

Kryogenní chlazení při broušení kovových a plastových materiálů

Ondřej Struška

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Ondřej STRUŠKA

Osobní číslo: T07702

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Kryogenní chlazení při broušení kovových
a plastových materiálů

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická studie na dané téma
2. Návrh a realizace zařízení pro broušení za nízkých teplot v prostorách laboratoří UVI
3. Příprava vzorků pro experimentální ověření funkčnosti zařízení
4. Vyhodnocení výsledků a porovnání při broušení bez použití chladicího média

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Struška Ondřej

Obor: Procesní inženýrství

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ^{1/};
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ^{2/};
- beru na vědomí, že podle § 60 ^{3/} odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ^{3/} odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 3.6.2011


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce požít na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá podchlazením materiálu při obrábění broušením a jeho vlivem na výsledný povrch a rozměry součásti. Teoretická část seznamuje s metodou broušení, rozebírá druhy broušení, brousící stroje a nástroje, a s běžnými způsoby chlazení, chladicí média a jejich použití. Praktická část poté seznamuje s výsledky pokusu broušení vzorků a následným porovnáním.

Klíčová slova: kryogenní chlazení, broušení, jakost povrchu, stálost rozměrů

ABSTRACT

This thesis deals with hypothermia material in grinding and its influence on the final dimensions and surface of the component. The theoretical part introduces the method of grinding, discusses the types of grinding, grinding machines and tools, and conventional cooling methods, cooling media and their use. The practical part presents the results of grinding the samples and subsequent comparison.

Keywords: cryogenic cooling, grinding, surface quality, dimensional stability

Děkuji Ing. Ondřeji Bílkovi, PhD za odborné vedení, poskytnuté rady, připomínky a pomocné materiály, trpělivost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 BROUŠENÍ	13
1.1 PODSTATA BROUŠENÍ	13
1.2 BROUSÍCÍ NÁSTROJE	14
1.2.1 Výroba a použití jednotlivých brousících materiálů:	15
1.2.2 Velikost zrna	16
1.2.3 Pojivo	16
1.2.4 Struktura	16
1.2.5 Volba brousícího kotouče	18
1.2.6 Vyvažování brousícího kotouče	18
1.2.7 Orovnáváním brousícího kotouče	18
1.3 ZÁKLADNÍ METODY	20
1.3.1 Vnitřní axiální broušení do kulata	22
1.3.2 Obvodové rovinné broušení	24
1.3.3 Tvarové plochy:	24
1.3.4 Řezné podmínky.....	25
1.4 STROJE	26
1.4.1 Hrotové brusky	26
1.4.2 Brusky na díry	29
1.4.3 Bezhruté brusky	29
1.4.4 Rovinné brusky	29
1.4.5 Nástrojařské brusky.....	31
1.4.6 Pásové brusky.....	31
1.5 OSTŘENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ	32
2 ŘEZNÉ KAPALINY	33
2.1 CHLADÍCÍ KAPALINY PRO BROUŠENÍ.....	33
2.2 VOLBA ŘEZNÉ KAPALINY	34
2.2.1 Řezný nástroj.....	34
2.2.2 Obráběný materiál	34
2.2.3 Jakost obrobené plochy	35
2.3 CHARAKTERISTIKY A VLASTNOSTI ŘEZNÝCH KAPALIN.....	35
2.3.1 Chladicí účinek.....	36
2.3.2 Mazací účinek	36
2.3.3 Mazací schopnost	36
2.3.4 Čistící účinek.....	37
2.3.5 Provozní stálost	37
2.3.6 Ochranný účinek	37
2.3.7 Zdravotní nezávadnost	38
2.3.8 Přiměřené náklady.....	38
2.4 ROZDĚLENÍ ŘEZNÝCH KAPALIN	38
2.4.1 Vodní roztoky.....	39
2.4.2 Emulzní kapaliny	39

2.4.3	Mastné oleje a tuky	39
2.4.4	Minerální oleje	40
2.4.5	Režné oleje	40
2.5	PŘÍVOD ŘEZNÉ KAPALINY DO MÍSTA ŘEZU.....	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	43
3	NÁVRH ZAŘÍZENÍ.....	44
4	VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	47
4.1	ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ.....	47
4.2	BROUŠENÍ VZORKŮ.....	48
4.2.1	Vzorky	48
4.2.2	Řezné podmínky.....	48
4.2.3	Broušení:	48
4.3	MĚŘENÍ DRSNOSTI.....	49
4.4	POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ:	53
	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM TABULEK.....	59

ÚVOD

Předmětem práce je studie možnosti využití podchlazením obráběného materiálu při broušení vhodným plynem. Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. Teoretická část se popisuje teorií obrábění broušením, jakožto metody broušení, brousící nástroje a stroje a využití metody broušení v praxi. Dále popisuje druhy řezných a chladících médií, které se v současné době nejvíce používají, jejich dělení podle způsobu práce a vhodnost použití.

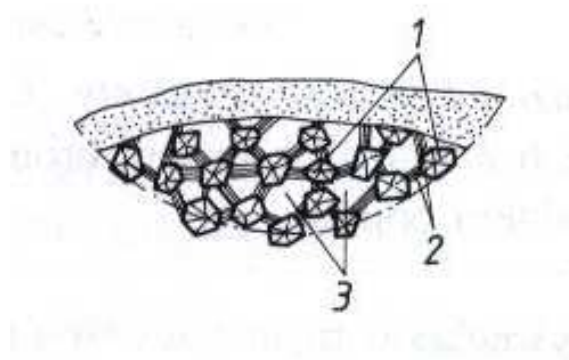
Praktická část popisuje průběh pokusu, který spočívá v broušení dvou kovových vzorků, jednoho pryžového a jednoho plastického, přičemž každý z těchto vzorků bude obroušen jednou bez chlazení a jednou při chlazení plynem CO₂. Dále bude předmětem zkoumání rozdíl mezi vzorky chlazenými a nechlazenými, zejména vizuální odlišnosti a v kvalitě povrchu. Výsledkem práce je rozhodnutí o vhodnosti použití CO₂ jako chladícího média při broušení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BROUŠENÍ

Broušení patří k nejstarším metodám obrábění. Je to dokončovací metoda obrábění téměř všech druhů ploch, tedy rovinných, válcových, tvarových, vnějších i vnitřních.

Na rozdíl od jiných obráběcích metod, kde má nástroj přesně definovaný tvar, má u broušících nástrojů každé zrn jiný geometrický tvar. Zrna jsou v broušícím nástroji rozmístěny náhodně a jsou spojeny pojivem. Mezi zrny a pojivem se vyskytují volní místa, zvané póry.



Obr. 1. Rozmístění zrn v broušícím kotouči.

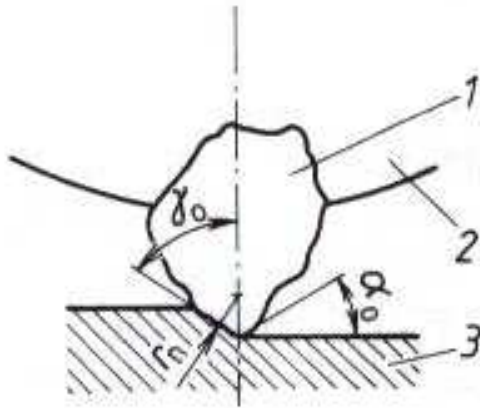
1-zrna brusiva, 2-pojivo, 3-póry [1]

Mimo broušících nástrojů je možné k broušení také použít volného brusiva, které je k broušenému materiálu přitlačováno deskou, trnem apod. [1]

1.1 Podstata broušení

Charakteristickým rysem při obrábění broušením je, že je v jednom okamžiku v záběru velké množství zrn, která odebírají třísky velmi malých průřezů různých velikostí. Úhel čela γ_0 je zpravidla negativní a poloměr ostří r je u běžných velikostí zrn 5 – 40 μm .

V současné strojírenské výrobě je broušení využíváno zejména k dokončování ploch s vysokou přesností a s vysokou jakostí obráběného povrchu nebo k opracování materiálu s vysokou tvrdostí a pevností, kde je obrábění jinými metodami nemožné, např.: kalené oceli, keramické materiály apod.



Obr. 2. Řezné úhly při broušení. 1-zrno, 2-brousící kotouč, 3-obrobek, α_0 -ortogonální úhel hřbetu, γ_0 -ortogonální úhel čela, r_n -poloměr ostří [1]

Se stále zvyšujícím se výkonem brousících strojů a nástrojů se v současné době broušení uplatňuje při hrubovacích operacích, kdy úběr materiálu za jednotku času může být vyšší, než u frézování. [1]

1.2 Brousící nástroje

Nástroje na broušení jsou brousící kotouče, segmenty, kameny a pásy (stále častěji v některých případech nahrazují broušení brousícími kotouči), obsahující zrna brusiva ve vhodném pojivu.

Zrna brusiva mohou být:

- Volná (pasty a prášky)
- Vázaná - v tuhých nebo pružných tělesech např.: brousící kotouče a tělíska, superfinišovací a honovací kameny, brousící a obtahovací kameny a segmenty, brousící pilníky apod.
- nanesená a zakotvená na brousících páslech, brousících a leštících plátnech a papírech

U brousících nástrojů využíváme vlastnosti tzv. samoostření. Pokud zvolíme správný nástroj a správné řezné podmínky, dojde vlivem otupení břitu k nárůstu řezné síly a k vylomení tupého zrna a tím k odkrytí zrna nového – ostrého.

Nejpoužívanějším brousícím nástrojem jsou brousící kotouče nejrůznějších tvarů a velikostí. Vlastnosti, které kotouč charakterizují, jsou zahrnuty v jeho označení. Jsou to:

- Tvar a rozměry
- Druh brousícího materiálu
- Zrnitost
- Tvrdost
- Strukturu
- Druh pojiva
- Maximální pracovní rychlost kotouče

Nejpoužívanější brousící materiály jsou uvedeny v tabulce:

Tab. 1. Nejpoužívanější brousící materiály [1]

Materiál brusiva	Barva	Označení
<i>Přírodní:</i>		
Granát		G
Smirek		S
Pazourek		P
<i>Umělý:</i>		
Umělý korund Al_2O_3	bílý	99A
	růžový	98A
	hnědý	96A
	černý	85A
Karbit křemíku SiC	zelený	49C
	černý	48C
Karbid boru B_4C		B
Kubický nitrid boru N_2B_3		BN
Diamant (přírodní i umělý)		D

1.2.1 Výroba a použití jednotlivých brousících materiálů:

Umělý korund se vyrábí tavením bauxitu v obloukové peci při 2000 až 2400°C, poté se drtí a třídí. Používá se k broušení oceli, lité oceli, temperované litiny a tvrdých bronzů.

Karbid křemíku se vyrábí z křemičitého písku smíchaného s koksem v obloukové peci při teplotě 1800 – 2200°C.

Karbid boru se vyrábí z kyseliny borité a uhlíku v elektrických obloukových pecích. Používá se pro broušení litiny, mědi, mosazi, měkkého bronzu, lehkých slitin, slinutých karbidů, keramických materiálů, skla a kamene.

Kubický nitrid boru a syntetický diamant se vyrábějí ve speciálních zařízeních za vysokých teplot a tlaků. KNB se používá pro broušení kalených ocelí, rychlořezných ocelí a litin. Diamant se používá pro broušení slinutých karbidů, keramiky, skla a titanových slitin.

1.2.2 Velikost zrna

Je dána počtem ok na délku jednoho anglického palce síta jímž zrno při třídění ještě pro-
padne, dle ČSN ISO 525 a ČSN 22 4012. Od označení, které udávalo podle ČSN desetina-
sobek velikosti zrna v μm , se upouští.

Velikost zrna se označuje čísly od nejhrubšího po nejjemnější:

hrubá 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 22, 24,

střední 30, 36, 40, 46, 54, 60,

jemná 70, 80, 90, 100, 120, 150, 180,

velmi jemná 220, 240, 280, 320, 360, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200.

1.2.3 Pojivo

Spojuje zrna brusiva do určitého tvaru brousícího nástroje. Pro kotouče z umělého korundu a karbidu křemíku se používají pojiva keramická (označení V), pryžová (R), pryžová s textilní výztuží (RF), z umělé pryskyřice (B), z umělé pryskyřice s textilní výztuží (BF), šelaková (E) a magnezitová (Mg). Pro kotouče z kubického nitridu boru a diamantu se používají pojiva kovová, galvanická kovová, keramická a pojiva z umělé pryskyřice.

Stupeň tvrdosti:

U brousících nástrojů je určen druhem a obsahem pojiva. Je definován jako odpor, který klade zrno proti vylomení z brousícího nástroje. Tvrdost kotouče je označována písmeny A až Z, kdy A je nejměkčí a Z nejtvrďší. Běžně se používají kotouče:

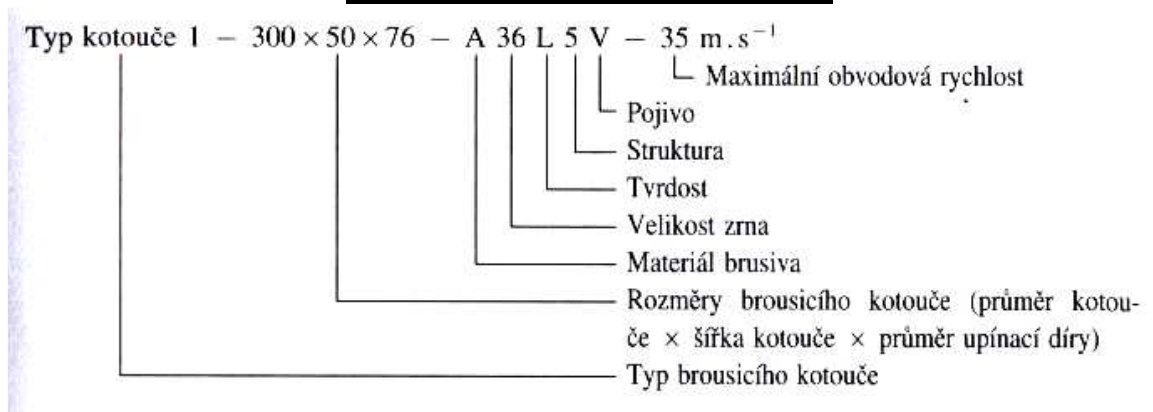
- Měkké: I, J, K
- Střední: L, M, N, O, P, Q
- Tvrdé: R, S, T

1.2.4 Struktura

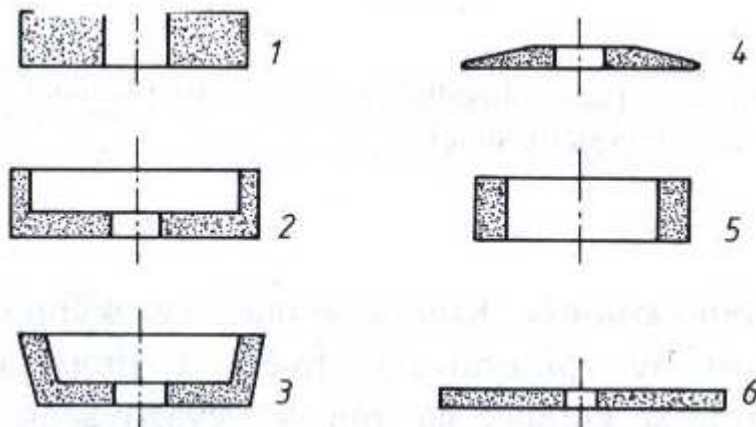
Označuje se čísly od 0 do 14. Čím je číslo vyšší, tím je vzdálenost mezi zrny větší. Běžně používané brousící kotouče mají strukturu podle této tabulky:

Tab. 2. Struktura kotoučů [1]

Označení	Struktura	Objem pórů (%)
3	hutná	13
4	polohutná	18
5		23
6		28
7	pórovitá	33
8		38



Obr. 3. Příklad označování kotoučů [1]

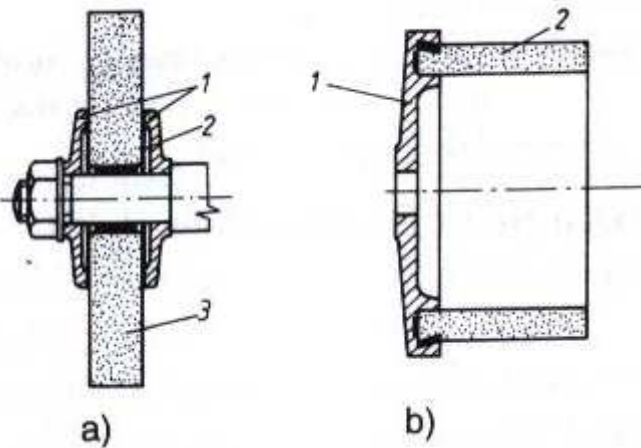


Obr. 4. Typy brousících kotoučů. 1-plochý, 2-hrncový, 3-miskový, 4-kuželový, 5-prstencový, 6-řezací [1]

1.2.5 Volba brousícího kotouče

Jeho tvar a velikost, závisí na tvaru plochy broušené na součásti. Podle materiálu obrobku a jeho mechanických vlastností se volí typ brusiva a tvrdost kotouče. Pro zachování samo-

střící schopnosti kotouče, se volí pro broušení tvrdších materiálů kotouče měkčí a naopak.



Obr. 5. Upínání brousícího kotouče. a) pomocí přírub, b) zatmelením [1]

Při velkých stykových plochách nástroje a obrobku se zrna rychleji opotřebovávají a je vhodné použít měkčích kotoučů. Podle požadovaného výkonu broušení a jakosti obrobeneho povrchu se volí velikost zrna. Hrubší zrnitost umožní vyšší výkon broušení, ale jakost obrobeneho povrchu se zhorší.

Před upnutím je nutné vyzkoušet, zda v kotouči nejsou trhliny. Kotouč se volně zavěsí za díru a poklepe se na něj např. dřevěnou paličkou. Nepoškozený kotouč vydává jasný, čistý tón. Brousící kotouč je křehký, proto se mezi kotouč a upínací příruby musí vložit podložka ze silnějšího papíru.

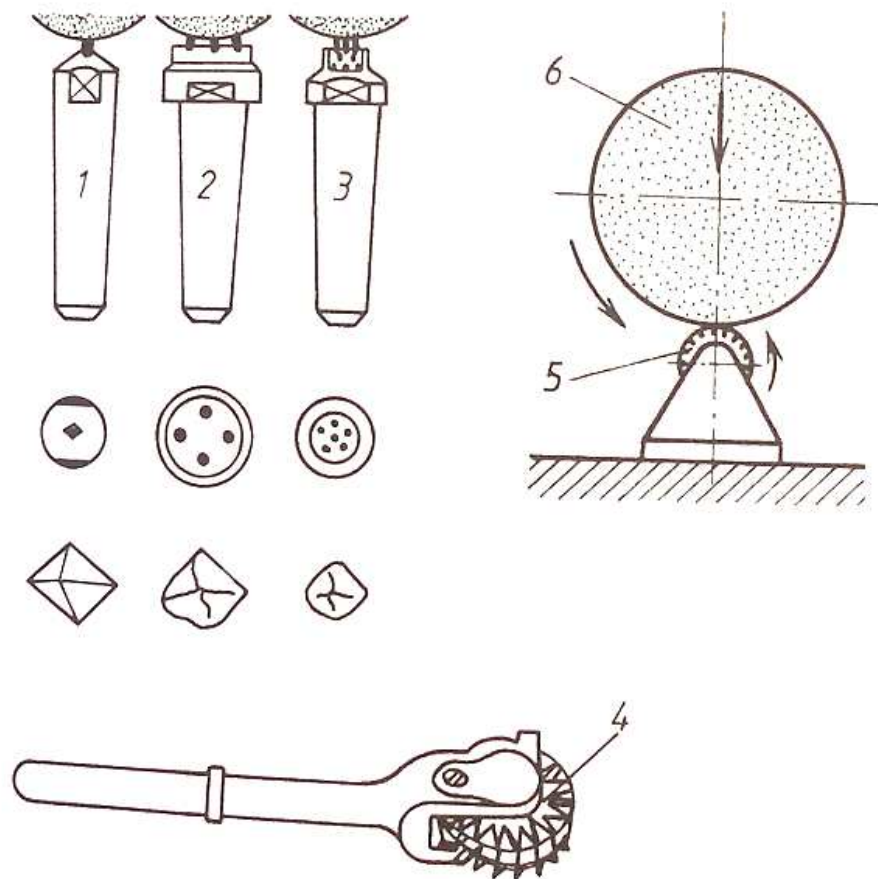
1.2.6 Vyvažování brousícího kotouče

Kotouč se otáčí vysokými otáčkami a případná nevyváženost by způsobovala chvění a zhoršení jakosti obrobeneho povrchu. Proto se kotouče na trnu ve vyvažovacím stojánku se dvěma vodorovnými lištami staticky vyvažují pomocí pohyblivých vyvažovacích tělísek umístěných v přírubě kotouče. Velké kotouče se vyvažují i dynamicky.

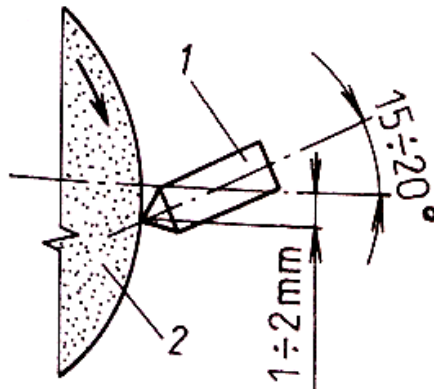
1.2.7 Orovňáváním brousícího kotouče

Odstraňují se nerovnosti kotouče a odstraňují se opotřebovaná zrna. Kotouč tak získá potřebný tvar a obnoví se jeho řezivost. Používají se různé způsoby orovňávání, viz obrázek:

- Diamantové orovnávače monokrystalické,
polykrystalické,
práškové,
orovnávací kladky,
- Drtící orovnávací nástroje kolečkové,
kladkové,
- Orovnávací kameny (SiC s tvrdým pojivem),
- Kontinuální orovnávače (orovnávací kladka je trvale ve styku s brousícím kotoučem).



Obr. 6. Orovnávače. 1-monokrystalický, 2-polykrystalický, 3-práškový, 4-orovnávací kladka, 5-kolečkový, 6-brousící kotouč [1]



Obr. 7. Orovnávání monokrystalickým
diamantovým orovnávačem. 1-
orovnávač, 2-brousící kotouč [1]

Monokrystalické orovnávače se používají pro přesné orovnávání brousících kotoučů. Orovnávací diamantové kladky jsou velmi produktivní, mají profil požadovaného tvaru obrobku a tento profil vybrušují do brousícího kotouče najednou. Nevýhodou je jejich vysoká cena. [1, 3, 4]

1.3 Základní metody

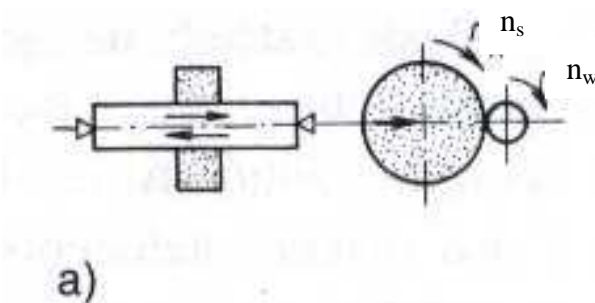
Z hlediska tvaru broušených ploch a způsobu práce můžeme broušení rozdělit na:

- Broušení do kulata vnější
 - axiální (s podélným posuvem),
 - axiální hloubkové,
 - zápichové,
 - bezhroté (zápichové nebo axiální),
- vnitřní
 - axiální (s podélným posuvem),
 - zápichové,
 - planetové,
 - bezhroté,

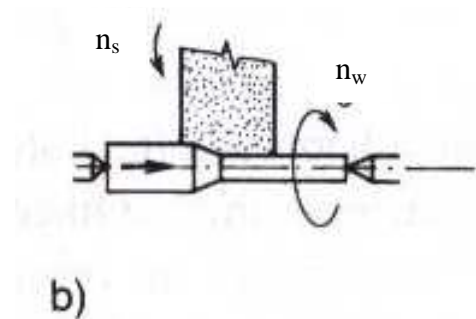
- Broušení rovinné obvodem kotouče,
čelem kotouče,
- Broušení tvarové tvarovými kotouči,
kopírovacím způsobem,
na NC a CNC brousících strojích.

Vnější axiální broušení do kulata je znázorněno na obrázku. Takto se obrábí dlouhé součásti. U tuhých obrobků lze odebrat celý přídavek na jednou tzv. axiálním hloubkovým broušením. V tomto případě musí mít brousící kotouč náběhovou kuželovou část, válcová část obrábí načisto. Podobně jako válcové plochy se brousí táhlé kuželové plochy, pracovní stůl brusky je však třeba natočit. Zápichovým způsobem se obrábí krátké tuhé součásti, kdy se celý přídavek odebírá na jeden příčný posuv. Šířka brousícího kotouče musí být větší, než šířka broušené plochy obrobku. V závěru se přísuv zastaví a dojde k vyjiskření.

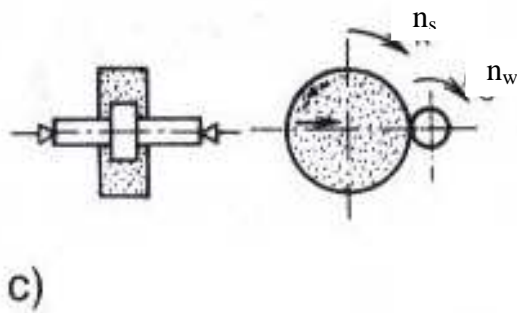
Bezhraté broušení se užívá při broušení válcových nebo i tvarových ploch. Je velmi produktivní a používá se zejména v sériové výrobě. Součástka není upnuta, ale vkládá se mezi brousící a podávací kotouč a je opřena opěrkou. Podávací kotouč se otáčí pomalu tak, aby obvodová rychlost obrobku byla 20 až 40 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. U součástí kratších, než je šířka brousícího kotouče se provádí bezhraté zápichové broušení. Osy obou kotoučů jsou rovnoběžné. Dlouhé součásti se brousí průběžným broušením. Podávací kotouč má osu nakloněnou tak, aby vznikla složka síly v obrobku, která obrobek posílá rychlostí asi 25 až 50 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$



Obr. 9. Broušení do kulata axiálním broušením
[1]

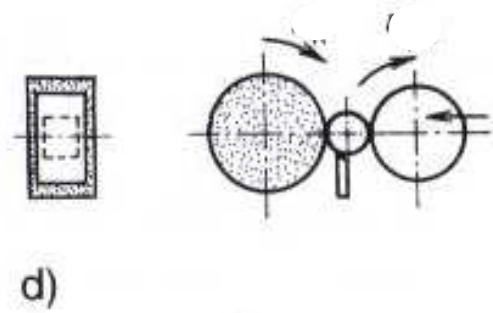


Obr. 8. Broušení do kulata axiálním
hloubkovým broušením [1]



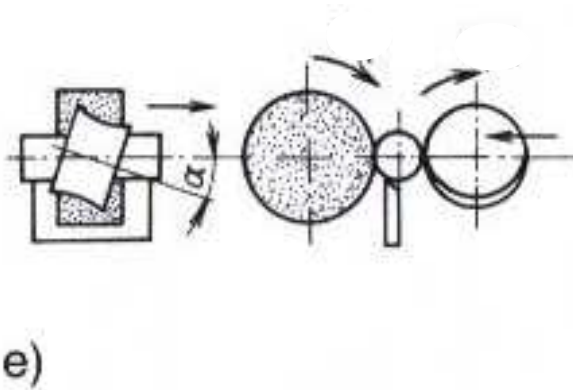
c)

Obr. 12. Broušení do kulata zápichovým způsobem [1]



d)

Obr. 11. Broušení do kulata bezhrotým zápichovým způsobem [1]

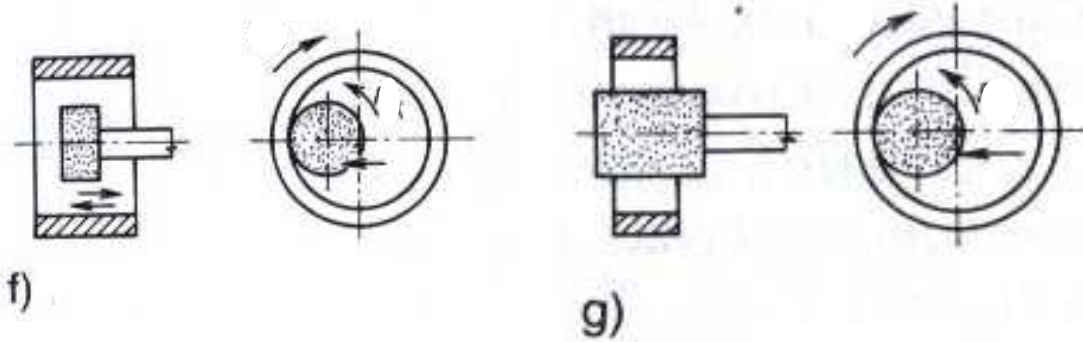


e)

Obr. 10. Broušení do kulata bezhrotým axiálním způsobem [1]

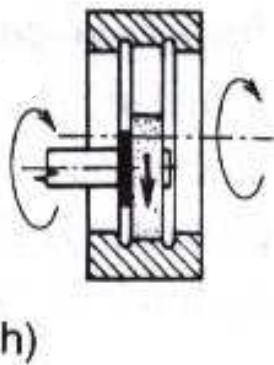
1.3.1 Vnitřní axiální broušení do kulata

Provádí se brousícím kotoučem, jehož průměr je maximálně 0,9 průměru broušené díry. Obrobek se posouvá podélně ve směru osy. Při zápichovém broušení je šířka brousícího kotouče větší, než délka broušené plochy díry. Užším kotoučem lze také brousit vnitřní drážky.

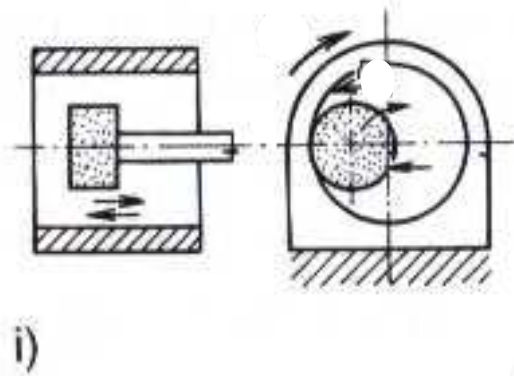


Obr. 16. Vnitřní broušení do kulata podélným způsobem [1]

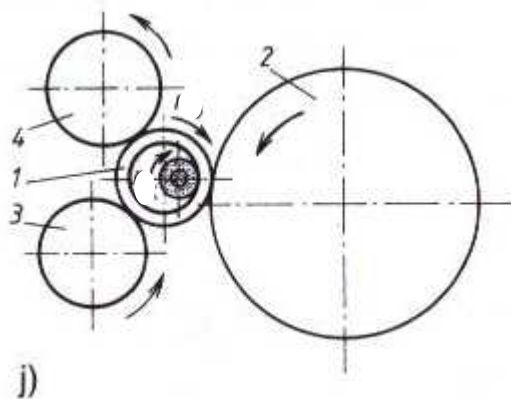
Obr. 15. Vnitřní broušení do kulata zápchovým způsobem [1]



Obr. 14. Broušení vnitřní drážky zapichovacím způsobem [1]



Obr. 13. Vnitřní broušení do kulata planetovým způsobem [1]

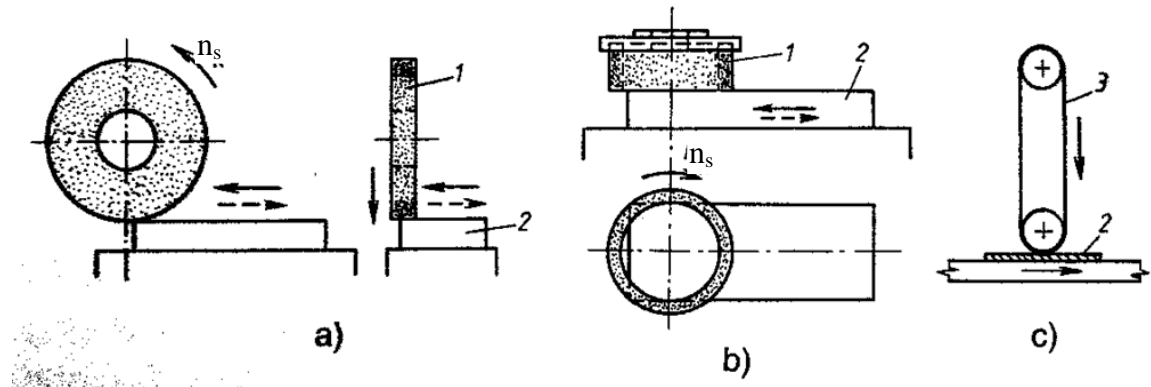


Obr. 17. Vnitřní broušení do kulata bezhrotým způsobem. 1-obrobek, 2,3,4-podávací kladky [1]

1.3.2 Obvodové rovinné broušení

Obrobek koná vratný přímočarý pohyb a pokud je širší, než brousící kotouč, posouvá se ve směru osy kotouče. Zápichovým způsobem lze brousit, pokud je obrobek užší.

Při odbrušování větších přídavků na větších plochách se rovinné plochy brousí čelem kotouče. Vřetenou brusky má svislou osu.

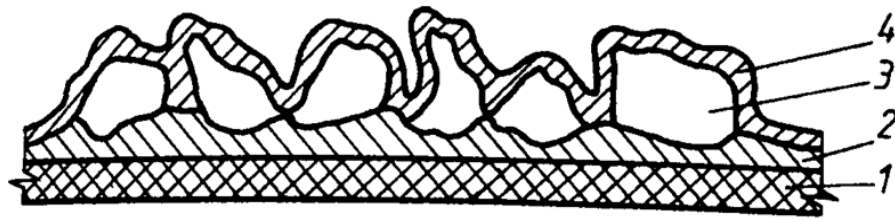


Obr. 18. Rovinné broušení. a) obvodem kotouče, b) čelem kotouče, c) brousícím pásem, 1-brousící kotouč, 2-obrobek, 3-brousící pás [1]

1.3.3 Tvarové plochy:

Brouší se zápichovým způsobem tvarovými brousícími kotouči, nebo se musí kotouči udělit pohyb, který odpovídá broušenému tvaru - buď kopírovacím způsobem, nebo numerickým řízením brusky.

Broušení brousícím pásem je poměrně nová metoda. Umožňuje dosáhnout vysokou produktivitu práce a velmi dobrou jakost obrobeneho povrchu. Uplatňuje se při broušení běžných materiálů i součástí z těžkoobrobitelných, vysoce legovaných ocelí a titanových slitin.



Obr. 19. Brousící pás. 1-nosný pás, 2-pojivo, 3-zrno brusiva, 4-přetěr [1]

Jako nový pás se používá papír nebo textil. Brousící pás se vyrábí buď nasypáním brusiva na pás politý pojivem, nebo se brusivo nanáší v elektrostatickém poli. V druhém případě jsou zrna orientována delší osou kolmo k pásu a řezivost se tím zvýší. Jestliže se při broušení používá chladicí kapalina, je pojivo i přetěr z umělé pryskyřice. Při pásovém broušení se používá stejných řezných rychlostí, jako u brousících kotoučů.

1.3.4 Řezné podmínky

Řezná rychlost (obvodová rychlost kotouče) se volí podle způsobu broušení a podle druhu pojiva. U běžného keramického pojiva se pro vnější broušení používá řezných rychlostí 30 až 35 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, u moderních kotoučů 100 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. U řezacích kotoučů s pryskyřičným pojivem, vyztužených skelnými vlákny, lze použít rychlostí i přes 100 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro rychlostní broušení se vyrábějí speciální kotouče s keramickou vazbou, umožňují brousit rychlostí až 120 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Podélný posuv obrobku při rotačním broušení se volí 0,3 až 0,5 šířky kotouče, při rovinném broušení až 0,7 šířky kotouče. Radiální přísuv kotouče do řezu se při hrubování volí 0,01 až 0,1 mm na zdvih, při broušení načisto do 0,01 mm. Pro zpřesnění rozměru broušené plochy se provede tzv. vyjiskřování, kdy se bez přísuvu ještě několikrát obrobek brousícím kotoučem přebrousí. Tím se vyrovnají pružné deformace soustavy stroj - nástroj - obrobek - upínač, způsobené řeznými silami a tepelnou roztažností. Obvodová rychlost obrobku se, v závislosti na materiálu obrobku a požadované jakosti povrchu volí 20 až 40 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. [1, 3, 4]

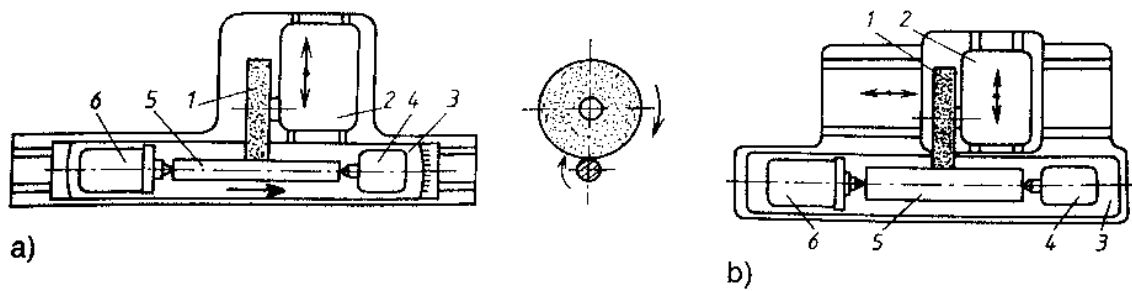
1.4 Stroje

Brusky se dělí podle prováděných operací na:

hrotové	s posuvným stole s posuvným vřeteníkem
na díry	
bezhroté	pro vnější broušení pro vnitřní broušení
rovinné	jednostojanové - pracující obvodem kotouče - pracující čelem kotouče dvoustojanové
nástrojařské	
pásové	
speciální	na jemné broušení na závity na ozubení na klikové hřídele apod.

1.4.1 Hrotové brusky

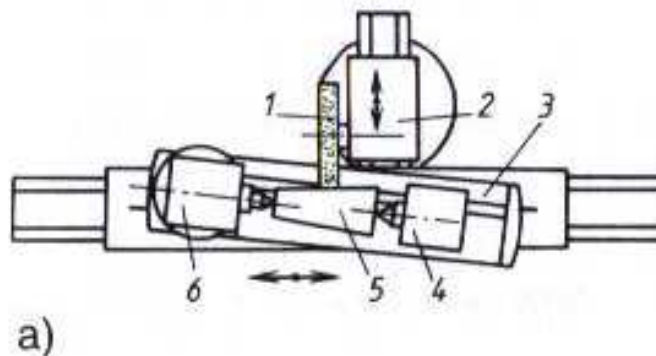
Používají se k broušení rotačních ploch (válcových, kuželových, tvarových) zápichovým nebo axiálním broušením. Vyrábějí se ve dvou typech, buď s posuvným stolem u menších a středních brusek, nebo s posuvným vřeteníkem u velkých brusek.



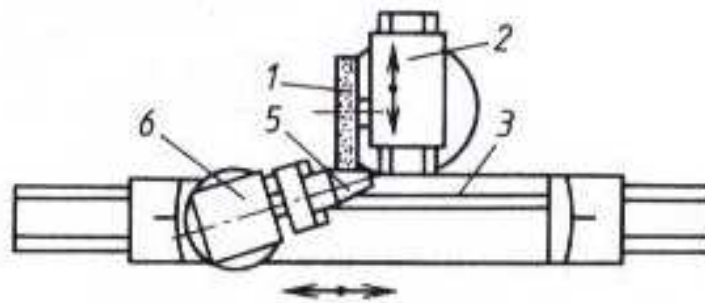
Obr. 20. Hrotové brusky. a) s posuvným stolem, b) s posuvným vřeteníkem, 1-brousící kotouč, 2-brousící vřeteník, 3-stůl, 4-koník, 5-obrobek, 6-pracovní vřeteník [1]

U brusek s posuvným stolem, na kterém je pracovní vřeteník a koník, koná stůl přímočarý vratný pohyb, brousící vřeteník koná přísuv. U brusky s posuvným vřeteníkem se obrobek pouze otáčí, posuv a přísuv koná brousící vřeteník.

Natočení vrchní části stolu umožňuje brousit dlouhé kuželové plochy, natočení vřeteníky krátké kuželové plochy. S přidavným zařízením lze na hrotové brusce brousit díry.

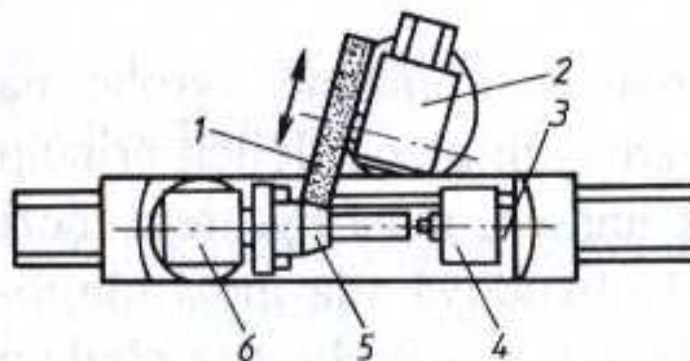


Obr. 21. Broušení kuželových ploch natočením pracovního stolu. 1-brousící kotouč, 2-brousící vřeteník, 3-stůl, 4-koník, 5-obrobek, 6-pracovní vřeteník [1]



b)

Obr. 22. Broušení kuželových ploch natočením pracovního vřeteníku. 1-brousící kotouč, 2-brousící vřeteník, 3-stůl, 4-koník, 5-obrobek, 6-pracovní vřeteník [1]

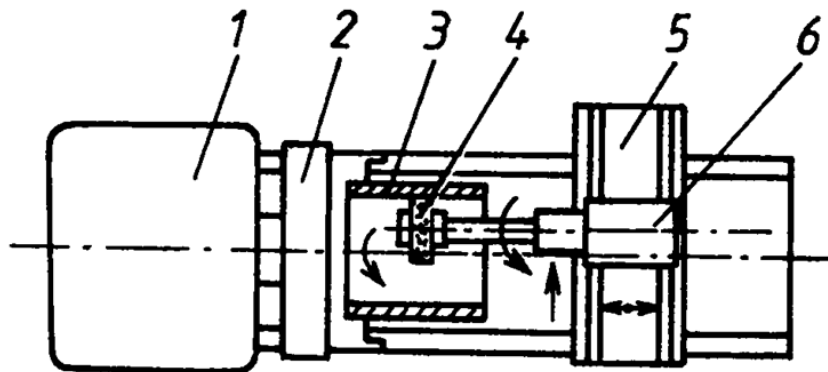


c)

Obr. 23. Broušení kuželových ploch natočením brousícího vřeteníku. 1-brousící kotouč, 2-brousící vřeteník, 3-stůl, 4-koník, 5-obrobek, 6-pracovní vřeteník [1]

1.4.2 Brusky na díry

Umožňují brousit válcové, kuželové i tvarové rotační plochy. Do sklíčidla pracovního vřeteníku se upíná obrobek. Brousící vřeteník má podélný i příčný posuv. Protože je průměr brousícího kotouče malý, jsou otáčky vřetene velmi vysoké. Do 25 000 otáček za minutu se používá pohon vřetene řemenem od elektromotoru, do 120 000 otáček za minutu se používají speciální vysokootáčková vřetena.



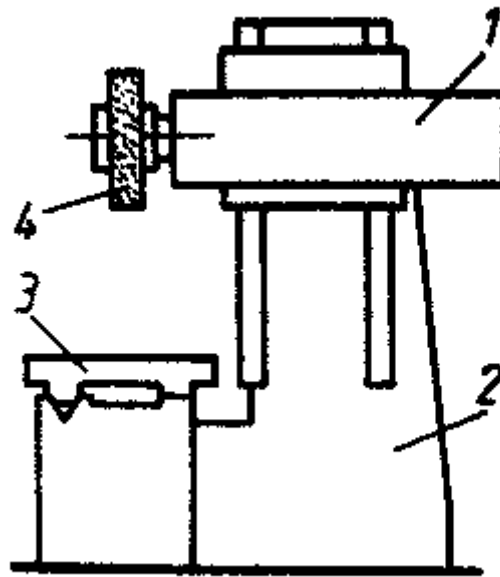
Obr. 24. Bruska na díry. 1-pracovní vřeteník, 2-sklíčidlo, 3-obrobek, 4-brousící kotouč, 5-suport, 6-brousící vřeteník [1]

1.4.3 Bezhruté brusky

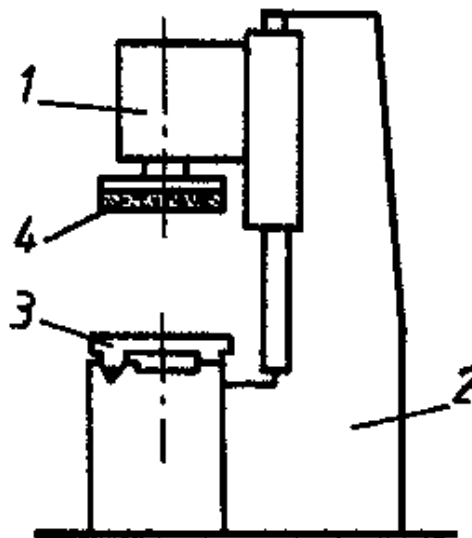
Používají se v sériové a hromadné výrobě na broušení vnějších a vnitřních válcových a tvarových ploch. Aby byl obrobek unášen, musí být tření mezi podávacím kotoučem a obrobkem větší, než obvodová síla mezi obrobkem a brousícím kotoučem. Pro vnitřní broušení musí být obrobek předem obroušen na vnějším povrchu.

1.4.4 Rovinné brusky

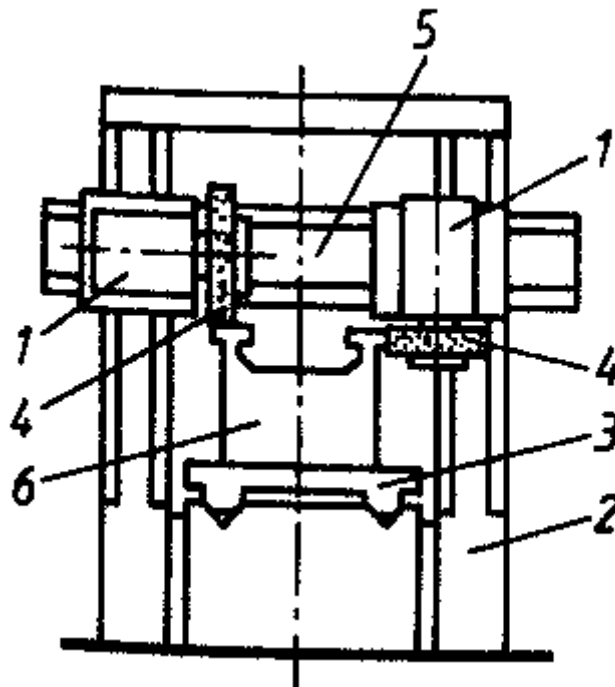
Jsou určeny pro broušení rovinných ploch. Pracují buď obvodem nebo čelem kotouče. Obrobek se upíná na magnetickou upínací desku, nebo na stůl brusky pomocí upínek nebo svěráků.



Obr. 25. Rovinná bruska pracující obvodem kotouče. 1-vřeteník, 2-stojan, 3-pracovní stůl, 4-brousící kotouč [1]



Obr. 26. Rovinná bruska pracující čelem kotouče. 1-vřeteník, 2-stojan, 3-pracovní stůl, 4-brousící kotouč [1]



Obr. 27. Dvoustojanová rovinná bruska. 1-vřeteník, 2-stojan, 3-pracovní stůl, 4-brousící kotouč, 5-příčník, 6-obrobek [1]

1.4.5 Nástrojařské brusky

Jsou určeny pro ostření řezných nástrojů. Brousící vřeteník může konat svislý pohyb a může se natáčet, stůl koná svislý pohyb, podélný a příčný pohyb a může se natáčet. Brusky jsou vybaveny rozsáhlým příslušenstvím.

Mezi speciální nástrojařské brusky patří brusky na ostření soustružnických nožů, vrtáků, závitníků, kruhových závitových čelistí, pil a další.

1.4.6 Pásové brusky

Lze použít pro broušení rovinných, rotačních i tvarových ploch. Výhodou je velký výkon broušení, dobré využití brusiva, malé teplotní ovlivnění broušeného povrchu a snadná výměna brousícího pásu. [1]

1.5 Ostření rezných nástrojů

Řezné nástroje se v procesu obrábění otupují, tím se mění tvar břitu a zhoršuje se jejich řezivost. Ostřením se obnovuje optimální tvar a geometrie břitu.

Nástroje se ostří na speciálních bruskách na nástroje, které umožňují i broušení složitých ploch rezných částí nástrojů. Pro ostření nástrojů z rychlořezných ocelí se používají brousící kotouče z umělého korundu a stále častěji z kubického nitridu boru. Pro ostření nástrojů ze slinutých karbidů se používají brousící kotouče z karbidu křemíku a dnes již často diamantové kotouče.

Začínají se používat nástrojové brusky s CNC řízením, umožňující brousit i komplikované tvarové plochy. To umožňuje dále optimalizovat tvary břitů nástrojů a zvyšovat jejich řezivost. S brousícími kotouči z kubického nitridu boru a diamantovými kotouči jsou tyto brusky navíc velmi výkonné. [1]

2 ŘEZNÉ KAPALINY

Hlavním požadavkem při použití řezné kapaliny je co nejvyšší odvod tepla z místa řezání. Dosáhneme tím buď dokonalým chlazením, nebo mazáním, kdy snížíme vnitřní a vnější tření. Z těchto důvodů jsou nejčastějším chladícím médiem kapaliny, ovšem existují i média konzistentní, např. tuky, nebo pevná ve formě prášku. Tyto prostředky jsou sice při obrábění vynikajícími mazadly, čímž velmi dobře snižují tření, avšak neumožňují odvod tepla z místa řezu. Používají se jen zřídka při speciálních operacích, např. při řezání závitů. Častěji se tyto prostředky používají při tvářecích operacích.

Plynná média jsou v současné praxi málo rozšířená, protože jejich použití je obtížné. Ovšem je zřejmé, že při vhodně zvoleném plynu může docházet jednak k dobrému odvodu tepla, ale i ke snižování tření například chemickými účinky. V poslední době se více používá chlazení vzduchem, v němž je rozptýlena kapalina v malých kapičkách (tzv. chlazení mlhou).

Stále tedy zůstávají nejrozšířenějším řezným prostředkem kapaliny, které kromě mazacího a chladícího účinku plní taky funkci čistící. Dále jsou na kapaliny kladeny požadavky, aby nezpůsobovaly korozi strojů a obrobků, aby byly zdravotně nezávadné a aby byly ekologicky nezávadné a snadno likvidovatelné. [2]

2.1 Chladící kapaliny pro broušení

V místě řezu vzniká značné množství tepla, což je způsobeno vysokou řeznou rychlostí při broušení. A proto je nutné ve většině případů použít při broušení chladící kapalinu, která má tři funkce:

- odvádí část tepla, vzniklého při broušení,
- snižuje tření v místě řezu a tím i množství vzniklého tepla,
- odplavuje vzniklé třísky i odlomené části zrn kotouče.

Chladící kapalina by měla být přiváděna v dostatečném množství. Při běžném broušení asi 1 litr kapaliny za minutu na 1 mm šířky kotouče. Při rychlostním broušení je třeba přivádět kapalinu pod vysokým tlakem až 2 MPa a ve větším množství. Pro běžné broušení se používá roztoků elektrolytů a emulzí, pro náročnější broušení se používají speciální chladící kapaliny a řezné oleje určené pro broušení. [2]

2.2 Volba řezné kapaliny

Zvolení správného řezného média ovlivňuje několik faktorů. Jsou to:

- řezný nástroj
- obráběný materiál
- požadovaná jakost obrobené plochy

2.2.1 Řezný nástroj

Stejně jako volbu řezné kapaliny ovlivňuje zvolený řezný nástroj, tak i volbu nástroje částečně ovlivňuje řezná kapalina.

Nástroje z rychlořezné oceli se musí chladit vždy, zejména pak při obrábění za ztížených podmínek. Nejpoužívanějším nástrojovým materiálem jsou slinuté karbidy, které běžně můžeme používat bez přívodu chladicího média, ale jelikož na obráběcích automatech běžně pracují společně s nástroji z rychlořezné oceli, které se musí chladit, tak i při obrábění slinutými karbidy je nutné pracovat s chladícím médiem.

Jedním z hlavních příčin opotřebení nástroje je teplo, které ovlivňuje jak jeho trvanlivost, tak i jeho pevnost. To se projeví opotřebením nástroje na čele i na hřbetě a proto řezné prostředí dané chladícím médiem má vliv i na trvanlivost nástroje.

2.2.2 Obráběný materiál

U vybírání řezného média s ohledem na obráběný materiál se řídíme následujícími pravidly:

- Při zvyšující se pevnosti obráběného materiálu dochází k většímu namáhání nástroje, větším plastickým deformacím a proto je nutné zvolit řezné médium s vysokotlakými přísadami, nebo o vyšší koncentraci, čímž se zvýší pevnost mazací vrstvy i při vyšších teplotách.
- Křehké materiály, jako např. litina se snadno obrábí i za sucha, ale je zde možné použít chlazení, spíše tedy proti šíření nečistot, než pro zlepšení procesu řezání.
- U ostatních materiálů je nutné sledovat, aby řezné médium nereagovalo s obráběným materiálem.
- Chemické složení materiálu, zejména oceli má velký vliv na určování charakteristik. Je možné provést zevšeobecnění těchto vlastností podle složek, které tvoří základní slitinu.

Obrábění nerezavějících ocelí je obtížné. Zvláštní přísady do řezné kapaliny nám umožňují získat jakostní povrch obrobené plochy a také podstatně zvýšit řeznou rychlost.

U obrábění hliníkových slitin není nutné chlazení, avšak někdy se používá, hlavně pro dosažení vyšší jakosti obrobené plochy.

Hořčíkové slitiny mají velmi dobrou obrobiteľnost a při jejich opracování se dosahuje vysoké jakosti povrchu. Jedná se ale o chemicky velmi reaktivní kovy, proto by měla řezná kapalina obsahovat méně než 0,2 hmotnostních procent volné kyseliny a žádnou vodu.

Slitiny mědi mají značnou proměnlivost ve své obrobiteľnosti. Elektrolytická měď společně se slitinami měď-nikl, fosforovým bronzem, měď-berilium a ostatními slitinami mají špatnou obrobiteľnost a malou tvrdost, třísky, které se tvoří, jsou dlouhé, stáčí se a nalepují se na nástroj. Ale ty materiály, u kterých se tvoří cyklické třísky, které se snáze dělí a porušují, mají také lepší obrobiteľnost.

2.2.3 Jakost obrobené plochy

Řezná kapalina má velký vliv na jakost obrobené plochy. Chladicí kapalina může ovlivňovat tvarovou a rozměrovou přesnost nebo drsnost povrchu. Přívod řezné kapaliny způsobuje, že se mění objem plasticky deformované oblasti, odstraní se tvoření nárůstku na čele nástroje, což se projeví i na výsledné drsnosti povrchu.

Správně zvolená a připravená řezná kapalina může zlepšit drsnost povrchu o 1 až 2 třídy oproti obrábění za sucha. Obvykle se také při přívodu řezné kapaliny snižuje hloubka zpevněné vrstvy. [2]

2.3 Charakteristiky a vlastnosti řezných kapalin

Obecně je můžeme rozdělit na kapaliny s převažujícím chladícím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Z technologického a provozního hlediska je třeba uvést další požadavky na tyto kapaliny:

- Chladicí účinek
- Mazací účinek
- Čistící účinek
- Provozní stálost
- Ochranný účinek

- Zdravotní nezávadnost
- Přiměřené náklady

2.3.1 Chladicí účinek

Chladícím účinkem se rozumí schopnost řezné kapaliny odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každá kapalina, která smáčí povrch kovu a pokud existuje tepelný spád mezi povrchem a kapalinou. Tento účinek nastává při obrábění vždycky. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že proud řezné kapaliny oplachuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá vzniklé teplo.

Chladicí účinek řezných kapalin bude záviset na jejich smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto veličiny větší, bude i větší chladicí účinek řezné kapaliny. Stejně důležité je i průtokové množství. Výparné teplo zvětšuje chladicí účinek kapaliny, ale přílišné odpařování kapaliny není žádoucí. Aby byla řezná kapalina využita hospodárně z hlediska čistoty a zdraví, je nutné vznikající páry odsávat.

2.3.2 Mazací účinek

Mazací účinek je schopnost kapaliny vytvořit na povrchu kovu vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření. Má-li řezná kapalina velkou afinitu ke kovu, nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky v mikroskopické povrchové mezní vrstvě. Mazací účinek znamená proto zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek řezné kapaliny se proto vyžaduje u dokončovacích operací obrábění a při provádění náročných operací, jako je protahování, výroba závitů, nebo výroba ozubení.

2.3.3 Mazací schopnost

Mazací schopnost řezné kapaliny je závislá na její viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. S rostoucí viskozitou se ale zhoršuje pronikání kapaliny mezi třecí plochy, její proudění a také odvod tepla. Viskóznější kapaliny ulpívají také více na třískách a tím dochází ke značným ztrátám.

Přísady dodávané do řezných kapalin mají za úkol zvyšovat pevnost mazacího filmu, a to nejen za nízkých, ale i za vysokých teplot. Mezi tyto přísady patří některé radikály a uhlovodíky - C_nH_{2n} , C_nH_{2n+2} . Jinou skupinu přísad tvoří sloučeniny fosforu, síry, chloru.

2.3.4 Čistící účinek

Čistící účinek řezné kapaliny znamená, že její přívod odstraňuje třísky z místa řezání a např. u broušení zlepšuje vlastnosti broušícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Řezná kapalina má také bránit slepování částic, které vznikají při řezání, ale má vyvolávat jejich usazování.

Jakost čištění závisí i na čistotě vlastní řezné kapaliny, to znamená na odstraňování nečistot, které kapalina odplavila. Větší nečistoty se sice usadí v nádrži, ale menší mohou být proudem vody odnášeny zpět do místa řezání, kde mohou způsobit i zhoršení jakosti obrobeneho povrchu. Velký význam má účinek čištění pro broušení a u těch operací, kdy řezná kapalina musí odnášet třísky z místa řezu např. při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr.

2.3.5 Provozní stálost

Provozní stálost je možné hodnotit dobou výměny řezné kapaliny. Dlouhodobost výměny řezné kapaliny je podmíněna zárukou, že se její vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit. Stárnutí řezné kapaliny olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností řezné kapaliny, její rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátě ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad.

Provozní stálost řezné kapaliny závisí na jejích fyzikálních a chemických vlastnostech a na teplotě.

2.3.6 Ochranný účinek

Ochranný účinek řezné kapaliny se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Toto je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat, aby se také stroje chránily před korozí. Pro vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do řezné kapaliny přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. Dalším důležitým požadavkem je to, aby řezná kapalina nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní vůči gumovým těsněním.

2.3.7 Zdravotní nezávadnost

Zdravotní nezávadnost řezné kapaliny vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích obsluha přichází do styku s řeznou kapalinou. Proto řezná kapalina nesmí být zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždivé sliznici a pokožku a nesmí být jedovaté. Kapaliny také nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem.

Zdravotní nezávadnost řezných kapalin závisí také na jejich provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky apod.

2.3.8 Přiměřené náklady

Přiměřené náklady souvisí především se spotřebou řezné kapaliny. Při rozboru nákladů na řezné kapaliny je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a spotřebu energie. Po tomto rozboru musí následovat hodnocení řezné kapaliny s ohledem na její provozní stálost, spotřebu a výměnu. Je třeba zvážit i náklady na likvidaci řezné kapaliny. [2]

2.4 Rozdělení řezných kapalin

Řezné kapaliny se dělí do dvou následujících skupin:

- chladič kapaliny - s převažujícím chladičím účinkem
- řezné oleje - s převažujícím mazacím účinkem

Do skupiny řezných kapalin s převažujícím chladičím účinkem patří kapaliny na vodní bázi a do skupiny řezných kapalin s převažujícím mazacím účinkem patří kapaliny na bázi oleje.

Řezné kapaliny se obecně dělí do následujících skupin :

- vodní roztoky
- emulzní kapaliny
- mastné oleje
- zušlechtěné řezné oleje
- syntetické kapaliny

2.4.1 Vodní roztoky

Vodní roztoky jsou nejjednodušší řezné kapaliny, ale nejsou příliš výhodné z hlediska aplikace. Voda, jako jejich základ, vyžaduje řadu úprav, jako je její změkčování, přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický.

U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach.

2.4.2 Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny jsou disperzní soustavou dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé. Obvykle se jedná o olej ve vodě. Přitom je třeba využít další složky tzv. emulgátory.

Tyto látky zmenšují mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin a stabilizují emulzi. Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH emulze, ale v daleko menší míře než u vodných roztoků. Emulgační prostředky musí splňovat požadavky především na jakost a spolehlivost účinku při vysokých tlacích. Provozní vlastnosti emulzních kapalin závisí na jejich přípravě.

Pro přípravu emulzní kapaliny je třeba zachovat určitý postup:

- Pro přípravu použít vhodné upravenou vodu
- emulgační prostředek přidávat pozvolně za stálého míchání
- koncentraci emulze volit podle druhu operace a podle množství ochranných látek; koncentrace se obvykle pohybuje v rozmezí 2 až 10 %

2.4.3 Mastné oleje a tuky

Mastné oleje a tuky jsou látky živočišného a rostlinného původu a mají prakticky stejné vlastnosti jako olej minerální. Mají ale menší povrchové napětí a tím i lepší smáčivost, což přispívá k účinnějšímu odvodu tepla.

Velkou nevýhodou těchto mastných látek je značný sklon ke stárnutí, tj. zvyšuje se jejich kyselost a tvoří se pryskyřičné látky. Mezi mastné látky užívané při obrábění patří řepkový olej, ricinový olej, lněný olej a další.

2.4.4 Minerální oleje

Minerální oleje jsou výrobky z ropy, s dobrými mazacími vlastnostmi, ale horším chladícím účinkem. Mají ale dobrý ochranný účinek a dobrou odolnost proti stárnutí. Minerální oleje mají velmi dobré provozní vlastnosti a proto se využívají jako základ pro oleje řezné.

2.4.5 Režné oleje

Režné oleje jsou zušlechtěné minerální oleje. Přísady, které se používají, mají vyšší tlakovou únosnost a také lepší mazací vlastnosti.

Přísady, které zlepšují mazací schopnosti řezných olejů, jsou následující:

- mastné látky
- organické sloučeniny
- pevná maziva

Do první skupiny patří zmydelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny, nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují mazací schopnosti, ale ne za extrémních tlaků.

Do druhé skupiny patří organické sloučeniny určitých prvků, jako je síra, chlor, fosfor. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady. Na povrchu vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, která zabraňují kovovým svarům a usnadňují kluzný pohyb troucích se ploch. Sloučeniny s chlórem zmenšují tření, ale jeho účinnost klesá při teplotách nad 400°C. Sloučeniny s fosforem jsou proto ještě účinnější. Jako nejúčinnější se projevily kombinace sloučenin S, Cl, P.

Přísady musí být vybírány velmi pozorně, nesmí být korozivní, a nesmí být zdravotně závadné. Pevná maziva, která se používají jako přísady do řezných olejů, působí při řezání mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu odolnou proti tlakům a zlepšují mazací schopnosti oleje. Mezi pevná maziva patří grafit a sirník molybdenu. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu.

Syntetické kapaliny se vyznačují velkou provozní stálostí, ale jejich mazací a chladicí účinky nejsou lepší než u minerálních olejů. Kapaliny tohoto druhu jsou většinou rozpustné ve vodě a mají dobrý chladicí i mazací účinek, stejně jako účinek ochranný. [2]

2.5 Přívod řezné kapaliny do místa řezu

Praktické zkušenosti ukazují, že způsob přívodu řezné kapaliny do místa řezu významně ovlivňuje jak trvanlivost nástroje, tak i jakost obrobenej plochy. Jedná se především o tlakové chlazení, podchlazování řezné kapaliny, chlazení mlhou, chlazení vzduchem, chlazení oxidem uhličitým, vnitřní chlazení, chlazení dvěma kapalinami při broušení apod. Podstatou všech těchto metod je zvětšení chladicího a mazacího účinku řezné kapaliny. U většiny způsobů obrábění se řezná kapalina přivádí do míst řezání ze strany povrchu obrobku. [2]

Tab. 3. Doporučené řezné kapaliny pro různé druhy obrábění [2]

Metoda obrábění	ocel			litina	nikl a jeho slitiny	bronz a mosaz	měď a slitiny	hliník a slitiny	hořčík a slitiny
	nízko- uhlíková	s vyšším obsahem uhlíku	nerez oceli						
Soustružení	D 3	D 5	D 10	–	E	D 3	D 3	D 3	B
Vrtání a vystružování	E, D 10	F	J	D 5	E	B	B	B	B
Frézování	D 5	D 5	D 10	D 5	F	B	D 3	D 3	B
Řezání závitů	H	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Řezání závitů na automatech	E	H	H	–	H	B	A	C	B
Válcování závitů	F	F	F	–	–	C	A	B	A
Řezání pilou	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	D 3	B
Výroba ozubení	E	F	J	D 5	–	B	–	–	–
Protahování	J	J	J	D 10	J	C	B	C	B
Broušení	D 2	D 2	D 2	D 2,5	D 2	D 2	D 2	D 2	B
Broušení závitů	J	J	J	–	–	C	–	C	C

A – minerální oleje

E – minerální oleje s přísadami

B – mastné oleje

F – lehké minerální oleje s přísadami

C – maštěné oleje s přísadami

H – oleje aditované

D – emulze (číslo značí koncentraci v %)

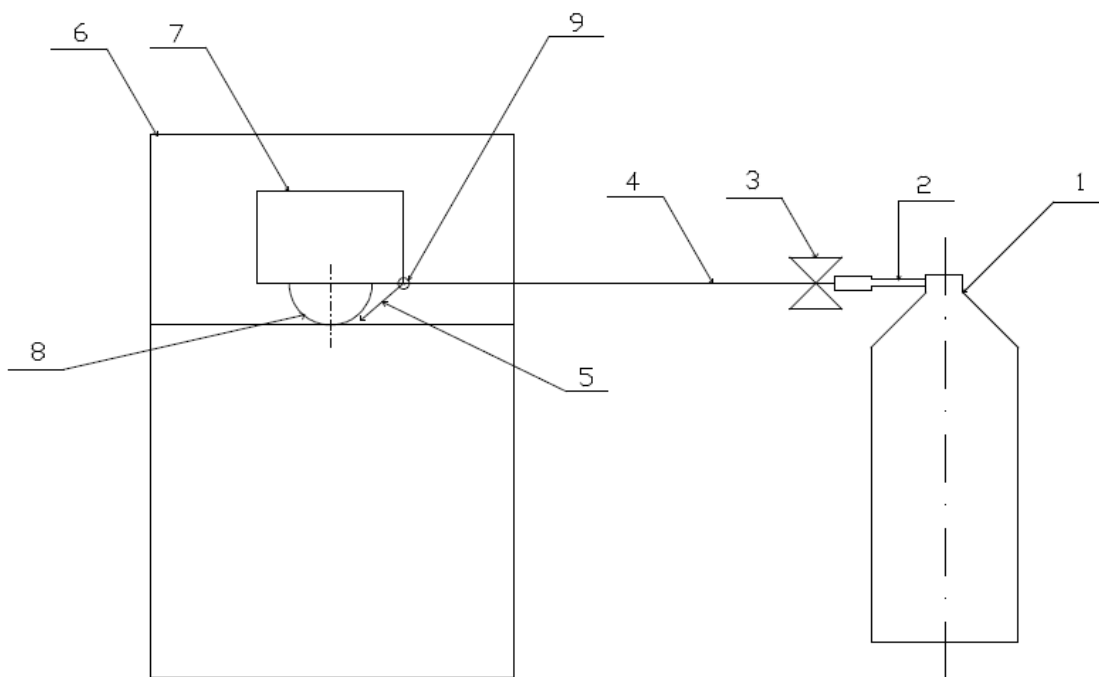
J – maštěné oleje s přísadami

[2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Na obr. 28 máme nákres zařízení, které nám slouží k provedení pokusu, broušení vzorků. Kvůli rozdílnému závitu na ventilu hasícího přístroje a redukčního ventilu je nutné nechat vyrobit redukci s vnitřním závitem W 7/8 a vnějším závitem G 3/4. Na tuto redukci je našroubován redukční ventil s vyhříváním, který nám zaručí, že nám ventil vlivem nízké teploty procházejícího média nezamrzne a bude možné nepřetržitě regulovat průtok. Po redukčním ventilu následuje hadicové vedení, které je zakončeno tryskou v podobě tvarované měděné trubičky. Tryska je zdánlivě jednoduchá, ale využijeme její dobrou tvarovatelnost a tedy přívod média přímo do místa, které nám vyhovuje. Uchycení ke krytu brusky je provedeno magneticky pomocí magnetu a ocelové sponky na hadice. Toto uchycení je jednoduché, ale účelné.



Obr. 28. Návrh zařízení

- 1 – Hasící přístroj sněhový (CO₂) 5 kg - cca 2500,- Kč
- 2 – redukce s vnitřním závitem W 7/8 a vnějším závitem G 3/4 - cca 300,- Kč
- 3 – redukční ventil s vyhříváním – cca 3500 – 4000,- Kč
- 4 – hadice 2 m – cca 50,- Kč
- 5 – tryska (měděná trubička tvarově upravena) – cca 50,- Kč

6 – bruska

7 – kryt

8 – brousící kotouč

9 – magnetické uchycení (neodymový magnet 15x12 mm + hadicová sponka) – cca 60,-

Na základě zjištěných orientačních cen můžeme provést přibližnou cenovou kalkulaci tohoto zařízení, která nám vychází přibližně 7000,- Kč.

Na následujících obrázcích prezentujeme nejdůležitější prvky soustavy:



Obr. 29. Vyhříváný redukční ventil



Obr. 30. Bruska rovinná BRH 20.03 F

4 VLASTNÍ MĚŘENÍ

4.1 Zařízení pro měření

Vzhledem ke složitosti a nákladnosti celého chladicího zařízení jsme pro náš pokus zvolili jednodušší variantu, která se skládala z chlazení přímo z lahve hasicího přístroje, brusky a infračerveného bezdotykového teploměru, jak můžeme vidět na obr. 31.



Obr. 31. Zařízení pro pokus

4.2 Broušení vzorků

4.2.1 Vzorky

Pokus jsme prováděli na čtyřech vzorcích z různých materiálů:

- kalená ocel 19436
- dural
- pryž T317 (kaučuk NR+BR, DSK 85+15, lisování 160°C/16 min, tvrdost SHORE 53,77)
- polymethylmethakrylát (PMMA)

4.2.2 Řezné podmínky

Řezná rychlost $v_f = 21\text{m/min}$

Hloubka záběru $a_e = 0,03\text{ mm}$

Všechny vzorky byly broušeny brousícím kotoučem:

234 x 20 x 76 A 99 80 I 12 V

Materiál brusiva umělý korund (Al_2O_3) bílý, jemnozrnný, kotouč měkký, pórovitý, keramické pojivo

Pozn.: Hloubka záběru nemusela být striktně zachována, vlivem smrštění materiálu daného nízkou teplotou při chlazení.

4.2.3 Broušení:

Na sestaveném zařízení jsme brousili postupně čtyři vzorky za současného chlazení a poté čtyři vzorky stejných materiálů bez chlazení. U každého z těchto materiálů jsme zaznamenávali teplotu před broušením a po broušení a zajímalo nás, o kolik se změní teplota. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny v tabulce 4.

Tab. 4. Teploty broušení

		Chlazení CO ₂			Bez chlazení		
Materiál	Emisivita	T ₀ [°C]	T ₁ [°C]	T ₁ - T ₀ [°C]	T ₀ [°C]	T ₁ [°C]	T ₁ - T ₀ [°C]
PMMA	0,95	-16	7	23	33	41	8
Ocel	0,8	-20	-2	18	32	36	4
Dural	0,8	0	15	15	28	31	3
Přez	0,95	-20	4	24	53	66	13

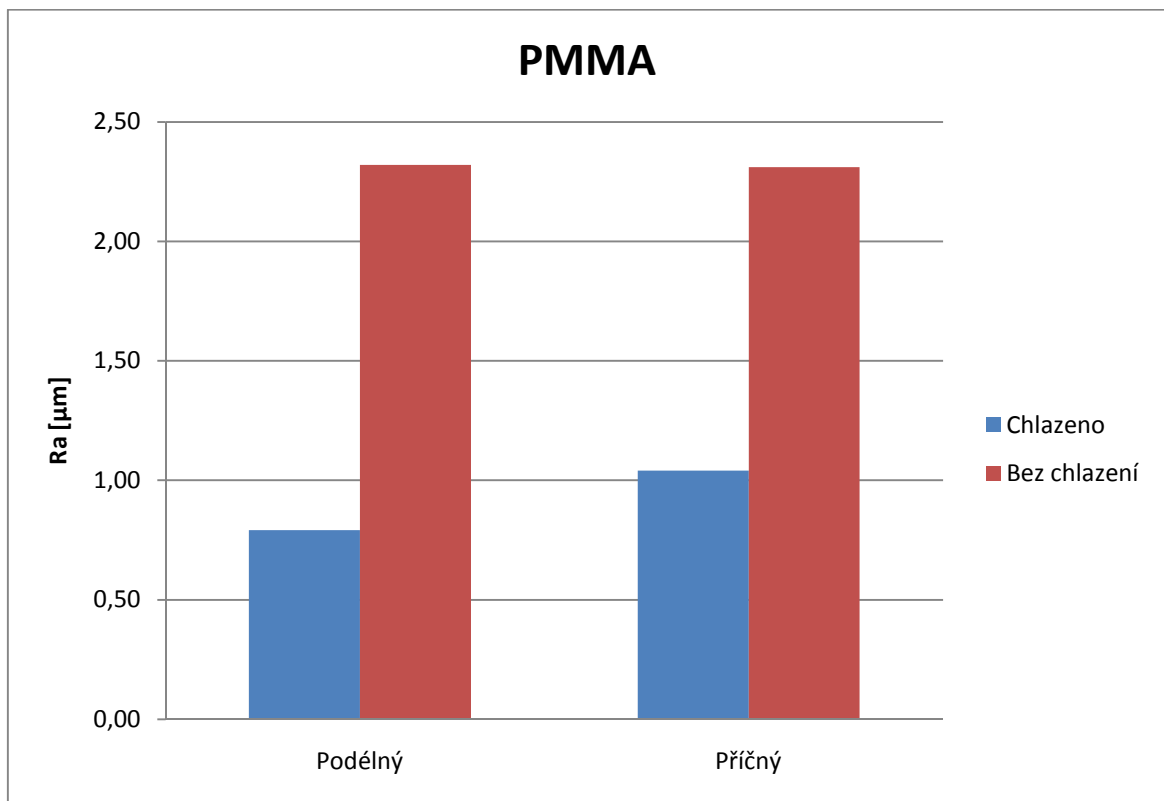
Z tabulky vyplývá, že rozdíly teplot u chlazených součástí jsou větší než u nechlazených, což je ovšem dáno i vlivem teploty okolí. Dále je zajímavé, že plast a přez se zahřívají více než kovové materiály.

4.3 Měření drsnosti

U všech přebroušených vzorků jsme pomocí přístroje Mitutoyo SJ 301 změřili drsnost povrchu. Výsledky jsme zanesli do tabulek a do grafů.

Tab. 5. PMMA

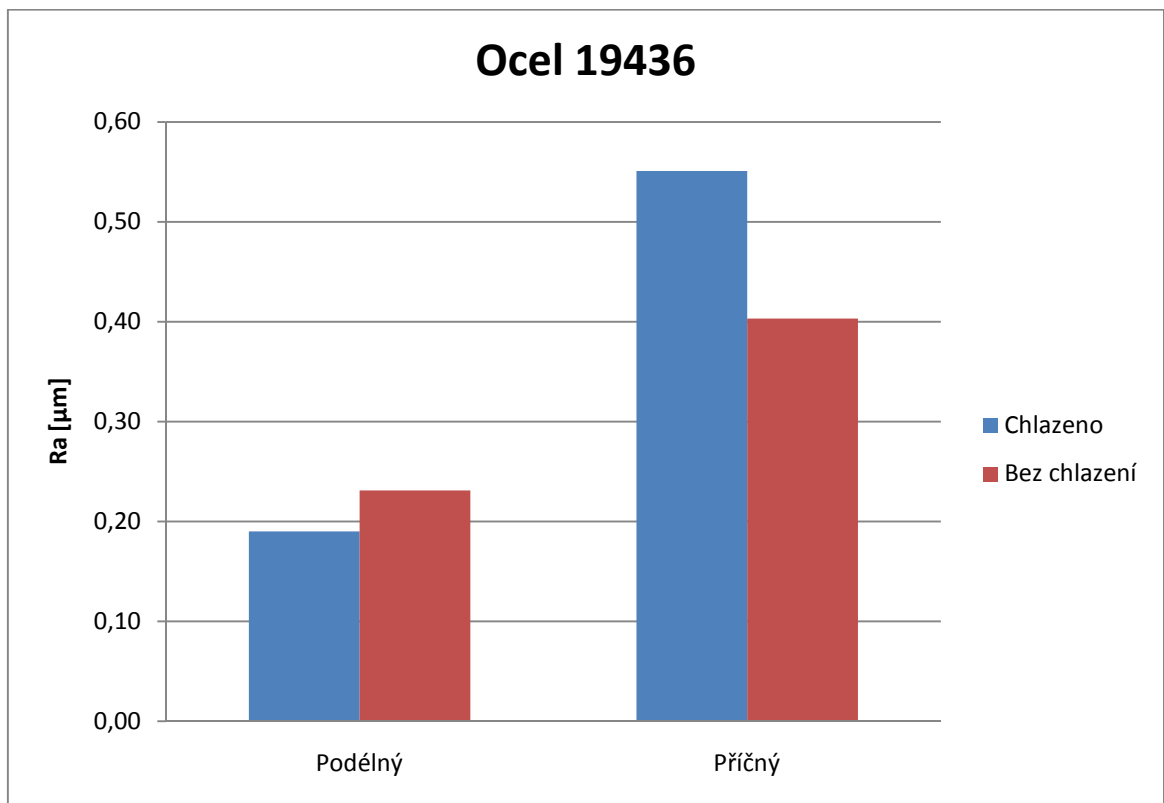
Č. měření	CHLAZENÍ CO ₂				BEZ CHLAZENÍ			
	Podélný		Příčný		Podélný		Příčný	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,83	4,70	0,97	4,71	3,43	17,68	1,88	10,10
2	0,60	3,32	0,90	4,72	1,18	5,98	2,79	15,31
3	0,11	0,61	1,18	6,66	1,88	10,50	3,16	16,73
4	0,92	4,68	1,91	9,75	1,49	7,46	2,69	12,64
5	1,52	7,99	0,74	4,63	2,84	15,73	2,22	10,58
6	0,44	2,71	0,56	3,51	3,55	17,97	2,01	12,01
7	1,52	8,31	1,47	7,76	2,02	10,25	2,64	13,22
8	1,16	7,13	1,18	6,92	1,82	8,05	1,72	10,48
9	0,66	3,05	0,79	5,06	1,97	10,67	2,10	10,58
10	0,16	1,14	0,70	5,26	3,02	15,39	1,90	9,53
průměr	0,79	4,36	1,04	5,90	2,32	11,97	2,31	12,12
Sm. odchylka	0,4750	2,5811	0,3878	1,7649	0,7842	4,1573	0,4527	2,2615



Obr. 32. Graf drsností PMMA

Tab. 6. Ocel 19436

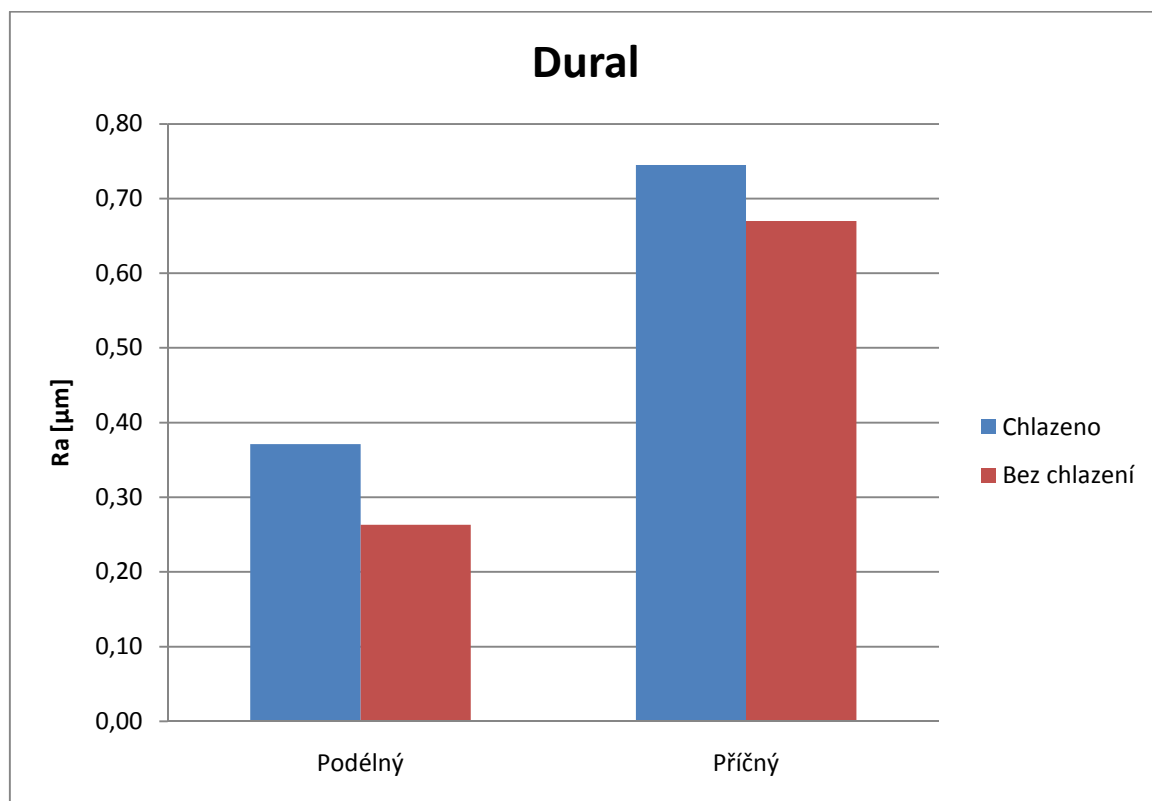
Č. měření	CHLAZENÍ CO ₂				BEZ CHLAZENÍ			
	Podélný		Příčný		Podélný		Příčný	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,25	1,63	0,56	3,14	0,16	1,01	0,41	2,45
2	0,21	1,21	0,57	3,57	0,23	1,43	0,43	2,61
3	0,13	0,96	0,55	3,12	0,27	1,52	0,37	2,26
4	0,24	1,46	0,57	3,29	0,21	1,34	0,42	2,63
5	0,18	1,19	0,55	3,37	0,24	1,53	0,38	2,31
6	0,13	1,12	0,54	3,11	0,22	1,39	0,41	2,45
7	0,14	0,93	0,57	3,05	0,24	1,49	0,40	2,59
8	0,17	1,17	0,53	3,37	0,25	1,45	0,35	2,22
9	0,16	1,14	0,49	2,92	0,19	1,06	0,40	2,56
10	0,29	1,70	0,58	3,04	0,30	1,80	0,46	2,56
průměr	0,19	1,25	0,55	3,20	0,23	1,40	0,40	2,46
Sm. odchylka	0,0525	0,2486	0,0251	0,1864	0,0375	0,2178	0,0297	0,1444



Obr. 33. Graf drsností oceli

Tab. 7. Dural

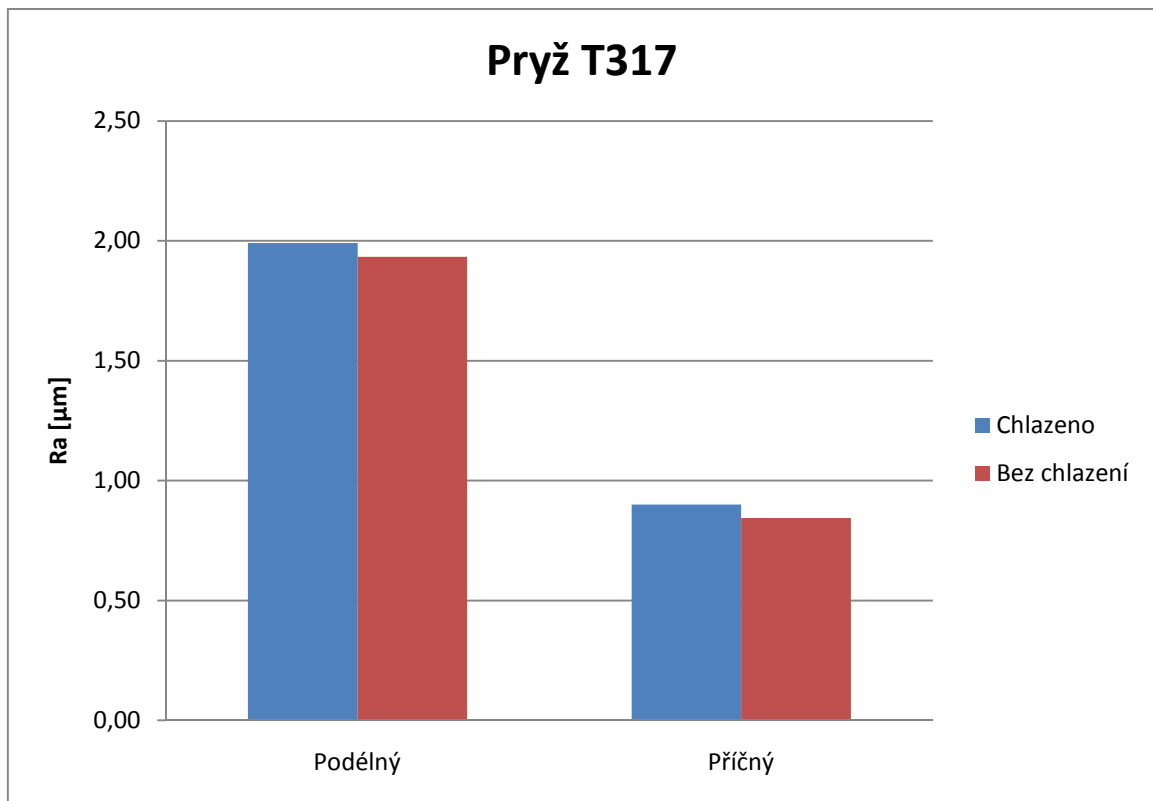
Č. měření	CHLAZENO CO ₂				BEZ CHLAZENÍ			
	Podélný		Příčný		Podélný		Příčný	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,44	2,77	0,60	4,03	0,21	1,69	0,55	3,01
2	0,46	3,08	0,74	4,07	0,38	2,36	0,69	4,03
3	0,15	0,99	0,79	5,43	0,36	2,03	0,59	3,62
4	0,44	2,90	0,71	3,93	0,15	0,91	0,76	4,11
5	0,40	2,65	0,89	5,75	0,28	1,78	0,66	4,11
6	0,36	2,28	0,73	4,16	0,19	1,25	0,58	3,78
7	0,25	1,38	0,74	4,74	0,37	2,05	0,72	4,73
8	0,33	1,83	0,65	4,70	0,23	1,18	0,76	3,93
9	0,50	2,27	0,81	4,53	0,20	1,34	0,81	4,28
10	0,38	2,42	0,79	4,54	0,26	1,81	0,58	2,90
průměr	0,37	2,26	0,75	4,59	0,26	1,64	0,67	3,85
Sm. odchylka	0,1001	0,6397	0,0780	0,5741	0,0780	0,4332	0,0871	0,5291



Obr. 34. Graf drsností duralu

Tab. 8. Pryž T317

Č. měření	CHLAZENO CO ₂				BEZ CHLAZENÍ			
	Podélný		Příčný		Podélný		Příčný	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	2,50	9,55	0,80	3,43	1,58	6,03	0,77	3,59
2	1,83	9,27	0,95	4,54	1,55	5,83	0,98	3,99
3	1,75	8,73	0,92	4,83	1,45	6,81	0,66	3,06
4	1,58	7,17	0,72	3,56	1,92	7,18	0,74	3,60
5	2,09	9,35	1,04	4,71	1,57	6,25	1,09	5,53
6	2,22	9,63	0,98	4,33	1,52	6,02	1,11	5,11
7	2,12	8,04	1,19	5,24	2,30	10,26	0,72	3,60
8	1,94	8,70	0,82	3,61	2,59	10,24	0,72	3,07
9	2,01	7,99	0,72	2,99	2,60	10,56	0,94	5,46
10	1,87	7,56	0,86	3,79	2,25	9,30	0,71	3,03
průměr	1,99	8,60	0,90	4,10	1,93	7,85	0,84	4,00
Sm. odchylka	0,2467	0,8255	0,1399	0,6899	0,4380	1,8921	0,1606	0,9424



Obr. 35. Graf drsností pryže

Z grafů výsledných drsností R_a vidíme, že velký vliv má chlazení na obrábění PMMA, kde rozdíl mezi chlazeným a nechlazeným povrchem je v jednotkách μm . U ostatních materiálů není rozdíl tak markantní, u oceli vidíme rozdíl mezi měřeními drsnosti ve směru vektoru řezné rychlosti a kolmo na tento směr, kdy v podélném směru vyplývá lépe pro chlazený proces a u příčného zase lépe pro nechlazený. Dural je lepší v našem případě brousit bez chlazení, protože drsnost povrchu je v tomto ohledu lepší, v rozmezí jedné a půl desetiny μm . Výsledky broušení pryže vyplývají také lépe pro obrábění bez chlazení, ovšem rozdíly jsou pouze v setinách μm , čili jsou téměř zanedbatelné.

4.4 Použitá zařízení:

- Bruska rovinná BRH 20.03 F
- Ruční bezkontaktní teploměr FLUKE 574 (-30°C - 900°C)
- Mitutoyo SJ 301 – přístroj pro měření drsnosti

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem popsal možnost podchládit materiál při broušení. Vliv podchlazení na kvalitu povrchu oproti nechlazenému broušení, ekonomičnost a celkovou použitelnost metody.

V teoretické části bakalářské práce jsem popsal teorii broušení, brousící kotouče, jejich složení, výrobu brusných materiálů, stroje, na kterých se broušení provádí. V druhé polovině teoretické části jsem rozebral druhy řezných a chladících kapalin, které se v současné době běžně používají. Jejich vlastnosti a složení, použitelnost jednotlivých médií podle druhu obrábění.

V praktické části jsem provedl pokus, při kterém jsem brousil 4 vzorky různých materiálů s chlazením CO_2 a tytéž vzorky bez jakéhokoliv chlazení. Následně jsem u všech vzorků změřil drsnost povrchu a výsledky srovnal v grafech. Ze zjištěných skutečností vyplynulo, že chlazení pomocí CO_2 je výhodné použít při broušení plastových materiálů, kde byl patrný rozdíl mezi chlazeným a nechlazeným povrchem. U ostatních materiálů nebyl rozdíl příliš zřetelný. S ohledem na ekonomičnost bych ovšem tuto metodu chlazení nedoporučil, kvůli velké spotřebě chladícího média. Obroušení čtyř vzorků spotřebovalo 5 kg CO_2 .

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŘASA, J., GABRIEL, V.: Strojírenská technologie 3, 1. díl, Metody, stroje a nástroje pro obrábění. Praha. Grafikon 2000. ISBN 80-7183-207-3
- [2] KOČMAN, K.: Speciální technologie. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8
- [3] KOČMAN, K., PROKOP, J.: Technologie obrábění. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0
- [4] LIEMERT, G.: Teorie obrábění. SNTL Praha, 1970. ISBN 80-7099-429-0
- [5] GRZESIK, W. Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications. 2008. ISBN 978-0-08-044534-2.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

α	Úhel natočení podávacího kotouče
α_0	Ortogonální úhel hřbetu
γ_0	Ortogonální úhel čela
CNC	Computer numerical control – počítačově číslicové řízení
m	Metr
min	Minuta
mm	Milimetr
NC	Numerical control – číslicové řízení
n_s	Otáčky brousícího kotouče
n_w	Otáčky obrobku
Ra	Aritmetický průměr výšek nerovností na povrchu
Rz	Rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším bodem povrchu
r_n	Poloměr ostří
s	Sekunda
μm	Mikrometr
T_0	Teplota před broušením
T_1	Teplota po broušení
PMMA	Polymethylmethakrylát
a_e	Hloubka záběru

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Rozmístění zrn v brousícím kotouči. 1-zrna brusiva, 2-pojivo, 3-póry [1]</i>	13
<i>Obr. 2. Řezné úhly při broušení. 1-zrno, 2-brousící kotouč, 3-obrobek, α_0-ortogonální úhel hřbetu, γ_0-ortogonální úhel čela, r_n-poloměr ostří [1]</i>	14
<i>Obr. 3. Příklad označování kotoučů [1]</i>	17
<i>Obr. 4. Typy brousících kotoučů. 1-plochý, 2-hrncový, 3-miskový, 4-kuželový, 5-prstencový, 6-řezací [1]</i>	17
<i>Obr. 5. Upínání brousícího kotouče. a) pomocí přírub, b) zatměním [1]</i>	18
<i>Obr. 6. Orovnávače. 1-monokrystalický, 2-polykrystalický, 3-práškový, 4-orovnávací kladka, 5-kolečkový, 6-brousící kotouč [1]</i>	19
<i>Obr. 7. Orovňávání monokrystalickým diamantovým orovnávačem. 1-orovnávač, 2-brousící kotouč [1]</i>	20
<i>Obr. 8. Broušení do kulata axiálním hloubkovým broušením [1]</i>	21
<i>Obr. 9. Broušení do kulata axiálním broušením [1].....</i>	21
<i>Obr. 10. Broušení do kulata bezhrotým axiálním způsobem [1]</i>	22
<i>Obr. 11. Broušení do kulata bezhrotým zápichovým způsobem [1]</i>	22
<i>Obr. 12. Broušení do kulata zápichovým způsobem [1].....</i>	22
<i>Obr. 13. Vnitřní broušení do kulata planetovým způsobem [1]</i>	23
<i>Obr. 14. Broušení vnitřní drážky zápichovacím způsobem [1]</i>	23
<i>Obr. 15. Vnitřní broušení do kulata zápichovým způsobem [1].....</i>	23
<i>Obr. 16. Vnitřní broušení do kulata podélným způsobem [1]</i>	23
<i>Obr. 17. Vnitřní broušení do kulata bezhrotým způsobem. 1-obrobek, 2,3,4-podávací kladky [1]</i>	23
<i>Obr. 18. Rovinné broušení. a) obvodem kotouče, b)čelem kotouče, c)brousícím pásem, 1-brousící kotouč, 2-obrobek, 3-brousící pás [1]</i>	24
<i>Obr. 19. Brousící pás. 1-nosný pás, 2-pojivo, 3-zrno brusiva, 4-přetěr [1].....</i>	25
<i>Obr. 20. Hrotové brusky. a) s posuvným stolem, b)s posuvným vřeteníkem, 1-brousící kotouč, 2-brousící vřeteník, 3-stůl, 4-koník, 5-obrobek, 6-pracovní vřeteník [1]</i>	27
<i>Obr. 21. Broušení kuželových ploch natočením pracovního stolu.1-brousící kotouč, 2-brousící vřeteník, 3-stůl, 4-koník, 5-obrobek, 6-pracovní vřeteník [1].....</i>	27
<i>Obr. 22. Broušení kuželových ploch natočením pracovního vřeteníku.1-brousící kotouč,2-brousící vřeteník,3-stůl, 4-koník, 5-obrobek, 6-pracovní vřeteník [1].....</i>	28

<i>Obr. 23. Broušení kuželových ploch natočením brousícího vřeteníku. 1-brousící kotouč, 2-brousící vřeteník, 3-stůl, 4-koník, 5-obrobek, 6-pracovní vřeteník [1]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 24. Bruska na díry. 1-pracovní vřeteník, 2-sklíčidlo, 3-obrobek, 4-brousící kotouč, 5-suport, 6-brousící vřeteník [1]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 25. Rovinná bruska pracující obvodem kotouče. 1-vřeteník, 2-stojan, 3-pracovní stůl, 4-brousící kotouč [1]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 26. Rovinná bruska pracující čelem kotouče. 1-vřeteník, 2-stojan, 3-pracovní stůl, 4-brousící kotouč [1]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 27. Dvoustojanová rovinná bruska. 1-vřeteník, 2-stojan, 3-pracovní stůl, 4-brousící kotouč, 5-příčnick, 6-obrobek [1]</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 28. Návrh zařízení</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 29. Vyhřívaný redukční ventil.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 30. Bruska rovinná BRH 20.03 F</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 31. Zařízení pro pokus</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 32. Graf drsností PMMA</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 33. Graf drsností oceli.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 34. Graf drsností duralu</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 35. Graf drsností pryže</i>	<i>53</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Nejpoužívanější brousící materiály [1]</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 2. Struktura kotoučů [1]</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 3. Doporučené řezné kapaliny pro různé druhy obrábění [2].....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 4. Teploty broušení</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 5. PMMA.....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 6. Ocel 19436.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 7. Dural.....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 8. Pryž T317.....</i>	<i>52</i>