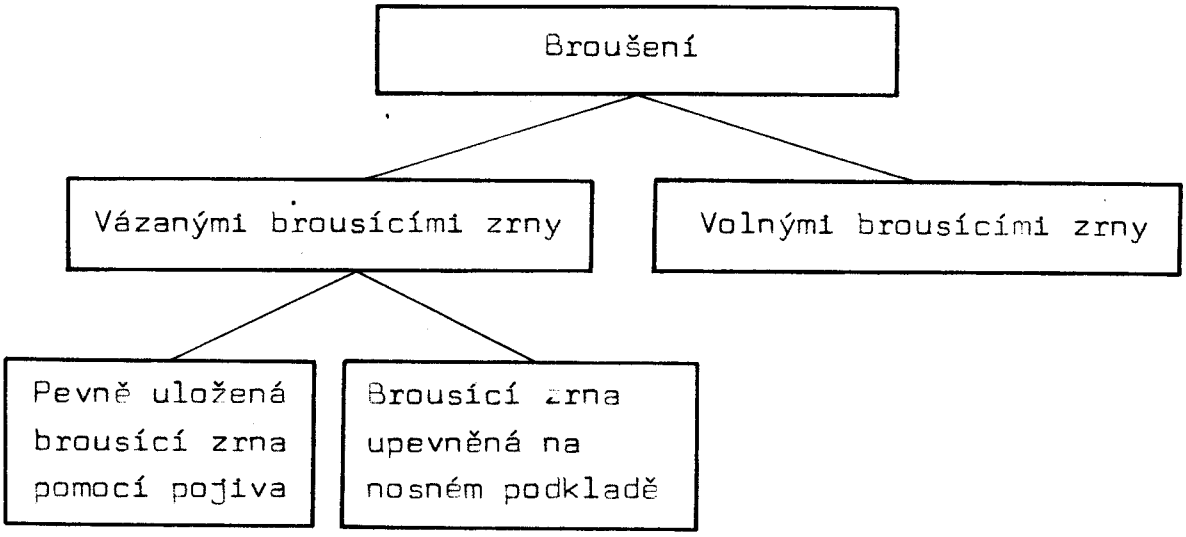
1. tvarovými kotouči

2. na speciálních strojích

Zde se mi zdá nevhodný termín broušení "do kulata",i když je tento výraz značně rozšířen. Z odborného hlediska není pojem "kulato" zcela jednoznačný, takže by bylo třeba nahradit tento pojem vhodnějším výrazem. Vedle broušení rovinných ploch a broušení " do kulata" zde však již autor uvádí zvláštní skupinu,kterou je broušení tvarových ploch. Jinak je toto rozdělení téměř analogické s rozdělením Maslova, které bylo uvedeno dříve.

S ohledem na výše uvedená schemata a rozdělení a s přihlédnutním ještě k dalším autorům navrhuji následující rozdělení procesu broušení:

1. z hlediska brousícího nástroje - obr. 3.3.
2. z hlediska obráběných ploch - obr. 3.6.



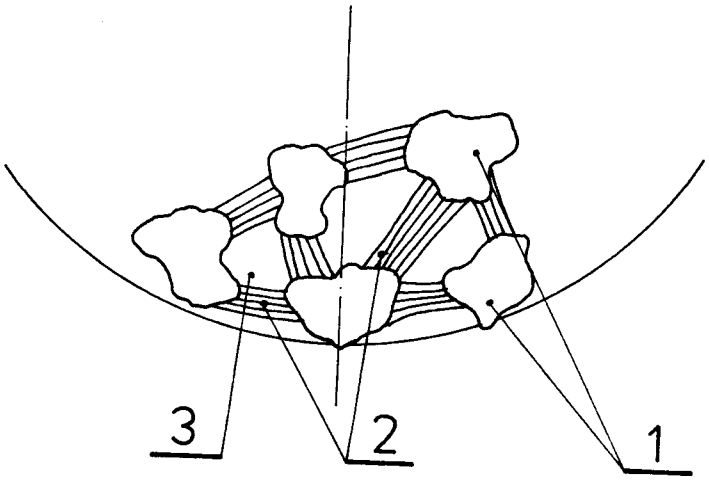

obr. 3.3. Návrh rozdělení procesu broušení z hlediska brousícího nástroje

ad 1./ Schema na obr. 3.3. vychází z rozdělení, která navrhli výše uvedený Šaĺnov a Maslov.

Při broušení volným brusivem se využívá zrn brusiva ve formě prášku pro broušení kapalinou, ultrazvukem nebo jiným podobným způsobem.

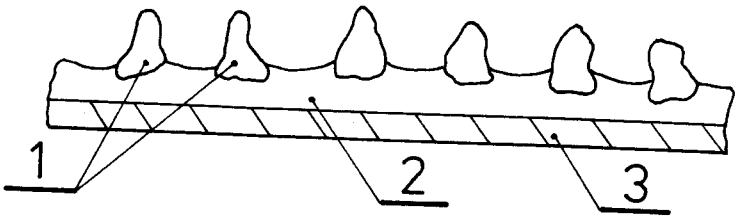
V případě broušení pomocí vázaných, pevně uložených brousících zrn pomocí pojiva jsou zrna brusiva stmelená pojivem do tvaru kotouče, brousícího tělíska, segmentu nebo jiného tvaru brousícího nástroje.

Stavbu takového nástroje si můžeme znázornit prostým modelem /obr. 3.4./. Brousící zrna /1/ jsou navzájem propojena pojivovými můstky /2/, mezi kterými vznikají volná místa - - póry /3/.



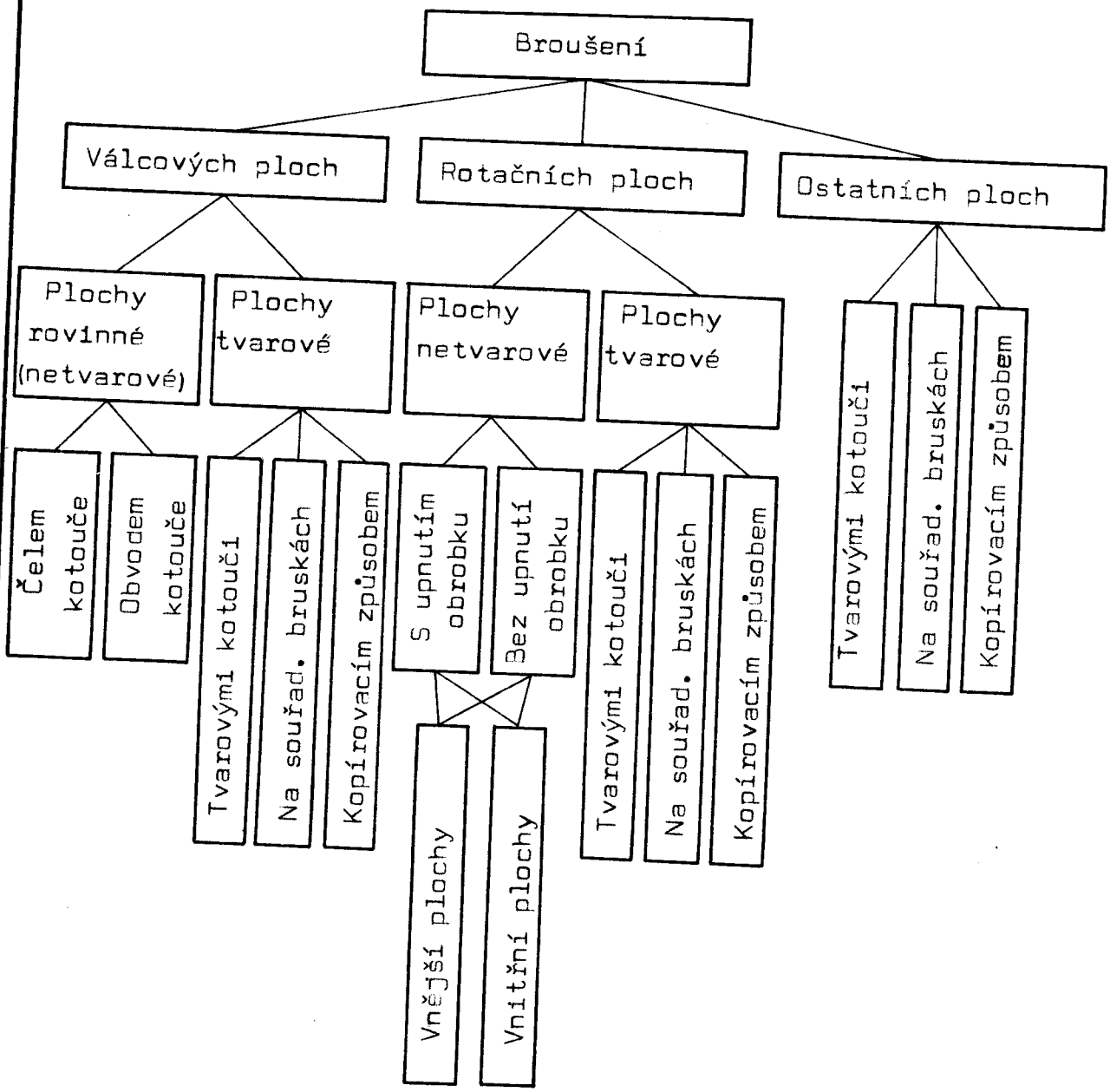

obr. 3.4. Schematické znázornění stavby brousícího kotouče

Jsou-li vázaná zrna upevněna na nosném podkladě /obr. 3.5./, pak je jejich vzájemná vazba odlišná od předcházejícího modelu.




obr. 3.5. Schematické znázornění stavby brousícího pásu

Na nosném podkladě /3/ je na jeho jedné straně lepidlem /2/ rovnoměrně upevněna vrstva brusiva /1/. Brousící nástroj bývá ve tvaru brousícího pásu, papíru, plátna apod. podle toho, co tvoří nosný podklad.




obr. 3.6. Návrh rozdělení procesu broušení z hlediska obráběných ploch

ad 2./ Jak je ze schematu na obr. 3.6. zřejmé, rozděluji plochy při broušení obdobně jako Rodin /12/ ve své práci o navrhování řezných nástrojů, a to na plochy válcové, rotační a dále plochy, které nemůžeme zařadit do žádné z předcházejících skupin.

Aby bylo možno aplikovat toto rozdělení na konkrétní případy, je třeba určit, kdy se o jakou plochu jedná.

Válcová plocha je taková plocha, která vznikla pohybem tvořící přímky, která má v daném okamžiku ve všech bodech stejný směr, smysl a rychlost pohybu. Vedeme-li řez kolmý na soustavu rovnoběžných přímek, ze kterých se válcová plocha skládá, pak normálná křivost v jednotlivých místech řezu může být různá. V tom případě se pak dá hovořit o ploše válcové tvarové. Jestliže je ve všech bodech plochy nekonečně velký poloměr zakřivení, pak se jedná o plochu válcovou rovinnou /netvarovou/. V případě, že je plocha tvořena soustavou válcových rovinných případně válcových tvarových ploch, pak s touto plochou pracujeme jako s plochou válcovou tvarovou.

Pozn.: Plášť válce tvoří plocha kruhová válcová, která je však zároveň plochou rotační. Poněvadž je způsob broušení válce analogický s broušením ostatních rotačních ploch, neboť obrobek koná rotační pohyb, zahrnuji válec mezi plochy rotační.

Rotační plocha je taková plocha, která vznikla rotací křivky kolem osy, podle níž je osově symetrická. Rotační plochy můžeme dále dělit na plochy tvarové a netvarové v závislosti na druhu rotující křivky. Koná-li rotační pohyb přímka, pak vzniká plocha rotační netvarová, jejímž typickými představiteli je válec a kužel. Při rotaci ostatních křivek vzniká plocha rotační tvarová.

Pozn.: Zvláštním případem je hyperboloid, jež vzniká rotací přímky mimoběžné s osou rotace. S ohledem na to, že lze týž tvar získat rotací křivky kolem osy, čehož se využívá při broušení hyperboloidu pomocí tvarových kotoučů, přiřazuji hyperboloid k plochám rotačním tvarovým.

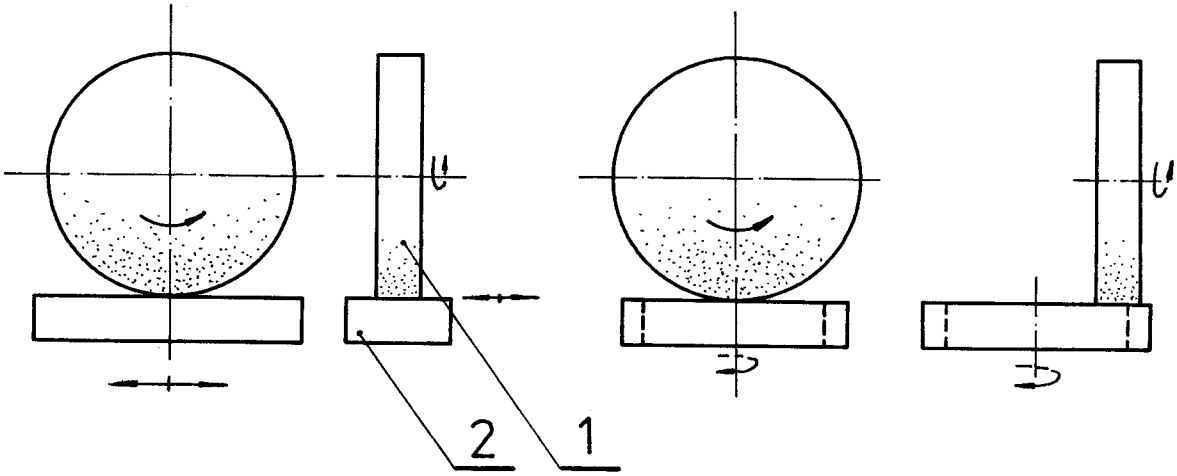
Ostatní plochy, to znamená ty, které nemůžeme přiřadit ani k plochám válcovým ani k rotačním, tvoří zvláštní skupinu. Tyto plochy se brousí méně často a větší uplanění nacházejí hlavně plochy šroubové.

## 3.2. Popis nejběžnějších způsobů broušení

Pro úplnost dále uvádím stručný popis základních způsobů broušení.

Při broušení válcových rovinných ploch se rozlišují dva typy broušení: obvodem brousícího kotouče a čelem kotouče. Při broušení obvodem kotouče /obr. 3.7./ osa nástroje je rovnoběžná s obráběným povrchem součásti. Stůl brusky vykonává buď přímočarý vratný pohyb nebo pohyb kruhový. Koná-li stůl přímočarý vratný pohyb a je-li šířka brousícího kotouče menší než šířka obráběného povrchu, pak v jedné nebo obou úvratích se pracovní stůl posune v příčném směru o hodnotu příčného zdvihu, který se řídí šířkou kotouče. Je-li kotouč širší než obráběná šířka, pak se jedná o tzv. zapichovací způsob. Při kruhovém pohybu stolu se brousící kotouč posouvá od obvodu pracovního stolu k jeho středu.

Širší plochy je výhodné brousit čelem kotouče /obr. 3.8./, přičemž je osa nástroje kolmá na obráběný povrch. Broušení čelem brousícího kotouče je výkonnější než broušení obvodem, protože do styku s obrobkem přichází větší plocha brousícího kotouče. Tento způsob broušení je však méně přesný a hodí se proto na hrubší práce. Při tomto způsobu používáme zpravidla brousící kotouč většího průměru než je šířka broušené plochy. Stůl proto vykonává pouze přímočarý vratný pohyb, případně pohyb kruhový.



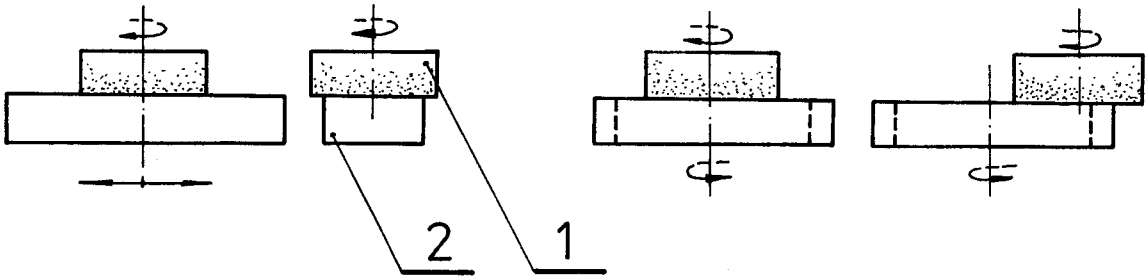

a/ b/

obr. 3.7. Broušení válcových rovinných ploch obvodem kotouče:

a/ s posuvným pohybem obrobku

b/ s rotačním pohybem obrobku

1 - brousící kotouč; 2 - obráběná součást




a/ b/

obr. 3.8. Broušení válcových rovinných ploch čelem kotouče:

a/ s posuvným pohybem obrobku

b/ s rotačním pohybem obrobku

1- brousící kotouč; 2 - obráběná součást

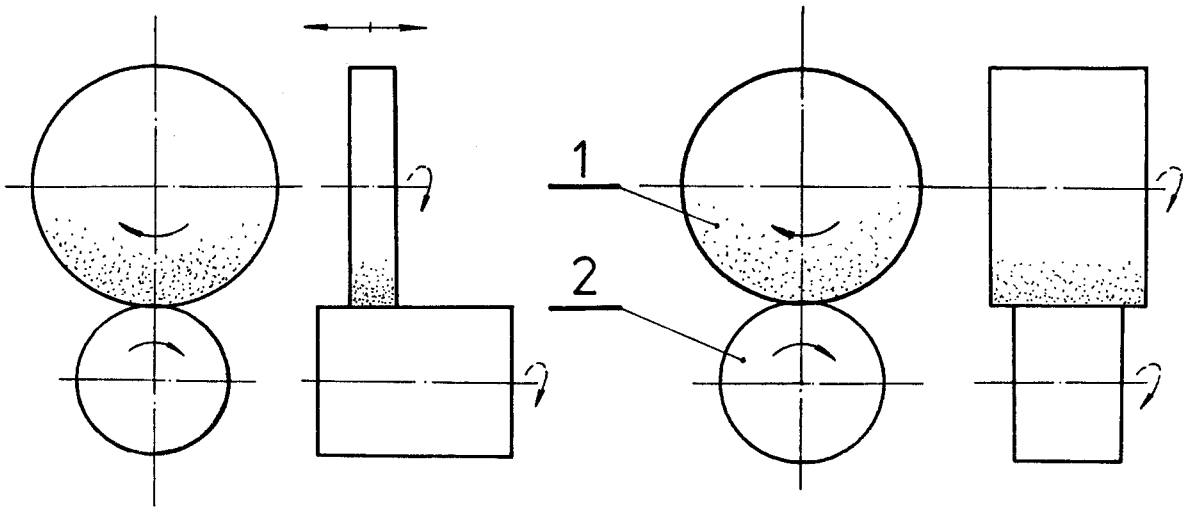
Broušení válcových tvarových ploch se nejčastěji provádí pomocí tvarového kotouče, jehož profil je negativní k vytvářeřenému profilu broušené součásti. Princip tohoto způsobu broušení je totožný s broušením rovinných ploch obvodem kotouče

zapichovacím způsobem. Válcové tvarové plochy se mohou dále brousit na souřadnicových bruskách nebo kopírovacím způsobem podle šablony.

Broušení rotačních netvarových ploch můžeme rozdělit na broušení s upnutím obrobku a broušení bez upnutí obrobku podle toho, zda obráběná součást je či není upnuta v upínacím zařízení. Každou z těchto skupin můžeme dále rozdělit na broušení vnitřních nebo vnějších ploch.

V případě broušení vnějších rotačních netvarových ploch s upnutím obrobku koná součást rotační pohyb kolem své osy stejně jako brousící kotouč, který se svým povrchem dotýká vnějšího povrchu součásti. Obvodová rychlost brousícího kotouče je přitom mnohokrát větší než obvodová rychlost obrobku. Osy otáčení kotouče a obrobku jsou obvykle navzájem rovnoběžné. / Pouze táhlé kužely se brousí natočením stolu brusky o příslušný úhel, natočením pracovního vřeteníku nebo natočením brousícího vřeteníku. Zřídka se také vyskytuje způsob broušení, při kterém jsou osy nástroje a obrobku navzájem kolmé./ Obdobně jako v případě broušení rovinných ploch obvodem kotouče může být i zde šířka brousícího kotouče menší než délka obráběného povrchu součásti. Pak koná nástroj nebo obrobek navíc posuvný pohyb ve směru osy brousícího kotouče / obr. 3.9.a/. Při broušení menších a středních obrobků koná tento pohyb stůl brusky s obrobkem, při broušení velkých těžkých součástí pak brousící vřeteník s kotoučem. Brousící kotouč vykonává další pracovní pohyb - přísuv v radiálním směru k broušenému obrobku. Tento pohyb, kterým se určuje hloubka odbrušované vrstvy materiálu, vykonává brousící kotouč po projetí celé délky obrobku, a to buď v jedné nebo obou úvratích stolu.

Produktivnější je způsob zapichovací /obr. 3.9.b/, při němž se brousí daná plocha kotoučem, jehož šířka je o něco málo větší než šířka broušené plochy. Brousící kotouč přitom vykonává pouze plynulý radiální posuv.




a/ b/

obr. 3.9. Broušení vnějších netvarových rotačních ploch s upnutním obrobku:

a/ s posuvem kotouče / obrobku/ podél vlastní osy

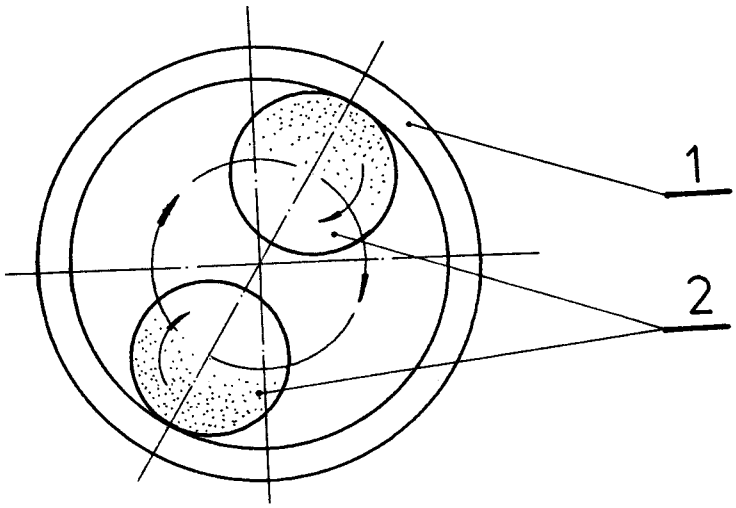
b/ zapichovací způsob

1 - brousící kotouč; 2 - obráběná součást

Při broušení vnitřních rotačních ploch s upnutím obrobku existují dva možné způsoby: s pohybující se součástí nebo s nepohybující se součástí. V prvém případě se obrobek i brousící kotouč otáčejí kolem rovnoběžných os obdobně jako při vnějším rotačním broušení, ale průměr brousícího kotouče musí být vždy menší než průměr obráběného otvoru. Vnitřní broušení se častěji než zapichovacím způsobem provádí s posuvem brousícího kotouče podél vlastní osy. Hlavním problémem, který se při této metodě

broušení objevuje, je to, že průměr nástroje musí být menší než obráběný otvor součásti, takže dochází i ke zmenšení průměru trnu brousícího kotouče. To vede ke snížení tuhosti systému a zvětšení nepřesnosti rozměru součásti.

Vnitřní rotační broušení součástí velkých rozměrů se někdy provádí způsobem, při kterém se obrobek neotáčí kolem své osy, jak tomu bylo v předcházejícím případě. Při této metodě se brousící kotouč otáčí nejen kolem své osy, ale i kolem osy obráběného otvoru. Tzv. planetový způsob je naznačen na obr. 3.10.

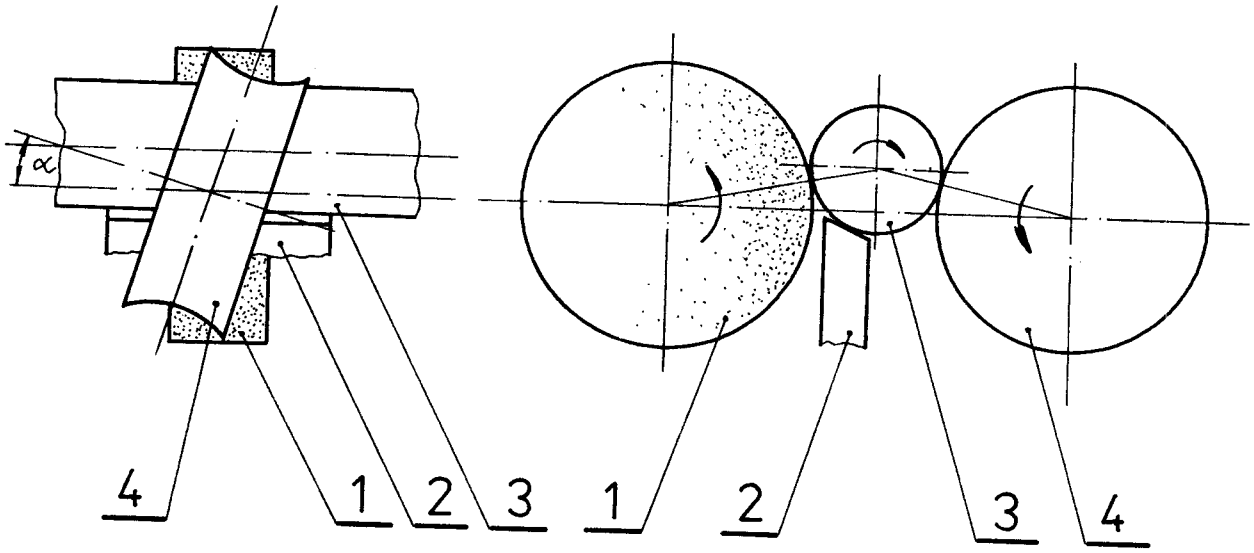



obr.3.10. Planetový způsob broušení
1 - obráběná součást; 2 - brousící kotouč

Broušení rotačních netvarových ploch bez upnutí obrobku se používá převážně při konečném opracovávání tyčí kruhového průřezu válcovaných za tepla nebo za studena. Tímto způsobem můžeme obrábět i kuželové povrchy a osazení hřídele. Tato metoda má řadu výhod, jakou je např. možnost přesně obrábět i dlouhé hřídele. Proces broušení obrobku probíhá automaticky v důsledku vznikajícího tření mezi obráběnou součástí a unášecím kotoučem.

Metodou broušení bez upnutí obrobku lze obrábět jak vnější tak i vnitřní povrchy.

Nejčastější způsob broušení vnějších rotačních netvarových ploch bez upnutí obrobku je naznačen na obr. 3.11.



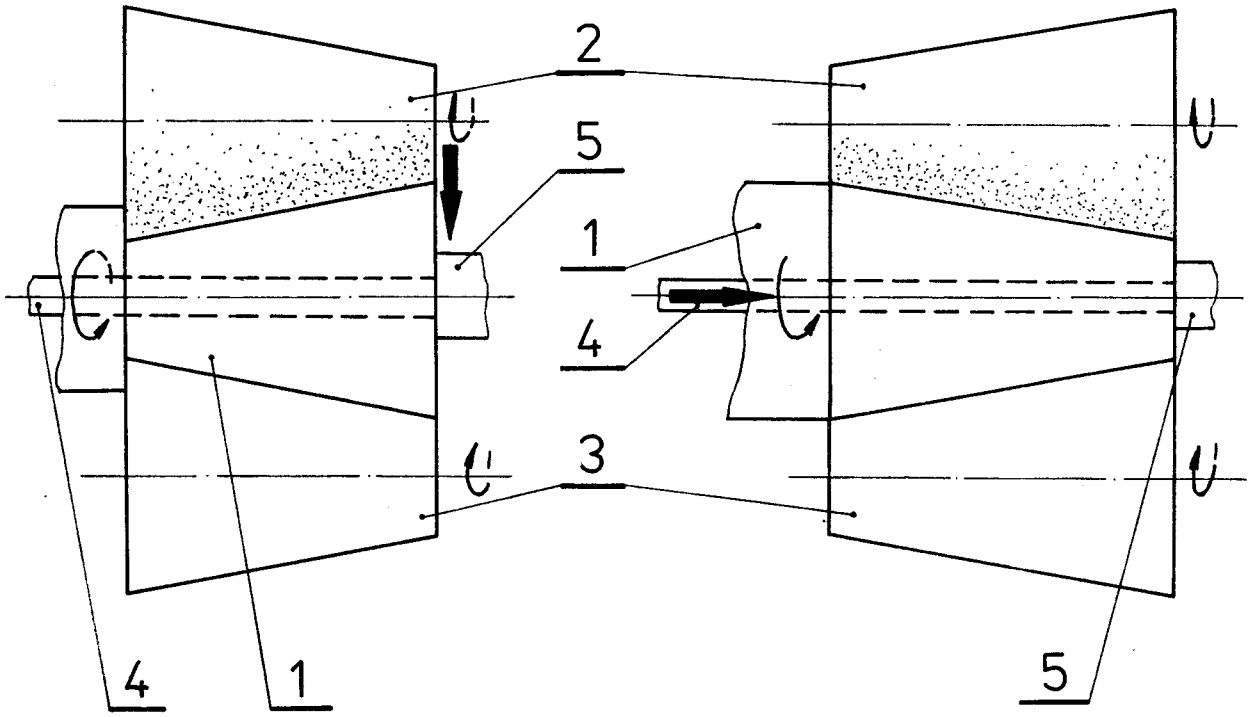

obr.3.11. Broušení vnějších netvarových rotačních ploch bez upnutí obrobku s posuvem na záběr

1 - brousící kotouč; 2 - opěrný nůž; 3 - obráběná součást; 4 - unášecí kotouč

Unášecí kotouč se otáčí s menší rychlostí než pracovní brousící kotouč, čímž vyvozuje rotační pohyb součásti. Povrchová vrstva obrobku se částečně odebírá přidržovacím nožem, kterým lze regulovat polohu součásti. Posuv obrobku podél osy se získává nakloněním osy unášecího kotouče a úhel $\alpha$, který se volí u krátkých obrobků od $1^{o}$ do $2,5^{o}$a při broušení tyčového materiálu od $3^{o}$do $5^{o}$, příp. i více. Rychlost posuvu obrobku podél vlastní osy závisí na velikosti tohoto úhlu a na rychlosti unášecího kotouče. Aby unášecí kotouč mohl vést obráběnou součást je nutné, abychom získali přímkový a nikoliv bodový styk.

Proto mívá unášecí kotouč zvláštní tvar. Osa otáčené součásti bývá obvykle výše než spojnice středů brousícího a unášecího kotouče. Kdyby tomu tak nebylo, docházelo by při práci k silné vibraci ve směru spojnic středů a tím ke zhoršení kvality obráběného povrchu.

Mimo tohoto způsobu se používá při broušení vnějších netvarových rotačních ploch bez upnutí obrobku ještě způsob zapichovací nebo broušení s posuvem na doraz. Prvý z těchto způsobů je naznačen na obr. 3.12. a/




a/ b/

obr.3. 12. Broušení vnějších netvarových rotačních ploch bez upnutí obrobku:

a/ zapichovacím způsobem

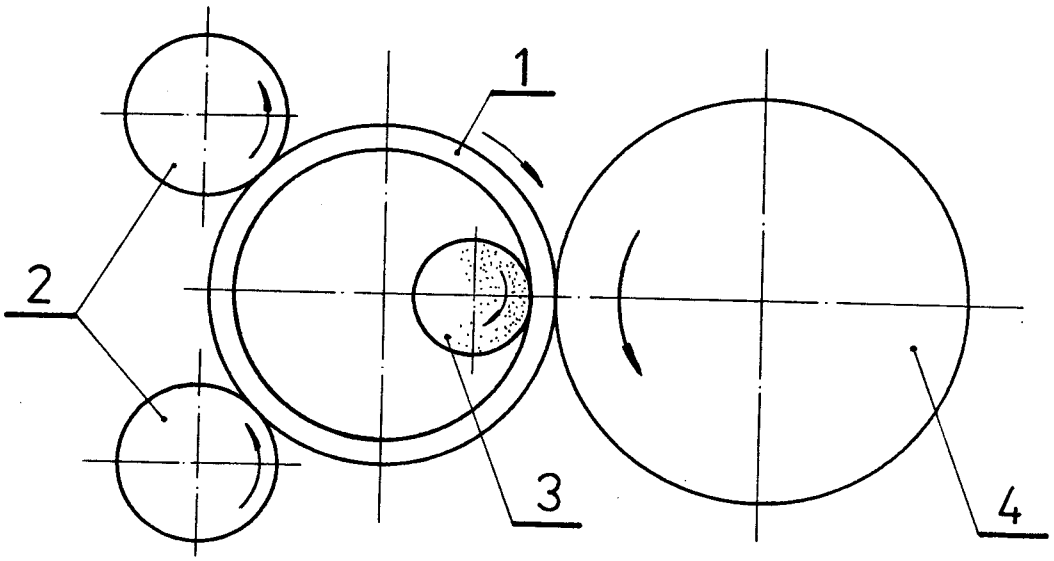
b/ s posuvem na doraz

1 - obráběná součást; 2 - brousící kotouč; 3 - unášecí kotouč; 4 - opěrný nůž; 5 - doraz

Součásti /1/ se jednotlivě vkládají mezi brousící kotouč/2/ a unášecí kotouč /3/ na podpěrný nůž /4/. Profil brousícího a a unášecího kotouče je negativní k výslednému profilu součásti. Unášecí kotouč bývá zpravidla trochu nakloněn, aby byl obrobek přitlačován na doraz /5/. Při obrábění se brousící kotouč nebo unášecí kotouč v radiálním směru stejnoměrně přisouvá, až dojede na narážku, která vymezuje předepsaný průměr obrobku.

Na obr. 3.12. b/ je naznačeno broušení vnějších netvarových rotačních ploch bez upnutí obrobku dalším způsobem, a to s posuvem na doraz. Při tomto způsobu se součást posouvá podél své osy otáčení až do okamžiku dosednutí na doraz.

V případě vnitřního broušení rotačních netvarových ploch bez upnutí obrobku /obr. 3.13./ se obvykle opěrný nůž zaměňuje dvěma opěrnými válečky. Osa otáčení obráběné součásti se může nacházet na spojnici středů brousícího a unášecího kotouče. To zabezpečuje maximální tuhost, což je velmi důležité při broušení tenkostěnných trubek. Pomocí této metody se získává soustřednost vnějšího a vnitřního povrchu součásti. Tento způsob je také vhodný na obrábění kuželových součástí.




obr. 3.13. Broušení vnitřních netvarových rotačních ploch bez upnutí obrobku

1- obráběná součást, 2 - opěrné válečky, 3 - brousící kotouč, 4 - unášecí kotouč

Obdobně jako v případě válcových ploch i plochy rotační mohou být tvarové. Ty se brousí takřka výhradně tvarovými kotouči, což je analogické se zapichovacím způsobem broušení vnějších netvarových rotačních ploch s upnutím obrobku. Možné by snad bylo brousit tyto plochy i kopírovacím způsobem nebo na souřadnicových bruskách.

Ostatní plochy, to znamená nerotační plochy, které zároveň nelze přiřadit ani k plochám válcovým, se dají rovněž brousit pomocí tvarových kotoučů, na souřadnicových bruskách nebo kopírovacím způsobem.

## 4. Výběr pojmů z oboru broušení kovů, návrh definic a označování těchto pojmů.

Při návrhu definic pojmů z oboru broušení kovů je třeba provést nejprve výběr pojmů, kterých se bude moje teoretické zkoumánítýkat. Poněvadž je v dané oblasti různých pojmů a veličin velké množství, bude možné v rámci této diplomové práce obsáhnout pouze zlomek této složité problematiky.

Při výběru jednotlivých pojmů jsem se zaměřila na ty, které se mi zdají být základní pro popis procesu broušení. Jedná se např. o výrazy jako je broušení, brousící nástroj, brousící kotouč, posuv, rychlost, síla apod. U vybraných pojmů posuzuji označování, definice a jednotky, které uvádějí různí autoři ve svých dílech, a snažím se najít nejvhodnější, případně navrhnout jiné značení a definice.

### 4. 1. Návrh definic nejobecnějších pojmů v oboru broušení kovů.

V této kapitole se věnuji několika nejobecnějším pojmům, které se vyskytují v oboru broušení.

V prvé řadě se zabývám definováním samotného pojmu b r o u š e n í

Maslov /1/ definuje broušení takto:

- je to hromadné mikrořezání povrchových vrstev tělesa velmi jemnými zrny brusiva stmelenými pojivem v nástroj. Proces probíhá při značných rychlostech a dosahuje se velké přesnosti.

Dráb /13/ ve své práci uvádí tuto definici broušení:

- je to způsob obrábění, při kterém je materiál odebírán břity tvořenými zrny brusného materiálu. Brusná zrna jsou

buď spojena do požadovaného tvaru brusného nástroje, nebo jsou volná a přitlačována k broušenému povrchu součásti deskou, trnem nebo materiálem, jež má negativní tvar obráběné plochy.

V prvé definici se hovoří poze o vázaném brusivu, zatímco broušení se může provádět i pomocí volného brusiva. Tato skutečnost by se tedy měla také v definici broušení objevit.
V definici Drába se sice již hovoří o broušení volnými brusnými zrny, ale pouze v té souvislosti, že jsou přitlačována jiným materiálem k broušenému povrchu. To je však pouze jeden z možných způsobů broušení volným brusivem.

Navrhuji tedy následující znění definice pojmu broušení:

- je to způsob obrábění, při kterém dochází při vysokých rychlostech k úběru povrchových vrstev broušeného tělesa zrny brusiva. Ta jsou buď spojena do požadovaného tvaru brousícího nástroje nebo jsou volná.

B r o u s í c í  n á s t r o j charakterizují někteří autoři takto:

Maslov /1/: - je to řezný nástroj, který se skládá ze zrn brusiva stmelených v celek pojivem. Může mít tvar kotouče, brousícího tělíska, segmentu, pásu ...

Stanovisko ČSSR k úkolu RVHP /9/:
- je to obráběcí nástroj určený pro broušení.

ČSN 224011 /15/ - brusná zrna jsou spojená pojivy v tuhá tělesa vhodného tvaru, tvrdosti/ soudržnosti/ a slohu /struktury/, takže lze jimi obrušovat jiné hmoty, aby měly předepsaný hladký

nebo lesklý povrch nebo tvar a rozměry anebo obojí.

Domnívám se, že definice v normě ČSN týkající se brousícího nástroje je zbytečně rozsáhlá a tím ztrácí na přehlednosti. Navíc se zde hovoří pouze o tuhých tělesech, zatímco brousícím nástrojem může být i pružný pás. Zbývající dvě definice jsou vhodnější, takže v souvislosti s nimi navrhuji tuto definici pojmu brousící nástroj:

- je to obráběcí nástroj určený pro broušení, který se skládá ze zrn brusiva stmelených do požadovaného tvaru.

Pojem b r o u s í c í k o t o u č je definován velmi podrobně v normě ČSN 224501 /14/:

- je to brousící rotační nástroj, který se při práci otáčí kolem své osy a relativně se přisouvá k obrobku ve stejném nebo jiném směru než je osa otáčení, odebíráním velmi jemných třísek vytváří brousící kotouč přesné rozměry a správný geometrický tvar obrobků nebo jejich hladký a lesklý povrch nebo obojí.

Ve Stanovisku ČSSR k úkolu RVHP /9/ se hovoří o brousícím kotouči takto:

- je to brousící nástroj ve formě pevného rotačního tělesa.

Obdobně jako v případě brousícího nástroje se domnívám, že je definice v normě ČSN příliš obsáhlá. Je zbytečné při definování brousícího kotouče uvádět, jaké tento nástroj koná pohyby a vyjmenovávat, čeho lze při jeho použití dosáhnout. Plně souhlasím s druhou definicí, která se mi zdá být stručná a jasná.

Je zřejmé, že se v procesu broušení velmi často vyskytuje pojem z r n o b r u s i v a příp. brousící zrno.

Černý a Pospíšil /8/ definují tento pojem takto:

- je to částice nebo krystal brusné hmoty.

V práci Maslova /1/ jsem se setkala s touto definicí zrna brusiva:

- je to část brusného materiálu ve tvaru nepravidelných mnohostěnů se zaoblenými vrcholy.

Obdobné je i Stanovisko ČSSR k úkolu RVHP /9/:

- je to částečka brusného materiálu ve formě monokrystalu, polykrystalu nebo jejich úlomků.

Je patrné, že se předcházející definice příliš neliší. V souladu s nimi navrhuji následující znění definice pojmu zrno brusiva:

- je to částice brousícího materiálu ve formě mnohostěnu.

## 4. 2. Výběr pojmů týkajících se kinematiky procesu broušení a jejich rozbor na metodě broušení válcových rovinných ploch.

Dále se zaměřím na pojmy, které souvisí s kinematikou procesu broušení. Jak již bylo řečeno, nejobvyklejším brousídím nástrojem je kotouč, a proto se budu nadále věnovat pouze způsobům broušení pomocí brousícího kotouče.

V této kapitole se věnuji rozboru broušení válcových rovinných ploch, a to jak obvodem tak i čelem kotouče. V následující kapitole se pak snažím aplikovat získané poznatky na metodu broušení vnějších rotačních netvarových ploch s upnutím obrobku.

Velice častým pojmem používaným při všech způsobech obrábění je p o s u v , který může být definován např. takto:

Saljé, Brandin /2/:

- s /mm/; je to dráha, kterou urazí nástroj ve směru posuvu relativně k obrobku na jeden zdvih nebo jednu otáčku obrobku. Směr posuvu je směr takového pohybu mezi nástrojem a obrobkem, který by spolu s řezným pohybem vyvolal trvalý nebo vícenásobný odběr třísek během jednoho zdvihu nebo jedné otáčky.

Kubík, Kvapil /6/:

- je to složka výsledného řezného pohybu daná pohybem nástroje nebo obrobku, která spolu s hlavním řezným pohybem umožňuje obrábění.

Kvapil, Gabriel /5/:

- f, pro vícebřité nástroje $f_z$; je to posunutí nástroje vzhledem k obrobku ve směru posuvného pohybu.

Z předcházejících definic je zřejmé, že je posuv někdy chápán jako pohyb nástroje, jindy jako dráha nástroje nebo posunutí nástroje vzhledem k obrobku. Domnívám se, že v případě, že by se posuv uvažoval jako posunutí nástroje vzhledem k obrobku, bylo by nutno vztáhnout toto posunutí k určitému časovému intervalu. Brousící kotouč můžeme sice považovat za vícebřitý nástroj, ovšem počet brousících zrn a tedy břitů je tak velký, že lze pouze teoreticky vztáhnout toto posunutí na jeden zub. Ani definice Saljé, Brandina se mi nezdá být nejvhodnější, a proto se přikláním k názoru, že posuv je pohyb nástroje příp. obrobku v určitém směru.

Obecně navrhuji posuv definovat jako-

- relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku, který se realizuje ve směru posuvu.

Je třeba brát v úvahu to, že se relativní pohyb nástroje může uskutečňovat v různých směrech. Aby se dalo jednoznačně určit o jaký posuv se jedná, zavádím tři směry posuvu, které navzájem tvoří pravoúhlou souřadnicovou soustavu.

Při volbě označování jednotlivých posuvů vycházím z návrhu normy ISO/TC 29 /19/, která se zabývá procesem broušení. Jak jsem již v úvodu uvedla, bylo by vhodné, kdyby se naše normy shodovaly nejen s normami ostatních socialistických států ale i s normami západních kapitalistických zemí. Uvedený návrh normy ISO je velmi dobře a podrobně rozpracován, a proto se domnívám, že je vhodné vycházet z některých poznatků, které tam jsou uvedeny. V souvislosti s tím tedy zavádím tři druhy posuvů - axiální, radiální a tangenciální, jejichž směry vyplývají z polohy brousícího kotouče. Obecně posuv označuji f a index vyjadřuje o jaký posuv se konkrétně jedná. Budu-li tedy posuv uvažovat jako pohyb, pak bude jednoznačně určen směrem, smyslem a rychlostí pohybu.

Jednotlivé směry posuvů navrhují definovat následovně:

<u>Směr axiálního posuvu</u> - je to směr rovnoběžný s osou rotace brousícího kotouče

<u>Směr radiálního posuvu</u> - je to směr rovnoběžný s radiálním směrem brousícího kotouče, jež je kolmý na obrobenou plochu.

<u>Směr tangenciálního posuvu</u> - je to směr rovnoběžný s tangenciálním směrem brousícího kotouče,

jež je kolmý současně na směr axiálního a radiálního posuvu.

Je zřejmé, že při broušení rovinných ploch obvodem a čelem kotouče, si směry axiálního a radiálního posuvu navzájem neodpovídají, neboť nastavení brousícího kotouče vzhledem k obráběné ploše se v daných případech liší.

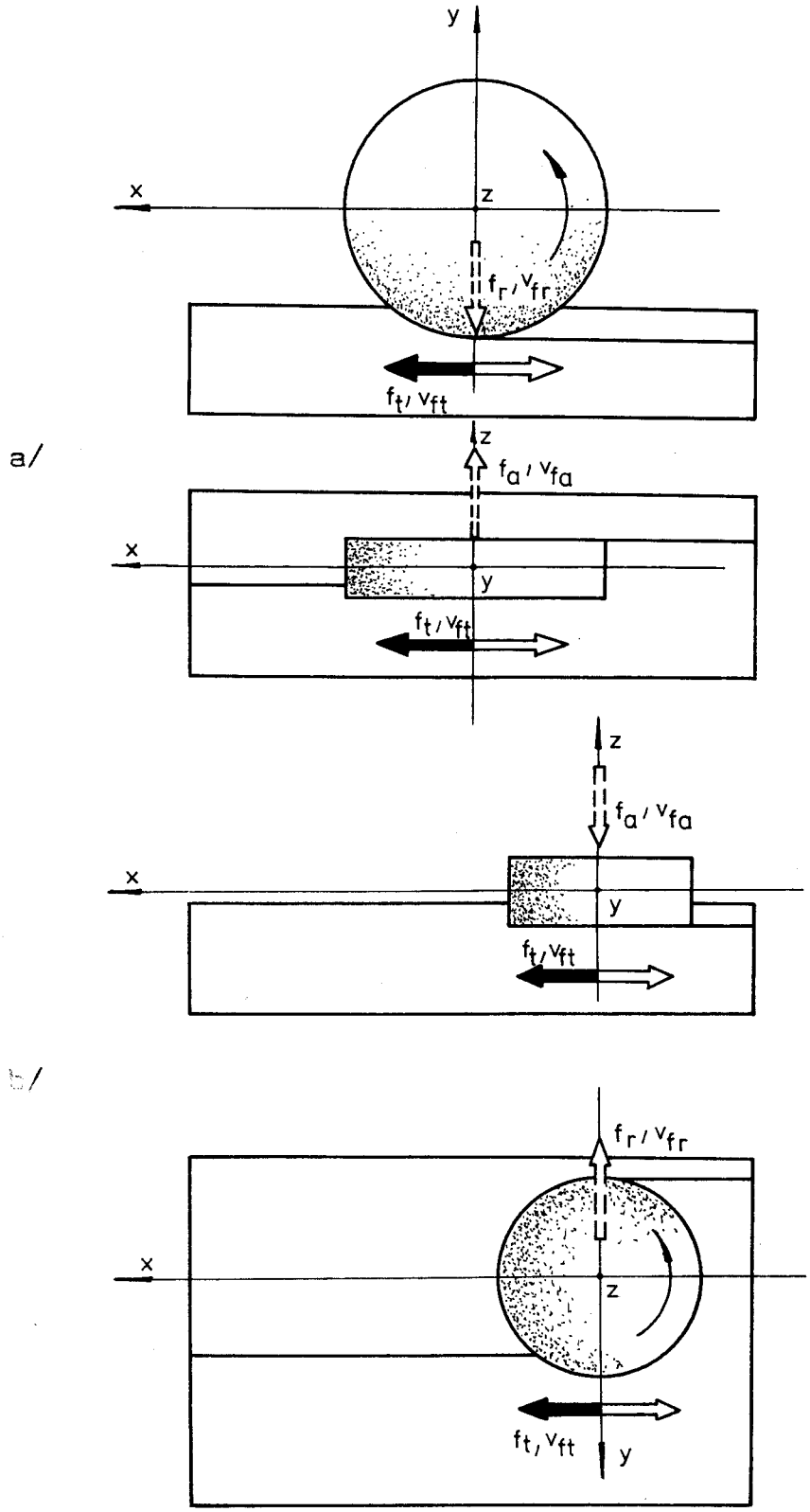
V souvislosti s obecnou definicí posuvu a s předcházejícími definicemi směrů posuvů lze jednotlivé posuvy charakterizovat takto:

Axiální posuv - $f_a$ - je to relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku, který se realizuje ve směru rovnoběžném s osou brousícího kotouče.

Radiální posuv - $f_r$ - je to relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku, který se realizuje ve směru rovnoběžném s radiálním směrem brousícího kotouče, jež je kolmý na obrobenou plochu.

Tangenciální posuv - $f_t$ - je to relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku, který se realizuje ve směru rovnoběžném s tangenciálním směrem brousícího kotouče, jež je kolmý současně na směr axiálního a radiálního posuvu.

Jednotlivé posuvy a jim odpovídající rychlosti jsou znázorněny na obr. 4.1.Pro názornost je tam navíc uvedena i normální souřadnicová soustava pro rovinnou brusku dle oborové normy ON 200667 a doporučené ISO R 841.V kladném smyslu os x,y,z je možno uvažovat i kladné směry posuvů.




obr. 4.1. Znázornění posuvů a normální souřadnicové soustavy při broušení válcových rovinných ploch.

a/ obvodem brousícího kotouče

b/ čelem brousícího kotouče

R y c h l o s t  p o s u v u je definována normou ČSN 22 0010 takto:

- $v_f$ /$ms^{-1}$/, je to okamžitá relativní rychlost uvažovaného bodu ostří ve směru posuvu. /16/

Při respektování této normy je třeba zvlášť rozlišit rychlost axiálního posuvu, radiálního posuvu a rychlost tangenciálního posuvu. Značení jednotlivých rychlostí se bude lišit obdobně jako značení posuvů pouze příslušným indexem.

Pokud se týká jednotek, jsou rychlosti posuvů rovny maximálně $mm.s^{-1}$. Poněvadž je snaha uvádět jako jednotku rychlosti $m.s^{-1}$, bylo by v případě broušení vhodnější z hlediska přehlednosti zavést $10^{-3}.m.s^{-1}$.

Definice jednotlivých rychlostí posuvů by tedy vypadaly následovně:

<u>Rychlost axiálního posuvu</u> - $v_{fa}$ /$10^{-3}.m.s^{-1}$/

- je to okamžitá relativní rychlost uvažovaného bodu ostří brousícího zrna ve směru axiálního posuvu

<u>Rychlost radiálního posuvu</u> - $v_{fr}$ /$10^{-3}.m.s^{-1}$/

- je to okamžitá relativní rychlost uvažovaného bodu ostří brousícího zrna ve směru radiálního posuvu

<u>Rychlost tangenciálního posuvu</u> - $v_{ft}$ /$10^{-3}.m.s^{-1}$/

- je to okamžitá relativní rychlost uvažovaného bodu ostří brousícího zrna ve směru tangenciálního posuvu

V případě broušení válcových rovinných ploch se však

při styku brousícího kotouče s obrobkem realizuje pouze rychlost tangenciálního posuvu $v_{ft}$ a $v_{fa} = v_{fr} = 0$. Axiální a radiální posuv se totiž uskutečňují přerušovaně, a to ve formě skoků po vyjetí nástroje ze styku s obrobkem. Proto jsou tyto posuvy a jim odpovídající rychlosti znázorněny na obr. 4.1. čárkovaně na rozdíl od tangenciálního posuvu, který probíhá plynule.

Dále tedy definuji dráhu, která odpovídá jednotlivým skokům ve směru radiálního nebo axiálního posuvu.

V případě broušení rovinných ploch obvodem brousícího kotouče navrhuji tyto definice:

<u>Axiální úběr</u> - $a_a$ /$10^{-3}$m/

- je to dráha, o kterou se posune nástroj relativně k obrobku ve směru axiálního posuvu po odebrání vrstvy materiálu o šířce menší nebo rovné šířce brousícího kotouče

<u>Radiální úběr</u> - $a_r$ /$10^{-3}$m/

- je to dráha, o kterou se posune nástroj relativně k obrobku ve směru radiálního posuvu po odebrání vrstvy materiálu na dané obráběné ploše

U broušení čelem kotouče odpovídá směru axiálního posuvu směr radiálního posuvu v případě broušení obvodem kotouče a naopak. Proto budou definice broušení čelem kotouče vypadat následovně:

<u>Axiální úběr</u> - $a_a$ /$10^{-3}$m/

- je to dráha, o kterou se posune nástroj relativně k obrobku ve směru axiálního posuvu po odebrání

vrstvy materiálu na dané obráběné ploše.

Radiální úběr - $a_r$ / $10^{-3}$m /

- je to dráha, o kterou se posune nástroj relativně k obrobku ve směru radiálního posuvu po odebrání vrstvy materiálu o šířce menší nebo rovné průměru brousícího kotouče.

Značení jednotlivých úběrů se liší pouze v tom, že indexy jsou dány odpovídajícími směry posuvů. Jak již bylo řečeno, úběr je dráha, a proto je třeba ji udávat v metrech. Skutečné velikosti úběru jsou však mnohem menší, a proto jako jednotku uvádím $10^{-3}$m.

Schematické znázornění jednotlivých úběrů je na obr.4.2.

Dalším pojmem vyskytujícím se v procesu broušení je

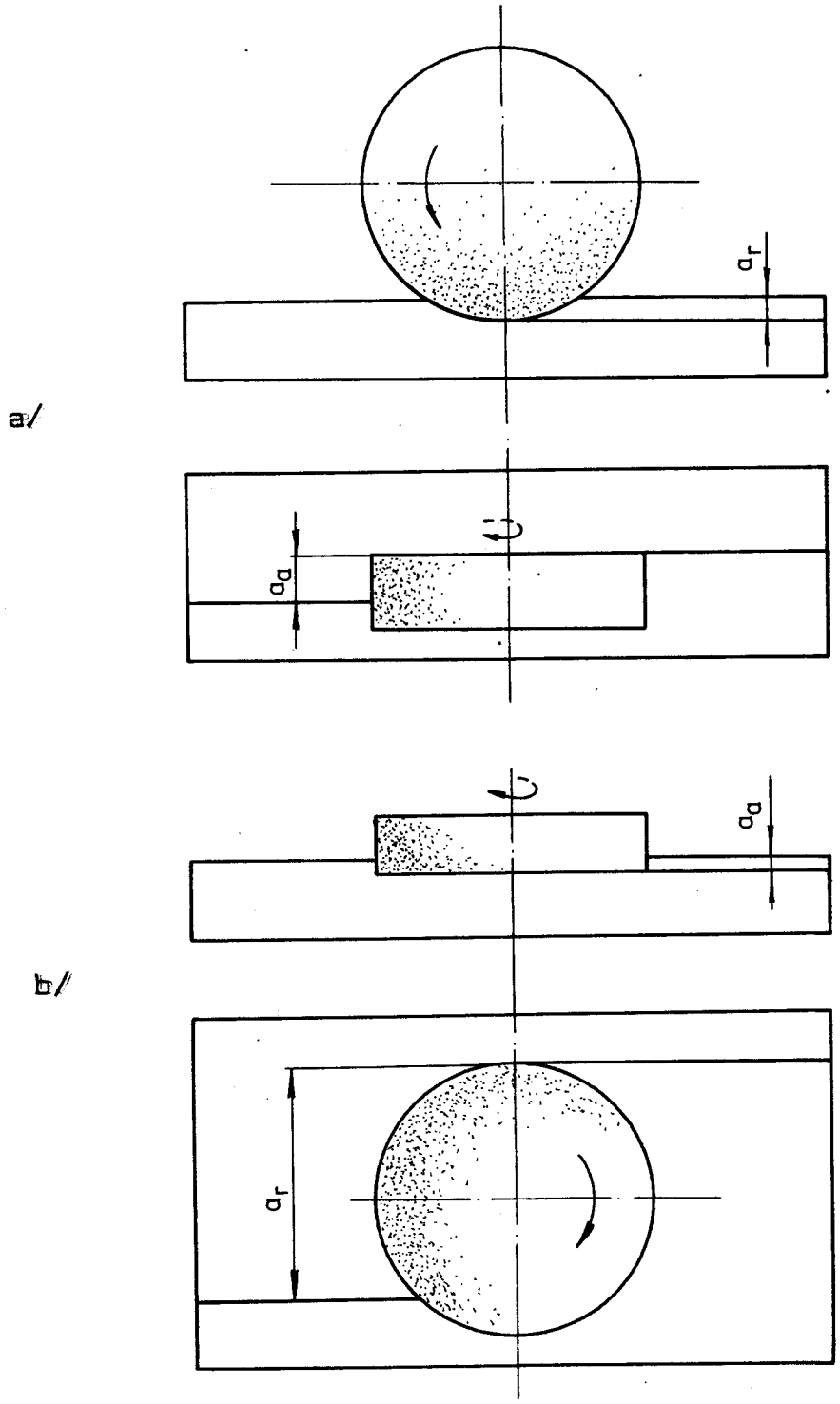
h l a v n í ř e z n ý p o h y b.

Kutík, Kvapil /6/ ho definují takto:

- je to relativní pohyb nástroje nebo obrobku, obvykle určovaný řeznou rychlostí a podmiňující řezný proces.

Jak již bylo dříve řečeno, je při broušení obvodová rychlost kotouče mnohem větší než rychlost pohybu obrobku, a proto ji považujeme za řeznou rychlost. V souladu s předcházející definicí Kutíka a Kvapila pak můžeme hlavní řezný pohyb při broušení definovat takto:

- je to rotační pohyb brousícího kotouče, který je určen obvodovou rychlostí nástroje a podmiňuje řezný proces.




obr. 4.2. Schematické znázornění axiálního a radiálního úběru při broušení válcové rovinné plochy

a/ obvodem brousícího kotouče

b/ čelem brousícího kotouče

V souvislosti s tím lze definovat <u>směr hlavního řezného pohybu</u> takto:

- je to směr daný vektorem rychlosti hlavního řezného pohybu v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna.

Rychlost hlavního řezného pohybu označujeme za ř e z n o u r y c h l o s t a definuje ji norma ČSN 220010 /16/ následovně:

- $v_c$ /m.s$^{-1}$/ , je to okamžitá relativní rychlost uvažovaného bodu ostří ve směru hlavního řezného pohybu / obr. 4.3. /

Jak již bylo uvedeno, řezná rychlost je v procesu broušení shodná s obvodovou rychlostí brousícího kotouče.Proto by se mělo upustit od značení obvodové rychlosti kotouče neodpovídajícími symboly jako je např. $v_k$ a nadále by se měla tato rychlost označovat $V_c$.To souhlasí s návrhem normy ISO a některými dalšími autory.Domnívám se, že v souladu s tím by bylo vhodné označovat úhlovou rychlost brousícího kotouče $\omega_c$ /rad/ a otáčky $n_c$ / s$^{-1}$ /.Pro výpočet řezné rychlosti platí vztah

$$v_c = \pi \cdot d_k \cdot n_c$$

kde symbol $d_k$ značí průměr brousícího kotouče / $10^{-3}$m /.

Pro úplnost je třeba ještě definovat výsledný řezný pohyb, směr výsledného řezného pohybu a rychlost výsledného řezného pohybu.

Dráb /13/ definuje v ý s l e d n ý ř e z n ý p o h y b jako: - geometrický součet relativního pohybu nástroje a obrobku v řezném procesu

Domnívám se, že by se v této definici mělo uvést, v jakém místě je tento pohyb definován. Výsledný řezný pohyb navrhuji definovat takto:

- je to geometrický součet hlavního řezného pohybu a posuvů v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna.

Analogicky se směrem hlavního řezného pohybu lze definovat směr výsledného řezného pohybu následovně:

- je to směr daný vektorem rychlosti výsledného řezného pohybu v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna.

Rychlost výsledného řezného pohybu definuje Dráb /13/ jako:

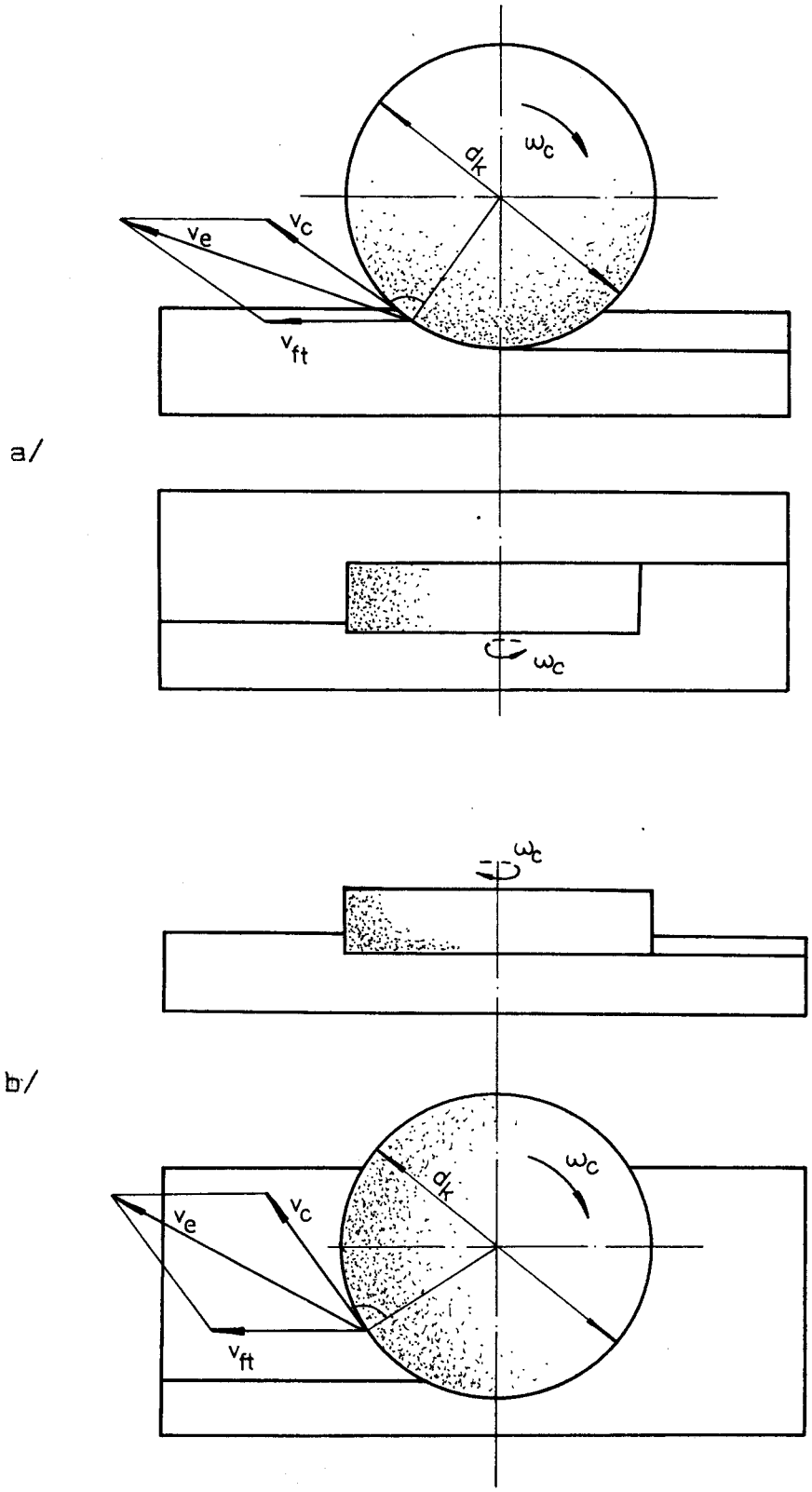
- $v_e$ / $m.s^{-1}$/ okamžitý geometrický součet řezné rychlosti a rychlosti posuvu.

Saljé, Brandin /2/ nazývají tuto rychlost efektivní a hovoří o ní jako o :

- $v_{eff}$ / $m.s^{-1}$/ momentální rychlosti pozorovaného bodu břitu ve směru působení. Směr působení je směr výsledného pohybu složený z řezného pohybu a současně prováděného posuvu.

Přikláním se k prvé z definic, která se mi zdá být jednodušší a názornější a navrhuji definovat a značit rychlost výsledného řezného pohybu takto:

- $v_e$ / $m.s^{-1}$/, je to okamžitý geometrický součet řezné rychlosti a rychlosti posuvu v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna / obr.č. 4.3. /

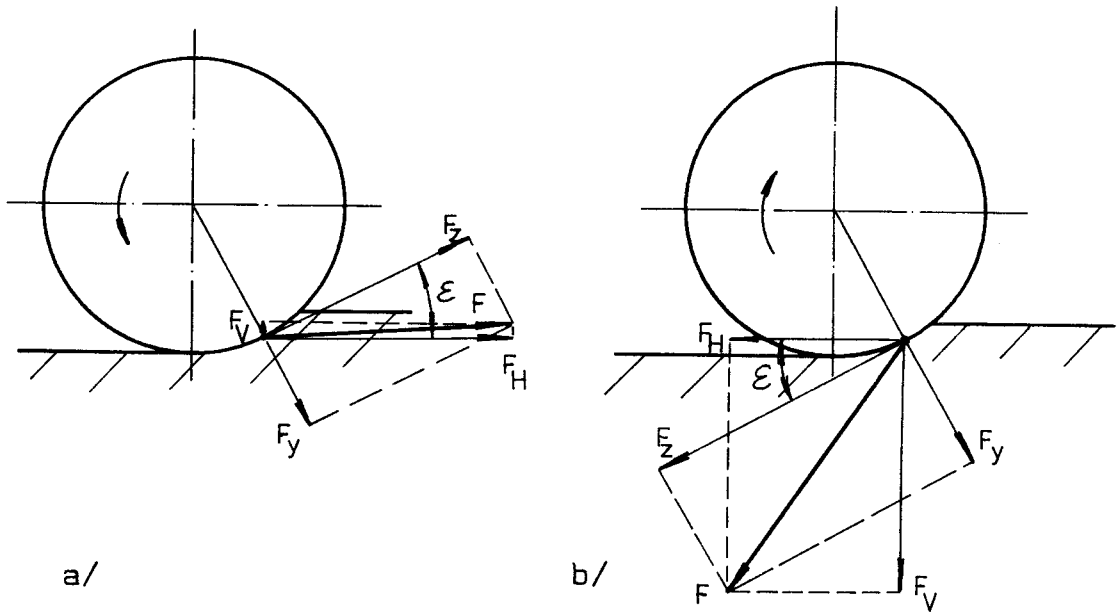



obr.4.3. Znázornění rychlosti výsledného řezného pohybu a jejích složek :
a/ obvodem brousícího kotouče
b/ čelem brousícího kotouče

Další velmi důležitou skupinu pojmů tvoří řezné síly. Při studiu této problematiky jsem se prakticky ve všech odborných dílech setkala s tím, že je otázka sil při broušení vysvětlována na příkladu broušení rotační plochy /konkrétně válce/, a proto budou definice jednotlivých autorů uvedeny později, v části věnované broušení rotačních netvarových ploch.

Jestliže však chci otázku sil zkoumat při broušení rovinných ploch, pak je třeba vycházet z poznatků o frézování rovinných ploch, což je v principu totožné.

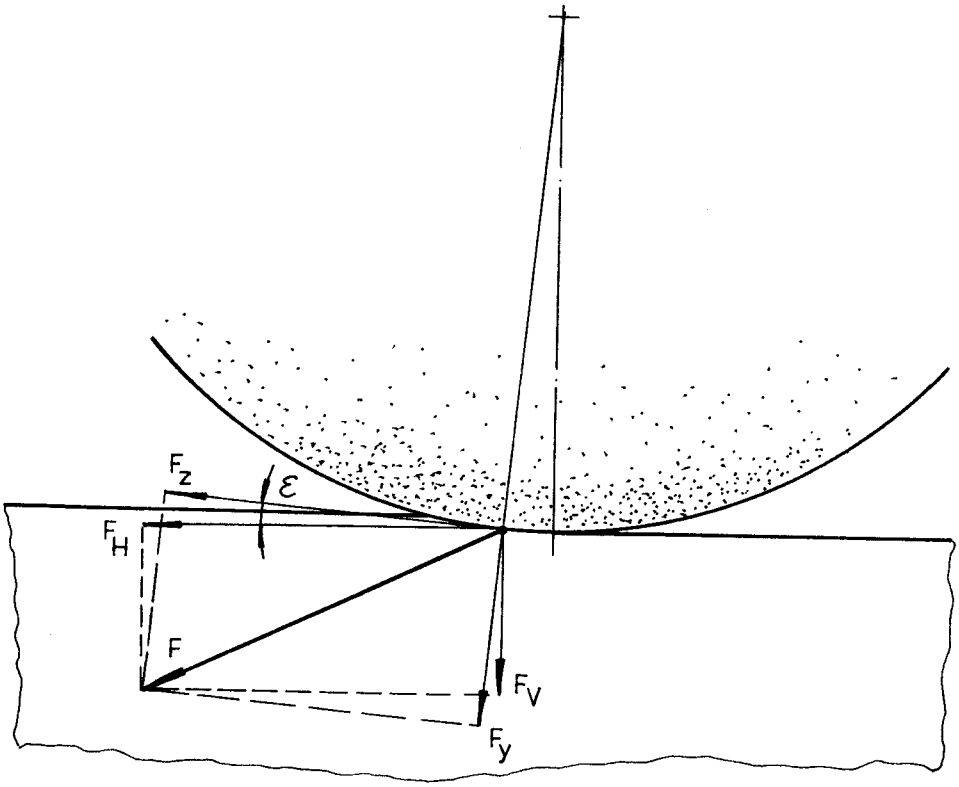
Při frézování válcovou frézou jsem se v práci Přikryla a Musílkové /3/ setkala s tímto znázorněním soustavy řezných sil / obr.č. 4.4. /




obr.4.4. Soustava řezných sil při frézování válcovou frézou:
a/ nesousměrné frézování
b/ sousměrné frézování

Z tohoto obrázku je zřejmé, že je možno v libovolném bodě styku nástroje s obrobkem při vyšetřování sil zavést dvě růz-

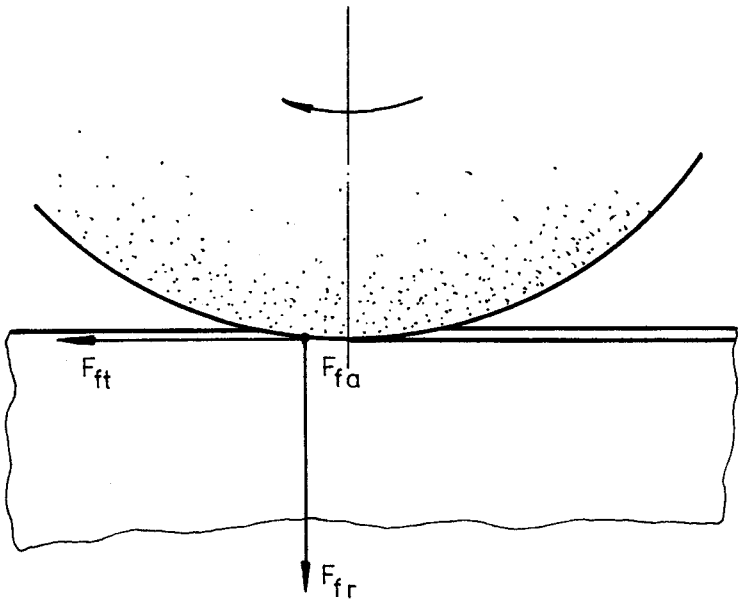
né souřadnicové soustavy. Prvou z nich, která je dána silami $F_H$ a $F_V$, jež jsou navzájem kolmé, můžeme považovat např. za strojovou soustavu a druhou, kterou určují síly $F_y$ a $F_z$, za soustavu nástrojovou. Jak je patrné z obrázku, výslednice sil $F_H$ a $F_V$ je shodná s výslednicí sil $F_z$ a $F_y$. Budeme-li aplikovat toto rozdělení sil při frézování na metodu broušení rovinných ploch obvodem brousícího kotouče zjistíme, že je úhel $\varepsilon$ mezi silami $F_H$ a $F_Z$ velmi malý. Je to dáno tím, že je při broušení hloubka záběru maximálně desetiny mm a průměr brousícího kotouče je vzhledem k ní nepoměrně větší. Z toho vyplývá, že při tomto způsobu broušení obě soustavy téměř splývají. Znamená to tedy, že síla $F_z$ je takřka totožná se silou $F_H$ a síla $F_y$ téměř splývá se silou $F_V$ / obr. 4.5. /




obr. 4.5. Znázornění strojové a nástrojové soustavy při broušení válcové rovinné plochy obvodem kotouče.

Je tedy zřejmé, že v případě broušení rovinných ploch obvodem brousícího kotouče lze počet sil, jež vyjadřují silové působení nástroje na obrobek, zredukovat na tři, které jsou navzájem kolmé. Jednou z nich je síla působící ve směru axiálního posuvu, která je rovna nule pouze v tom případě, že se jedná o zapichovací způsob broušení. Budeme-li předpokládat, že platí $F_H \doteq F_z$ a $F_V \doteq F_y$, můžeme definovat pouze síly $F_H$ a $F_V$. Poněvadž síla $F_H$ působí ve směru tangenciálního posuvu, bylo by vhodnější ji v souvislosti s předcházejícín značením posuvů označovat za sílu působící ve směru tangenciálního posuvu, zkráceně za sílu tangenciální posuvovou $F_{ft}$. Síla $F_V$ působí ve směru radiálního posuvu, a proto ji označuji za sílu radiální posuvovou $F_{fr}$, a obdobně zavádím sílu axiální posuvovou $F_{fa}$.

Schématické znázornění je na obr.4.6.




obr.4.6. Soustava řezných sil v procesu broušení válcové rovinné plochy obvodem kotouče.

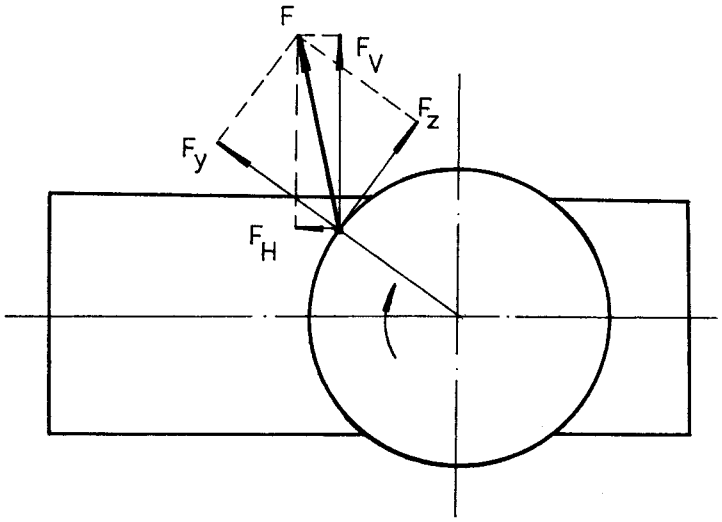
Výslednice sil $F_{ft}$ , $F_{fr}$ a $F_{fa}$ označuji analogicky s rychlostí výsledného řezného pohybu za výslednou řeznou sílu $F_e$. Poněvadž se jedná o vektorový součet tří sil, platí pro jejich výslednici vztah :

$$F_e = \sqrt{F_{ft}^2 + F_{fr}^2 + F_{fa}^2}$$

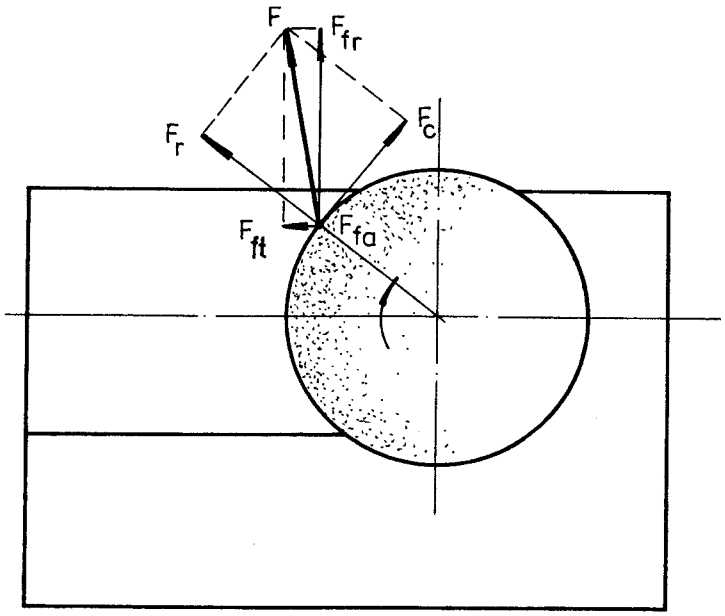
Poněvadž při návrhu vlastních definic jednotlivých sil vycházím ze získaných poznatků, které se týkají broušení rotačních ploch, bude rozbor těchto poznatků a návrh definic proveden v kapitole 4.3. , jež pojednává o broušení rotačních ploch.

Proces broušení rovinných ploch čelem kotouče srovnávám obdobně jako v předchozím případě s frézováním.Při frézování čelní frézou jsem se v díle Přikryla a Musílkové /3/ setkala s rozložením sil působících na obrobek, jež je znázorněno na obr.4.7.

Přeneseme-li si toto rozdělení na broušení čelem kotouče zjistíme, že zde nelze provést v libovolném bodě redukci počtu sil, jak tomu bylo v případě broušení rovinných ploch obvodem brousícího kotouče.Bude tedy třeba navrhnout definice nejen pro síly $F_{ft}$ , $F_{fr}$ , $F_{fa}$ a $F_e$ , které jsem uvažovala při předchozím způsobu broušení, ale navíc pro síly $F_c$ a $F_r$ / obr.4.8./. Symbolem $F_c$ jsem označila sílu, která je při frézování označena symboleb $F_z$ , neboť působí ve směru hlavního řezného pohybu a nazývám ji hlavní řeznou silou.Sílu $F_y$ označuji symbolem $F_r$ a nazývám ji radiální silou.Jedná se totiž o sílu působící v radiálním směru brousícího kotouče, která se však s vyjímkou jediného bodu liší od síly radiální posuvové $F_{fr}$.




obr.4.7. Soustava řezných sil při frézování čelní frézou




obr.4.8. Návrh označování složek výsledné řezné síly při broušení válcové rovinné plochy čelem brousícího kotouče

Poněvadž platí, že výslednice sil $F_c$ a $F_r$ je rovna výslednici sil $F_{fr}$ a $F_{ft}$ , můžeme pro výslednou řeznou sílu $F_e$ psát

vztahy :

$$F_e = \sqrt{F_{fr}^2 + F_{fa}^2 + F_{ft}^2} = \sqrt{F_c^2 + F_r^2 + F_{fa}^2}$$

Návrh definic uvedených sil bude proveden v následující kapitole 4.3.

## 4.3. Aplikace poznatků z kapitoly 4.2. na metodu broušení vnějších netvarových rotačních ploch s upnutím obrobku.

V této kapitole se věnuji aplikaci poznatků získaných při rozboru broušení rovinných ploch na jiný způsob broušení, konkrétně na broušení vnějších rotačních netvarových ploch s upnutím obrobku.

Je zřejmé, že se zásadně liší způsob broušení válcových rovinných ploch od způsobu broušení rotačních ploch, při němž koná obrobek rotační pohyb kolem vlastní osy.Přesto je však možno nalézt mezi oběma způsoby určitou analogii.A to konkrétně mezi broušením rotačních netvarových ploch a broušením válcových rovinných ploch obvodem kotouče, neboť si lze rotační netvarovou plochu představit podélně rozříznutou a rozvinutou do roviny.Následující rozbor procesu broušení vnějších rotačních netvarových ploch s upnutím obrobku bude proveden za předpokladu, že broušenou plochou je povrch válce.

Jednotlivé směry posuvů při tomto způsobu broušení jsou dány nastavením brousícího kotouče vzhledem k obrobku a je možné je definovat následovně :

<u>Směr axiálního posuvu</u> - je to směr rovnoběžný s osou rotace brousícího kotouče

<u>Směr radiálního posuvu</u> - je to směr rovnoběžný s radiálním

směrem brousícího kotouče, jež je dán spojnicí středů nástroje a obrobku.

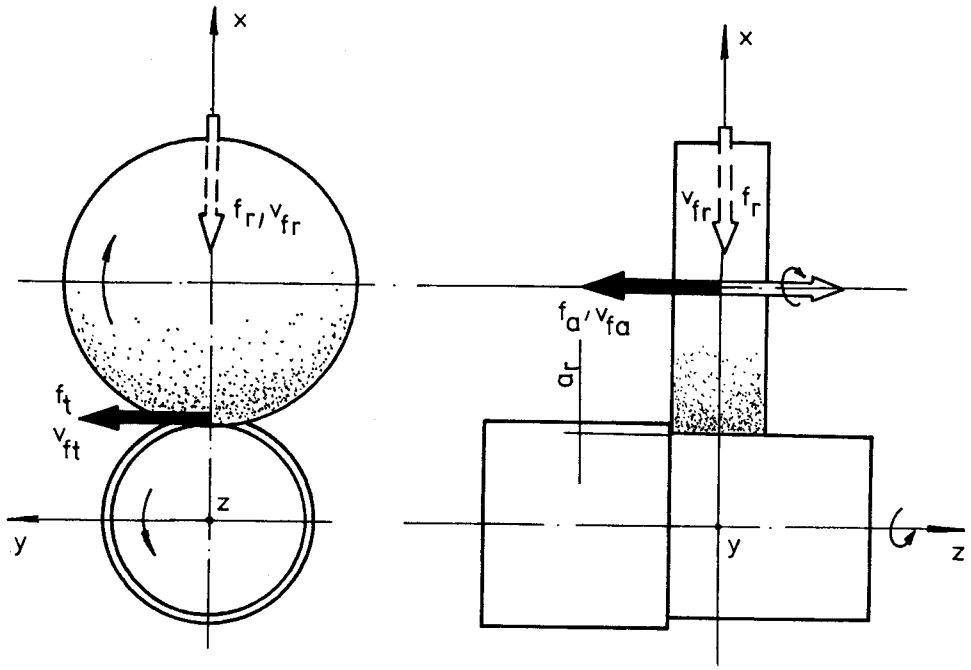
Směr tangenciálního posuvu - je to směr rovnoběžný s tangenciálním směrem brousícího kotouče, jež je kolmý současně na směr axiálního a radiálního posuvu.

Jak již bylo v předešlé kapitole řečeno, tvoří tyto tři směry navzájem pravoúhlou souřadnicovou soustavu.

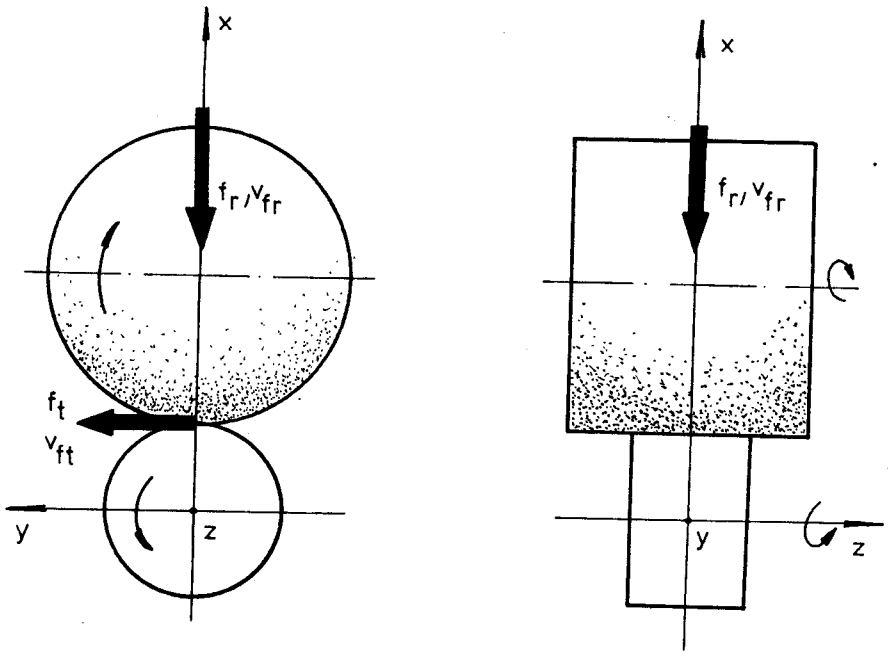
S ohledem na tyto definice lze obdobně jako v případě broušení rovinných ploch definovat jednotlivé posuvy. Poněvadž definice směrů axiálního a tangenciálního posuvu jsou stejné jak při broušení rovinných ploch, tak při broušení vnějších rotačních netvarových ploch, budou naprosto shodné i definice axiálního a tangenciálního posuvu. Proto tyto dvě definice zde již nebudu znova uvádět a budu definovat pouze radiální posuv $f_r$ a to následovně : je to relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku, který se realizuje ve směru rovnoběžném s radiálním směrem brousícího kotouče, jež je dán spojnicí středů nástroje a obrobku.

Definice rychlostí jednotlivých posuvů jsou stejné jako v případě broušení rovinných ploch. Jejich schematické znázornění je spolu s normální sořadnicovou soustavou hrotové brusky znázorněno na obr.4.9.

Problematiku rychlostí posuvů je třeba zvášť rozebrat v případě broušení s posuvem kotouče / obrobku / podél vlastní osy a zvlášť při zapichovacím způsobu broušení. Tyto dva způ-




a/




b/

obr.4.9. Znázornění posuvů a normální souřadnicové soustavy při brošení vnějších rotačních netvarových ploch s upnutím obrobku
a/ s posuvem kotouče/obrobku/ podél vlastní osy
b/ zapichovacím způsobem

soby mají totiž přes svoji značnou podobnost určité odlišnosti z hlediska kinematiky.

V případě znázorněném na obr.4.9. a/ se při styku nástrje s obrobkem v procesu broušení realizuje kromě řezné rychlosti $v_c$ ještě rychlost tangenciálního posuvu $v_{ft}$ a rychlost axiálního posuvu $v_{fa}$ , zatímco rychlost radiálního posuvu $v_{fr} = 0$. Radiální posuv se podobně jako v případě broušení rovinných ploch uskutečňuje ve formě skoků až po vyjetí nástroje ze styku s broušenou součástí.Bylo by tedy vhodné zde definovat radiální úběr $a_r$ / $10^{-3}$m /.Je zde možno použít tutéž definici, která platí u broušení rovinných ploch obvodem kotouče.

Pokud se týká rychlosti tangenciálního posuvu $v_{ft}$ , tak její velikost závisí na rychlosti, se kterou se součást otáčí kolem své osy.Rychlost $v_{ft}$ je tedy obvodovou rychlostí obrobku v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna a platí pro ni vztah

$$v_{ft} = \pi \cdot d_s \cdot n_{ft}$$

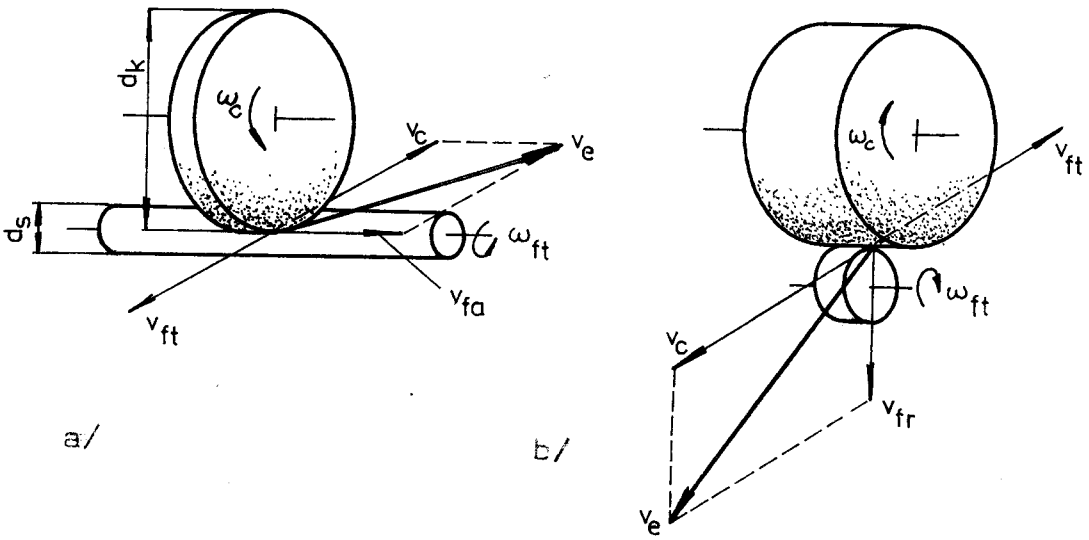
kde symbolem $d_s$ je označen průměr obrobku / $10^{-3}$m / a symbol $n_{ft}$ značí otáčky obrobku / $s^{-1}$/.Úhlová rychlost obráběné součásti by se analogicky s tím označovala $\omega_{ft}$ / rad /.

U zapichovacího způsobu broušení / obr.4.9. b/ / je zásadní odlišností to, že se nástroj,případně obrobek,neposouvá podél vlastní osy, ale naopak se přisouvá kotouč ve směru radiálním.To znamená, že se při tomto způsobu broušení pohybuje brousící kotouč rychlostí $v_{fr}$ ve směru radiálního posuvu.Tím dochází ke změně průměru obrobku a v souvislosti s tím se mění i rychlost tangenciálního posuvu $v_{ft}$ .Ovšem vzhledem k tomu, že je změna velikosti průměru obrobku velmi malá, je i změna

rychlosti $v_{ft}$ téměř zanedbatelná.

Definice pojmů hlavní řezný pohyb, směr hlavního řezného pohybu, výsledný řezný pohyb, směr výsledného řezného pohybu, řezná rychlost a rychlost výsledného řezného pohybu je možno převzít z předchozí kapitoly 4.2. i pro způsob broušení rotačních netvarových ploch.

Znázornění rychlosti výsledného řezného pohybu je na obr. 4. 10. Rychlost $v_{ft}$ je mnohokrát menší než rychlost $v_c$, a tudíž je její vliv na velikost rychlosti $v_e$ takřka zanedbatelný. Proto je rychlost výsledného řezného pohybu znázorněna pouze jako geometrický součet rychlostí $v_c$ a $v_{fa}$.

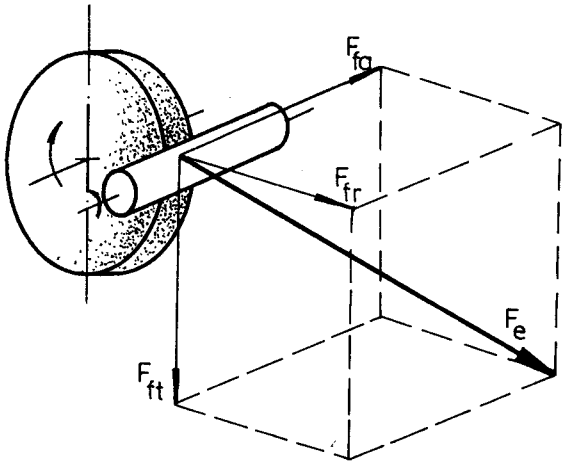



obr. 4. 10. Znázornění rychlosti výsledného řezného pohybu a jejích složek při broušení vnější rotační netvarové plochy

a/ s posuvem kotouče /obrobku/ podél vlastní osy

b/ zapichovacím způsobem

Při vyšetřování řezných sil v procesu broušení rotačních netvarových ploch jsem se setkala s rozložením sil, jež je na obr. 4. 11.




obr. 4. 11. Výsledná řezná síla a její složky při broušení vnější rotační netvarové plochy s upnutím obrobku.

Toto rozložení výsledné řezné síly na jednotlivé navzájem kolmé složky je stejné ve všech pracích, ve kterých jsem tuto problematiku studovala /např. Saljé, Brandin /2/, Maslov /1/. Avšak odlišné je označování jednotlivých řezných sil. Na obr. 4. 11. jsou jednotlivé síly označeny symboly, které jsem zavedla v předchozí kapitole 4. 2. Jedná se o sílu radiální posuvovou $F_{fr}$, tangenciální posuvovou $F_{ft}$ a sílu axiální posuvovou $F_{fa}$, která je při zapichovacím způsobu rovna nule. Z porovnání obr. 4. 6. a 4. 11. je zřejmá analogie mezi způsobem broušení vnější rotační netvarové plochy s upnutím obrobku a broušením válcové rovinné plochy obvodem brousícího kotouče.

Pro výslednou řeznou sílu $F_e$ platí již dříve uvedený vztah :

$$F_e = \sqrt{F_{fa}^2 + F_{fr}^2 + F_{ft}^2}$$

Při návrhu definic jednotlivých řezných sil vycházím z různých autorů. Například r a d i á l n í p o s u v o v o u s í l u $F_{fr}$ definuje Saljé, Bradin /2/ takto :

- $F_n$ /N/, je to složka řezné síly ve směru posuvu

Maslov/1/- $F_y$ /N/, je to složka výsledné řezné síly F

V případě a x i á l n í p o s u v o v é s í l y $F_{fa}$ jsem se setkala s těmito definicemi :

Saljé, Bradin /2/ - $F_a$ /N/, je to složka řezné síly kolmo k normálné a tangenciální síle

Kvapil, Gabriel /5/ - $F_f$ /N/, je to složka výsledné síly F, získaná kolmým průmětem na směr posuvu.

Obdobné definice je možno nalézt i pro s í l u t a n g e n c i á l n í p o s u v o v o u $F_{ft}$ :

Saljé, Bradin /2/ - $F_t$ /N/, je to tangenciální síla, jež je složkou řezné síly ve směru řezu.

Maslov /1/ - $F_z$ /N/, je to složka výsledné řezné síly F.

Z tohoto přehledu je zřejmé, že síly $F_{fa}$ , $F_{fr}$ a $F_{ft}$ jsou ve většině případů definovány jako složky výsledné řezné síly $F_e$ . Je však nutno uvést způsob, jak se tyto složky ze síly $F_e$ získávají, čímž jsou jednoznačně určeny. Vhodná se mi zdá být definice Kvapila, Gabriela, ve které jsou jednotlivé složky dány kolmým průmětem síly $F_e$ do určitého směru. V souvislsti s tím navrhuji následující znění definice :

Radiální posuvová síla - $F_{fr}$ /N/

- je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získaná kolmým průmětem do směru radiálního posuvu.

Axiální posuvová síla - $F_{fa}$ /N/

- je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získaná kolmým průmětem do směru axiálního posuvu.

Tangenciální posuvová síla - $F_{ft}$ /N/

- je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získaná kolmým průmětem do směru tangenciálního posuvu

Obdobným způsobem lze definovat i hlavní řeznou sílu - $F_c$ a radiální sílu $F_r$.

Hlavní řezná síla - $F_c$ /N/

- je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získaná kolmým průmětem do směru hlavního řezného pohybu

Radiální síla - $F_r$ /N/

- je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získaná kolmým průmětem do radiálního směru brousícího kotouče.

Dále je nutno definovat v ý s l e d n o u ř e z n o u s í l u $F_e$ :

Kvapil, Gabriel /5/ použili ve své práci tuto definici výsledné řezné síly: - F, je to výsledná síla, která vzniká působením aktivní části břitu řezného nástroje na obrobek.

Navrhuji následující znění definice pojmu

výsledná řezná síla - $F_e$ /N/

- je to výslednice elementárních sil, které působí v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna na obrobek.

## 5. Shrnutí navržených definic a označování vybraných pojmů a jejich systematické uspořádání do tabulek.

V této kapitole předkládám shrnutí jednotlivých vybraných pojmů, jejich definic a značení a jejich uspořádání do tabulek.

V tabulce 1. jsou uvedeny nejobecnější pojmy z oboru broušení kovů, jejichž rozborem jsem se zabývala v kapitole 4.1.

V tabulce 2. jsou zahrnuty pojmy rozebírané v kapitolách 4.2. a 4.3. Symbolem $R_v$ vyjadřuji to, že navržená definice platí pro broušení rovinných válcových ploch, symbolem $R_t$ pak značím, že definice platí pro broušení vnějších rotačních netvarových ploch s upnutím obrobku / konkrétně pro broušení válce /.Značka $R_v$ + $R_t$ značí, že definice platí pro oba probírané způsoby broušení.

Tabulka 1.

| Název | Navržená definice |
|---|---|
| Broušení | - je to způsob obrábění, při kterém dochází při vysokých rychlostech k úběru povrchových vrstev broušeného tělesa zrny brusiva. Ta jsou buď spojena do požadovaného tvaru brousícího nástroje nebo jsou volná. |
| Brousící nástroj | - je to obráběcí nástroj určený pro broušení, který se skládá ze zrn brusiva stmelených do požadovaného tvaru. |
| Brousící kotouč | - je to brousící nástroj ve formě pevného rotačního tělesa. |
| Zrno brusiva | - je to částice brousícího materiálu ve formě mnohostěnu. |

Tabulka 2.

| Název | Značení | Platí pro | Navržená definice | Jednotky |
|---|---|---|---|---|
| Směr axiálního posuvu | | $R_v + R_t$ | - je to směr rovnoběžný s osou rotace brousícího kotouče. | |
| Směr radiálního posuvu | | $R_v$ | - je to směr rovnoběžný s radiálním směrem brousícího kotouče, jež je kolmý na obrobenou plochu. | |
| | | $R_t$ | - je to směr rovnoběžný s radiálním směrem brousícího kotouče, jež je dán spojnicí středů nástroje a obrobku. | |
| Směr tangenciálního posuvu | | $R_v + R_t$ | - je to směr rovnoběžný s tangenciálním směrem brousícího kotouče, jež je kolmý současně na směr axiálního a radiálního posuvu. | |
| Axiální posuv | $f_a$ | $R_v + R_t$ | - je to relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku, který se realizuje ve směru rovnoběžném s osou brousícího kotouče. | |
| Radiální posuv | $f_r$ | $R_v$ | - je to relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku, který se realizuje ve směru rovnoběžném s radiálním směrem brousícího kotouče, jež je kolmý na obrobenou plochu. | |
| | | $R_t$ | - je to relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku, který se realizuje ve směru rovnoběžném s radiálním směrem brousícího kotouče, jež je dán spojnicí středů nástroje a obrobku. | |

| Název | Značení | Platí pro | Navržená definice | Jednotky |
|---|---|---|---|---|
| Tangenciální posuv | $f_t$ | $R_v + R_t$ | - je to relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku, který se realizuje ve směru rovnoběžném s tangenciálním směrem brousícího kotouče, jež je kolmý současně na směr axiálního a radiálního posuvu. | |
| Rychlost axiálního posuvu | $v_{fa}$ | $R_v + R_t$ | - je to okamžitá relativní rychlost uvažovaného bodu ostří brousícího zrna ve směru axiálního posuvu. | $10^{-3}$. $m.s^{-1}$ |
| Rychlost radiálního posuvu | $v_{fr}$ | $R_v + R_t$ | - je tookamžitá relativní rychlost uvažovaného bodu ostří brousícího zrna ve směru radiálního posuvu. | $10^{-3}$. $m.s^{-1}$ |
| Rychlost tangenciálního posuvu | $v_{ft}$ | $R_v + R_t$ | - je to okamžitá relativní rychlost uvažovaného bodu ostří brousícího zrna ve směru tangenciálního posuvu. | $10^{-3}$. $m.s^{-1}$ |
| Axiální úběr | $a_a$ | $R_v$ obvodem kotouče | - je to dráha, o kterou se posune nástroj relativně k obrobku ve směru axiálního posuvu po odebrání vrstvy materiálu o šířce menší nebo rovné šířce brousícího kotouče. | $10^{-3}$. m |
| | | $R_v$ čelem kotouče | - je to dráha, o kterou se posune nástroj relativně k obrobku ve směru axiálního posuvu po odebrání vrstvy materiálu na dané obráběné ploše. | |
| Radiální úběr | $a_r$ | $R_v$ obvodem kotouče $R_t$ | - je to dráha, o kterou se posune nástroj relativně k obrobku ve směru radiálního posuvu po odebrání vrstvy materiálu na dané obráběné ploše. | $10^{-3}$. m |

| Název | Značení | Platí pro | Navržená definice | Jednotky |
|---|---|---|---|---|
| Radiální úběr | $a_r$ | $R_v$ čelem kotouče | - je to dráha, o kterou se posune nástroj relativně k obrobku ve směru radiálního posuvu po odebrání vrstvy materiálu o šířce menší nebo rovné průměru brousícího kotouče. | $10^{-3}$ . m |
| Hlavní řezný pohyb | | $R_v + R_t$ | - je to rotační pohyb brousícího kotouče, který je určen obvodovou rychostí nástroje a podmiňuje řezný proces. | |
| Výsledný řezný pohyb | | $R_v + R_t$ | - je to geometrický součet hlavního řezného pohybu a posuvů v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna. | |
| Směr hlavního řezného pohybu | | $R_v + R_t$ | - je to směr daný vektorem rychlosti hlavního řezného pohybu v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna. | |
| Směr výsledného řezného pohybu | | $R_v + R_t$ | - je to směr daný vektorem rychlosti výsledného řezného pohybu v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna. | |
| Řezná rychlost | $v_c$ | $R_v + R_t$ | - je to okamžitá relativní rychlost uvažovaného bodu ostří brousícího zrna ve směru hlavního řezného pohybu. | m . $s^{-1}$ |
| Rychlost výsledného řezného pohybu | $v_e$ | $R_v + R_t$ | - je to okamžitý geometrický součet řezné rychlosti a rychlostí posuvu v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna | m . $s^{-1}$ |
| Axiální posuvová síla | $F_{fa}$ | $R_v + R_t$ | - je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získaná kolmým průmětem do směru axiálního posuvu. | N |

| Název | Značení | Platí pro | Navržená definice | Jednotky |
|---|---|---|---|---|
| Radiální posuvová síla | $F_{fr}$ | $R_v + R_t$ | - je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získana kolmým průmětem do směru radiálního posuvu. | N |
| Tangenciální posuvová síla | $F_{ft}$ | $R_v + R_t$ | - je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získaná kolmým průmětem do směru tangenciálního posuvu. | N |
| Hlavní řezná síla | $F_c$ | $R_v + R_t$ | - je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získaná kolmým průmětem do směru hlavního řezného pohybu. | N |
| Radiální síla | $F_r$ | $R_v + R_t$ | - je to složka výsledné řezné síly $F_e$, získaná kolmým průmětem do radiálního směru brousícího kotouče. | N |
| Výsledná řezná síla | $F_e$ | $R_v + R_t$ | - je to výslednice elementárních sil, které působí v uvažovaném bodu ostří brousícího zrna na obrobek. | N |

## 6. Závěr

Na závěr této diplomové práce bych chtěla podat všeobecné shrnutí poznatků, ke kterým jsem se dopracovala, a předložit návrh dalšího postupu řešení.

Jak jsem již v úvodu uvedla, tato diplomová práce vyplynula z potřeby sjednotit pojmy v oboru broušení kovů, kde je zatím značná nejednotnost.Problematikou terminologie se zabývají odborníci na celém světě, takže v mých silách bylo spíše nastínění řešení tohoto složitého úkolu.

Nejprve jsem provedla rozbor rozdělení broušení na jednotlivé způsoby a navrhla vlastní rozdělení jednak z hlediska obráběných ploch a jednak z hlediska vazeb mezi brousícími zrny.

Dále jsem se zaměřila na několik pojmů v oblasti broušení, jako je posuv, rychlost, síla apod., a nejprve jsem se snažila z dostupné literatury zjistit, jaká jsou stanoviska různých odborníků k této problematice.Jednotlivé názory jsem rozebírala, navzájem porovnávala a snažila se nalézt nejvhodnější definici, případně název a značení jednotlivých pojmů.Vybrané pojmy jsem rozebírala na dvou nejčastěji používaných způsobech broušení, a to na broušení válcových rovinných ploch a broušení vnějších rotačních netvarových ploch s upnutím obrobku, přičemž jsem přihlížela i k jiným metodám broušení.Výsledek své práce, to znamená vlastní návrhy definic a značení, jsem uspořádala do tabulek.

Další řešení by se mělo zaměřit na aplikování poznatků na ostatní způsoby broušení, kde se zřejmě mohou vyskytnout určité odlišnosti.Mimo to je nutné rozšířit oblast rozebíra-

ných pojmů a zaměřit se např. na výrazy jako je práce, výkon, teplo, teplota a dále brusivo, pojivo, zrnitost, brousící tělísko, brousící pás apod.

Je zřejmé, že pojmů, kterých by se mělo takovéto zkoumání týkat, je nepřeberné množství, takže zvládnutí problematiky terminologie v oboru broušení kovů nutně předpokládá širokou spolupráci odborníků, a to pokud možno na mezinárodní úrovni.Cílem této práce byla tedy snaha alespoň malým dílem přispět k brzkému vyřešení tohoto náročného úkolu.

Na závěr bych chtěla poděkovat Doc. Ing. Jaromíru Gazdovi, CSc a Ing. Robertu Kvapilovi za obětavou pomoc a rady, které mi poskytli při vypracovávání této práce.

Seznam použité literatury


/ 1 / Maslov, J. N.: Teorie broušení kovů, SNTL Praha 1979

/ 2 / Saljé, E., Brandin, H.: Begriffe der Schleiftechnik, Vulkan Verlag Essen 1976

/ 3 / Přikryl, Z., Musílková, R.: Teorie obrábění, SNTL Praha 1982

/ 4 / Přikryl, Z. a kol.: Technologie obrábění, SNTL Praha 1967

/ 5 / Kvapil, R., Gabriel, V.: Nový způsob označování veličin a současná terminologie v oblasti obrábění, Nové poznatky z oblasti technologie obrábění, DT ČSVT Ostrava č. 60/625/81

/ 6 / Kutík, B., Kvapil, R.: Nové pohledy na geometrii řezných nástrojů, Československá standartizace č.7, příloha 1977

/ 7 / Armarego, E. J. A., Brown, R. H.: Obrabotka metallov rezaniem, Moskva Mašinostrojenie 1977

/ 8 / Černý, V., Pospíšil, L.: Brusivo a brusné nástroje, SNTL Praha 1967

/ 9 / Stanovisko ČSSR k úkolu RVHP - Brousící materiály a nástroje, Praha 1983

/ 10 / Využívání norem RVHP v národním hospodářství členských zemí, ČVTS Dům techniky Plzeň 1975

/ 11 / Šalnov, V. A.: Šlifovanie i polyrovanie vysokopročnych materiálov, Moskva Mašinostrojenie 1972

/ 12 / Rodin, P. R.: Základy teorie navrhování řezných nástrojů, SNTL Praha 1963

/ 13 / Dráb, V.: Technologie I, Liberec 1979

/ 14 / ČSN 224501

/ 15 / ČSN 224011

/ 16 / ČSN 220010

/ 17 / ON 200667

/ 18 / ISO R841

/ 19 / ISO / TC 29 - 1910 E