

Obrábění kovů a plastů za nízkých teplot

Roman Janda

Bakalářská práce
2012

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman JANDA**
Osobní číslo: **T090011**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Obrábění kovů a plastů za nízkých teplot**

Zásady pro vypracování:

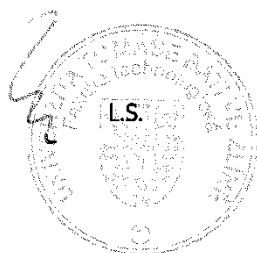
- 1. Teoretická studie na dané téma**
- 2. Příprava experimentu pro obrábění za nízkých teplot**
- 3. Frézování kovových a plastových materiálů za nízkých teplot**
- 4. Vyhodnocení výsledků a porovnání při frézování bez použití chladicího média**

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: **13. února 2012**
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

Ve Zlíně dne 8. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ 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

.....

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 pořizovat 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 vzdělávacího 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). Odpirá-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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá frézováním kovových a plastových materiálů u nechlazeného a chlazeného povrchu. Rozhodující je výsledná drsnost povrchu. V teoretické části jsou rozebrány nejpoužívanější technologie, jako je frézování, soustružení, vrtání a broušení. Dále jsou zde popsány druhy chladicích kapalin, kryogenního chlazení a bezpečnost při používání. Praktická část je založena na přípravě experimentu, vyhodnocení a porovnání výsledků mezi obroběnými vzorky.

Klíčová slova: frézování, drsnost povrchu, plasty, kovy, kryogenní chlazení

ABSTRACT

My bachelor's thesis is focused on the milling of metal and plastic materials on uncooled and cooled surface. The resulting surface roughness is decisive. The most popular technology such as milling, turning, drilling and grinding are described in the theoretical part. In this part we can also find types of coolants, cryogenic coolers and safety in use. The practical part is based on a preparation of the experiment, its evaluating and comparing the results between the machined samples.

Keywords: milling, surface roughness, plastics, metals, cryogenic cooler

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D. za vedení, užitečné rady, ochotu a pomoc v laboratořích ÚVI a při psaní této práce.

Motto:

Lidské vědění a moc jsou totožné. Vědění je moc.

Francis Bacon

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 OBRÁBĚNÍ KOVŮ	13
1.1 FRÉZOVÁNÍ.....	13
1.1.1 Podle smyslu otáčení frézy vůči směru posuvu dělíme frézování.....	14
1.1.2 Nástroje	15
1.1.3 Nástrojové materiály	17
1.1.4 Upnutí nástrojů a obrobků.....	18
1.1.5 Frézovací stroje	18
1.2 SOUSTRUŽENÍ.....	19
1.2.1 Nástroje	20
1.2.2 Upnutí nástrojů a obrobků.....	21
1.2.3 Soustružnické stroje	23
1.2.4 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu	25
1.3 VRTÁNÍ	25
1.3.1 Nástroje na vrtání	26
1.3.2 Řezné rychlosti	27
1.3.3 Stroje	27
1.3.4 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu	30
1.4 BROUŠENÍ.....	30
1.4.1 Nástroje pro broušení	31
1.4.2 Základní rozdělení broušení	33
1.4.3 Chladicí kapaliny.....	33
1.4.4 Stroje	34
1.4.5 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu	35
2 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ	36
2.1 VLASTNOSTI PLASTŮ	37
2.2 OBRÁBĚCÍ OPERACE	37
2.2.1 Obrábění reaktoplastů	37
2.2.2 Nástroje na obrábění reaktoplastů	38
2.2.3 Obrábění termoplastů	39
2.2.4 Nástroje na obrábění termoplastů.....	39
3 CHLADICÍ KAPALINY	40
3.1 METODY CHLAZENÍ VE STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGII.....	40
3.2 VOLBA ŘEZNÉ KAPALINY.....	40
3.2.1 Řezný nástroj.....	41
3.2.2 Obráběný materiál	41
3.2.3 Jakost obrobenej plochy	41

3.3	VLASTNOSTI ŘEZNÝCH KAPALIN.....	42
3.4	ROZDĚLENÍ ŘEZNÝCH KAPALIN	42
3.5	PŘÍVOD ŘEZNÉ KAPALINY DO MÍSTA ŘEZU	43
3.6	BEZPEČNOST PŘI PRÁCI S ŘEZNÝMI KAPALINAMI	43
3.7	KRYOGENNÍ CHLAZENÍ	44
3.8	MĚŘENÍ TEPLOT.....	44
3.8.1	Metody měření teplot	45
3.9	BEZPEČNOST PŘI PRÁCI S KRYOKAPALINAMI	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST	47
4	PŘÍPRAVA EXPERIMENTU	48
4.1	UNIVERZÁLNÍ FRÉZKA	48
4.1.1	Volba řezných podmínek.....	48
4.2	NÁSTROJ	49
4.3	MITUTOYO SJ-301	49
4.4	ZPŮSOB CHLAZENÍ VZORKŮ	50
4.5	DVOUSLOŽKOVÝ TENZOMETRICKÝ DYNAMOMETR	51
4.6	FLUKE 574.....	51
5	POUŽITÉ MATERIÁLY	53
5.1	POLYKARBONÁT.....	53
5.2	POLYOXOMETYLEN	54
5.3	POLYVINYLCHLORID.....	54
5.4	POLYPROPYLEN	55
5.5	DURAL AW 5083	55
5.6	TŘÍVRSTVÝ LAMINÁT	56
5.7	PĚTIVRSTVÝ LAMINÁT	56
6	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	58
6.1	FRÉZOVANÉ VZORKY	58
6.2	POLYKARBONÁT.....	58
6.2.1	Měření drsnosti.....	58
6.2.2	Řezné síly	60
6.3	POLYOXOMETYLEN	61
6.3.1	Měření drsnosti.....	61
6.3.2	Řezné síly	63
6.4	POLYVINYLCHLORID.....	64
6.4.1	Měření drsnosti.....	64
6.4.2	Řezné síly	66

6.5	POLYPROPYLEN	67
6.5.1	Měření drsnosti.....	67
6.5.2	Řezné síly	69
6.6	DURAL AW 5083	70
6.6.1	Měření drsnosti.....	70
6.6.2	Řezné síly	72
6.7	TŘÍVRSTVÝ LAMINÁT	73
6.7.1	Řezné síly	73
6.8	PĚTIVRSTVÝ LAMINÁT	75
6.8.1	Řezné síly	75
7	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	77
7.1	POLYKARBONÁT.....	77
7.2	POLYOXOMETYLEN	77
7.3	POLYVINYLCHLORID.....	77
7.4	POLYPROPYLEN	77
7.5	DURAL AW 5083	78
7.6	TŘÍVRSTVÝ LAMINÁT	78
7.7	PĚTIVRSTVÝ LAMINÁT	78
ZÁVĚR		80
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		81
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		82
SEZNAM OBRÁZKŮ		83
SEZNAM TABULEK.....		86

ÚVOD

Teorie třískového obrábění kovů a plastů je velice rozsáhlým vědním oborem. Obrábění kovů na obráběcích strojích vzniklo jako jedna ze základních strojírenských výrobních technologií v počátcích průmyslové revoluce. Bylo vyvoláno potřebou výroby továrních strojů. Vlastní obrábění kovů má však svoji prehistorii, protože dějiny obrábění nezačínají až průmyslovou revolucí. V oněch začátcích se jednalo o ruční obrábění materiálů vůbec (dřevo, kámen). V pozdním středověku se začalo prudce rozvíjet hodinářství a výrazně pokročila výroba palných zbraní, což obojí vyvolalo vyšší nároky na zdokonalení obrábění kovů. Pro počátky strojního obrábění kovů byly určujícími dvě obráběcí technologie soustružení a vrtání. V pozdějším vývoji obráběcích strojů zaujaly příslušné místo frézky se svými nástroji tzv.: frézami. První frézy byly zhotoveny na konci osmnáctého století. Používalo se jich hlavně v zámečnictví na rozmanité pilovací práce. Frézovací stroje, obdobně jako jiné obráběcí stroje byly nepřetržitě zdokonalovány. Na jejich celkovou konstrukci měly největší vliv rychlořezné oceli a tvrdé kovy. Hlavní příčinou, proč se frézování stále více rozmáhá, je především rozmanitost fréz a specializace frézek. Historie plastů je ve srovnání s historií kovů poměrně krátká. Ve 30. a 40. letech 20. století byla objevena většina dosud využívaných plastů. Při obrábění plastů se používají obdobné operace jako při obrábění kovů.

Bakalářská práce popisuje možnosti využití povrchové podchlazení obráběného materiálu při frézování s použitím CO₂.

V teoretické části je popsána technologie obrábění kovů a plastů. Vypsány jsou nejpoužívanější technologie, jako je frézování, soustružení, vrtání a broušení. Nejpodrobněji je rozebráno obrábění frézováním, protože na toto obrábění navazuje praktická část této práce. Následuje popis druhů chladicích kapalin, kryogenního chlazení a bezpečnost při používání.

V praktické části je řešeno frézování kovových a plastových materiálů za nízkých teplot. Vzorky různých materiálů jsou upnuty ve dvousložkovém tenzometrickém dynamometru, který je přichycen k pracovnímu stolu frézky. Během procesu frézování jsou dodrženy stejné řezné podmínky jak bez použití chlazení, tak s chlazením CO₂.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚNÍ KOVŮ

Při výrobě strojírenských výrobků je obrábění na předním místě. Umožňuje vytvořit z polotovaru výrobek požadovaného tvaru nebo požadované rozměrové přesnosti a jakosti obrobených ploch. Obrábění je technologický proces, kde je přebytečná část materiálu oddělována z obrobku ve formě třísky břitem řezného nástroje.

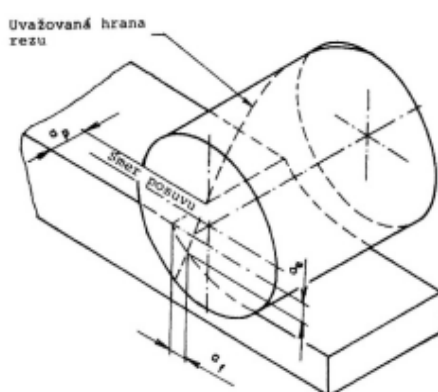
1.1 Frézování

Obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebírá břity otáčejícího se nástroje. Obrábíme rovinné nebo tvarové plochy pomocí vícebřitého nástroje.

Nástrojem je fréza, která je obvykle vícebřitá. Při frézování nástroj koná hlavní řezný pohyb (otáčivý) a obrobek koná pohyb posuvný obvykle přímočarý, někdy i otáčivý. Jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísku proměnného průřezu.

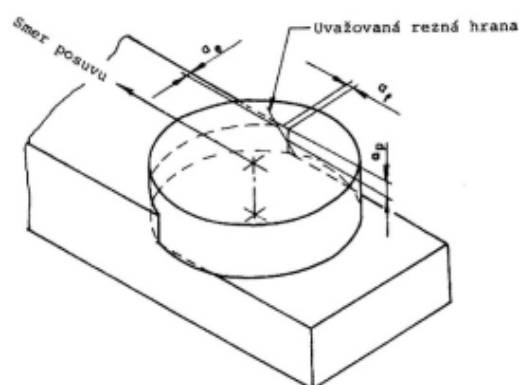
U frézování máme dva základní způsoby:

- frézování obvodem válcové frézy – při válcovém frézování se třísky z obrobku odebírá břity uspořádanými po obvodu frézy,
- frézování čelem čelní frézy – při čelním frézování je osa frézy kolmá k frézované ploše, odkud se oddělují třísky břity na čele.



Obr. 1 Frézování obvodem válcové frézy[7]

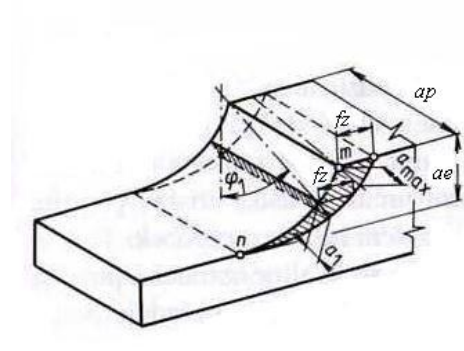
a_e - radiální hloubka řezu, a_p - axiální hloubka řezu, a_f - záběr řezné hrany ve směru posuvu



Obr. 2 Frézování čelem čelní frézy[7]

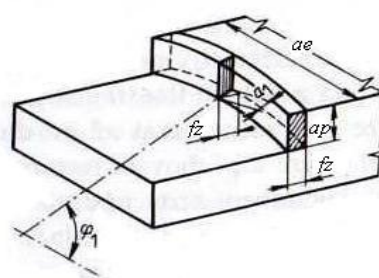
a_e - radiální hloubka řezu, a_p - axiální hloubka řezu, a_f - záběr řezné hrany ve směru posuvu

Válcová fréza při frézování řeže zuby na obvodě, kdežto u čelní frézy při frézování řežou zuby na obvodě tak i na čele.[1]



Obr. 3 Průřez třísky odebíraný při válcovém frézování

a_p - axiální hloubka řezu, a_e - radiální hloubka řezu, f_z - posuv na zub, a_1 - tloušťka třísky pro úhel φ_1 , a_{max} - maximální tloušťka třísky[1]



Obr. 4 Průřez třísky odebíraný při čelním frézování

a_e - radiální hloubka řezu, a_p - axiální hloubka řezu, f_z - posuv na zub, a_1 - tloušťka třísky pro úhel φ_1 [1]

1.1.1 Podle smyslu otáčení frézy vůči směru posuvu dělíme frézování

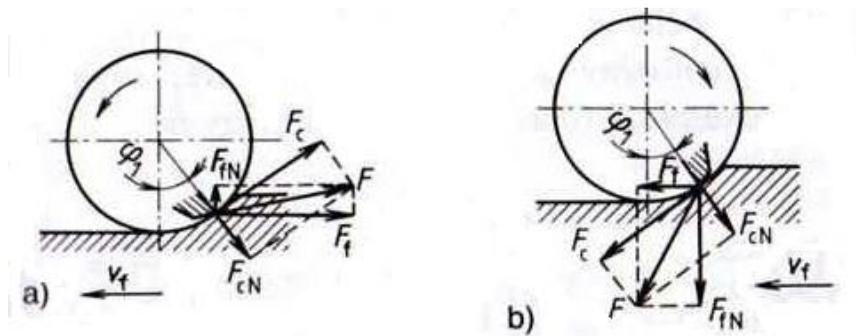
- Nesousledné – zde je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. Řezná síla působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu.
- Sousedné – zde je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká, když zub vychází ze záběru. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Řezná síla působí obvykle směrem dolů a přitahuje obrobek ke stolu.[2]

Výhody nesousledného frézování:

- trvanlivost nástroje nezávisí na okujích,
- není potřeba vymezení vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje.

Výhody sousledného frézování:

- vyšší trvanlivost břitů,
- menší potřebný řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, proto lze použít jednodušších upínacích přípravků,
- lepší kvalita obrobenej plochy.[2]



Obr. 5 Frézování

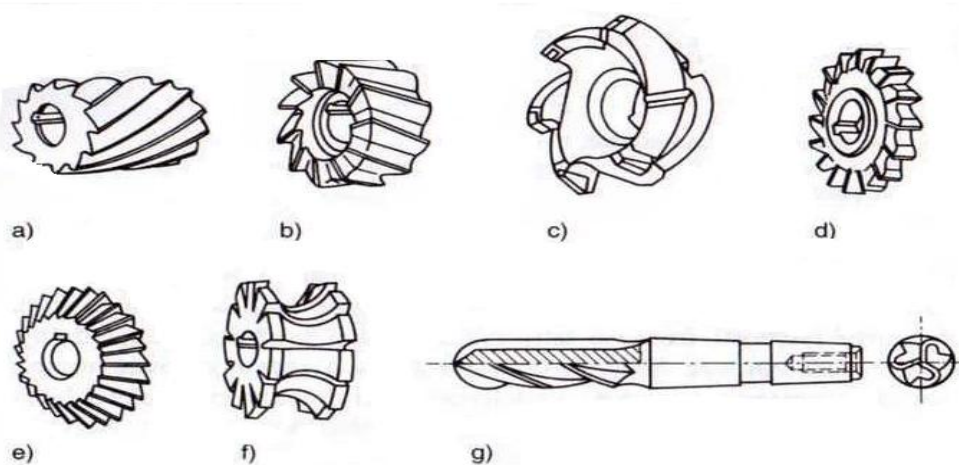
a) nesousledné, b) sousledné

F - řezná síla F_c , F_{cN} , F_f , F_{fN} , - složky řezné síly, v_f - rychlost posuvu, φ_1 - úhel okamžité polohy zubu[1]

1.1.2 Nástroje

Frézy můžeme dělit z různých hledisek např.: podle umístění břitů, tvaru zubů, průběhu ostří, upínání a konstrukce.

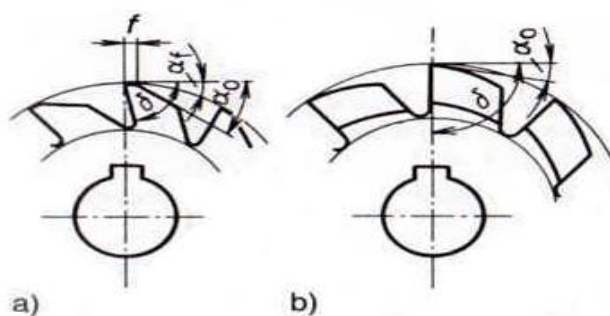
- Podle umístění břitů:
 - válcové,
 - rovinné,
 - kuželové,
 - kulové,
 - k tvarové ploše.



Obr. 6 Některé druhy fréz

a) válcová, b) čelní, c) frézovací hlava, d) kotoučová, e) kuželová, f) tvarová, g) stopková s kulovým čelem[1]

- Podle tvaru zubů jsou frézy:
 - s frézovanými zuby,
 - s podsoustruženými zuby.

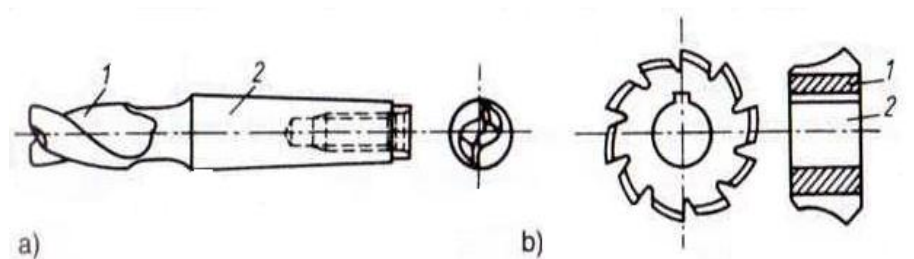


Obr. 7 Zuby fréz

a) frézovaný zub, b) podsoustružený zub

α_0 - úhel hřbetu, α_f - úhel hřbetu na fazetce, δ - úhel řezu, f - šířka fazetky[1]

- Podle průběhu ostří zubů:
 - s přímými zuby (zuby jsou rovnoběžně s osou např.: u válcové frézy),
 - zuby do šroubovice (pravotočivé či levotočivé např.: u čelní frézy).
- Podle upínání:
 - stopkové s kuželovou nebo válcovou stopkou,
 - nástrčné.



Obr. 8 Fréza

a) s kuželovou stopkou (kužel Morse): 1 - řezná část, 2 - stopka

b) nástrčná: 1 - těleso, 2 - upínací otvory[1]

- Podle konstrukce:
 - celistvé s vyměnitelnými břitovými destičkami se zuby ze slinutých karbidů, z rychlořezných ocelí nebo i z řezné keramiky,
 - skládané z více samostatných fréz, které slouží pro frézování složitých tvarů.[1]

1.1.3 Nástrojové materiály

Celistvé frézy se vyrábějí z rychlořezných ocelí obráběním nebo přesným litím. Frézy o malých rozměrech se vyrábějí jako celistvé ze slinutých karbidů. Těleso frézy je vytvořeno z konstrukčních ocelí o vyšší pevnosti. Frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami mají zuby tvořené destičkami z řezné keramiky, slinutých karbidů nebo rychlořezné oceli.[1]

1.1.4 Upnutí nástrojů a obrobků

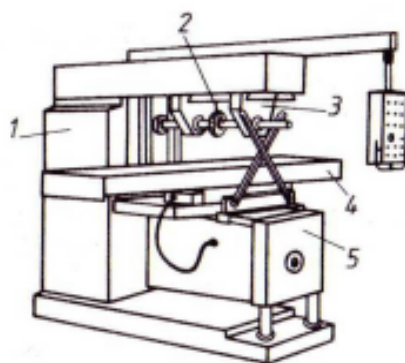
Upnutí nástroje musí zaručit maximální tuhost a minimální radiální a axiální házení nástroje. Nástrčné frézy se upínají na trn, který je ukončen kuželem ISO nebo kuželem Morse. Točivý moment u upínacího trnu na frézu se přenáší perem. Frézy s válcovou stopkou se upínají do sklíčidla s upínací kleštinou. Frézy s kuželovou stopkou ISO se upínají přímo nebo s redukcí do vřetene frézky. Frézy se stopkou Morse se upínají do vřetene přímo nebo pomocí redukce. Upnutí fréz se stopkou ISO a Morse je jištěno šroubem.

Obrobek se upíná na pracovní stůl frézky. Upnutí obrobku musí být dostatečně tuhé, aby zamezilo hybnosti obrobku. K upnutí se používají strojní svěráky, upínky se šrouby a různé přípravky.[1]

1.1.5 Frézovací stroje

Frézky se obvykle rozdělují na konzolové, rovinné a speciální.

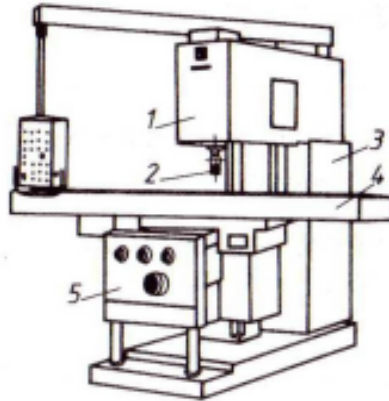
- a) Konzolové frézky – jsou vybaveny konzolou posuvnou po stojanu stroje, na které je pracovní stůl na upínání obrobku. Konzola umožňuje svislý pohyb stolu. Stůl má podélný a příčný posuv. Nejčastěji používané.
 - Vodorovné konzolové frézky – mají horizontální vřeteno, které je rovnoběžné s rovinou pracovního stolu. Na této frézce se obrábějí nejčastěji drážky kotoučovými nebo tvarovými frézami.



Obr. 9 Vodorovná konzolová frézka

1 - stojan s vřeteníkem, 2 - nástrčná fréza na trnu, 3 - opěrné ložisko, 4 - pracovní stůl, 5 - konzola[1]

- Svislé konzolové frézky – mají vertikální vřeteno s osou kolmou na plochu pracovního stolu frézky. Na této frézce se obrábějí nejčastěji rovinné plochy a drážky čelními frézami.



Obr. 10 Svislá konzolová frézka

1 - vřeteník, 2 - fréza upnutá ve svislém vřetenu, 3 - stojan, 4 - pracovní stůl, 5 - konzola[1]

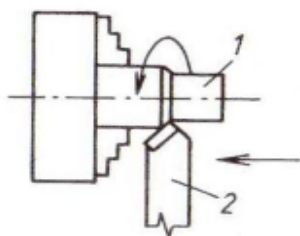
- Univerzální konzolové frézky – mají podobnou konstrukci jako vodorovné konzolové frézky. Pracovní stůl mají však otočený o 45°, tato úprava umožňuje frézování šroubovic.
- b) Rovinné frézky – od konzolových frézek se liší tím, že pracovní stůl se pohybuje pouze v podélném směru po pevné loži. Na této frézce se obrábějí rovinné plochy větších součástí, pomocí čelními a kotoučovými frézami a frézovacími hlavami.
- c) Speciální frézky – jsou určené pro speciální frézovací operace. Např.: frézky na závity, ozubení, drážky, atd.[1,3]

1.2 Soustružení

Obráběcí metoda, při které pomocí jednobřitého nástroje obrábíme vnější, vnitřní a čelní plochy na rotačních obrobkách.

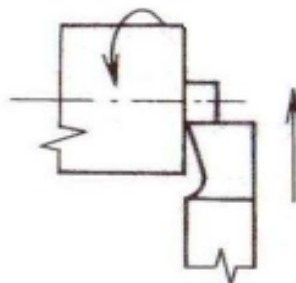
Hlavním pohybem při soustružení je otáčivý pohyb obrobku. Nástroj koná vedlejší pohyby, jako je podélný posuv a příčný posuv.

Výsledkem podélného posuvu je válcová plocha a příčného posuvu je čelní rovinná plocha. Nástroj kromě posuvu koná i přísuv, tím se nastavuje požadovaná hloubka řezu.



Obr. 11 Podélné soustružení

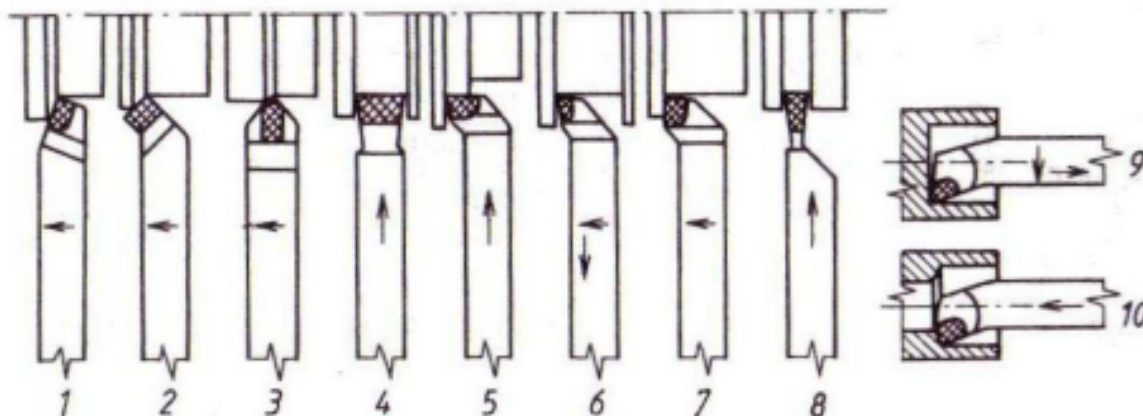
1 - obrobek, 2 - nástroj[1]



Obr. 12 Čelní soustružení[1]

1.2.1 Nástroje

Soustružnické nože – mají obvykle jednoduchý geometrický tvar ostří a jsou většinou jednobřité. Nože mívají obdélníkový, čtvercový nebo kruhový průřez a jsou namáhána na ohyb.



Obr. 13 Základní tvary soustružnických nožů

1 - ubírací přímý, 2 - ubírací ohnutý, 3 - hladicí, 4 - nabírací, 5 - ubírací čelní, 6 - rohový, 7 - ubírací stranový, 8 - zapichovací, 9 - vnitřní rohový, 10 - vnitřní ubírací[1]

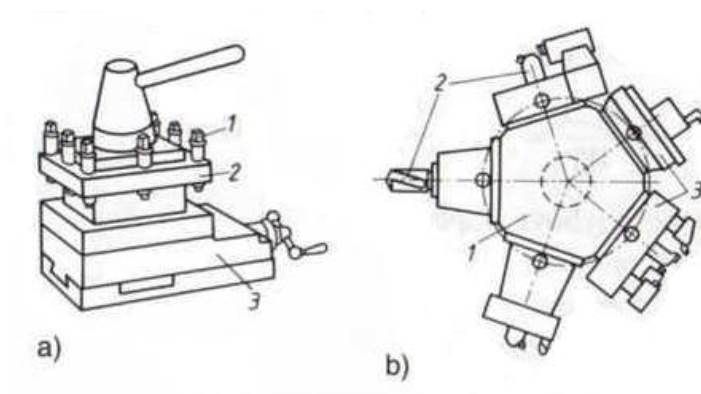
Nejdůležitější hlediska:

- materiál břitu – nože s břity jsou ze slinutých karbidů, z nástrojových ocelí, z řezné keramiky, atd.,
- způsob obrábění – ubírací, zapichovací, upichovací, závitové, atd.,
- konstrukce – celistvé nože, nože s pájenou a vyměnitelnou břitovou destičkou,
- tvar stopky nože – přímé a ohnuté nože.

Soustružnické nože mohou mít i mechanické upínání vyměnitelných břitových destiček, neboť břitová destička, která má obvykle více břitů se v držáku nože po opotřebení všech břitů jedné destičky vymění za jinou.[1]

1.2.2 Upnutí nástrojů a obrobků

Soustružnické nože se upínají do nožových hlav upínkami nebo šrouby. Do nožových hlav se dají obvykle upnout čtyři nože, tyto hlavy jsou otočné. Nože se upínají i do revolverových hlav, které mají vodorovnou nebo svislou osu otáčení.



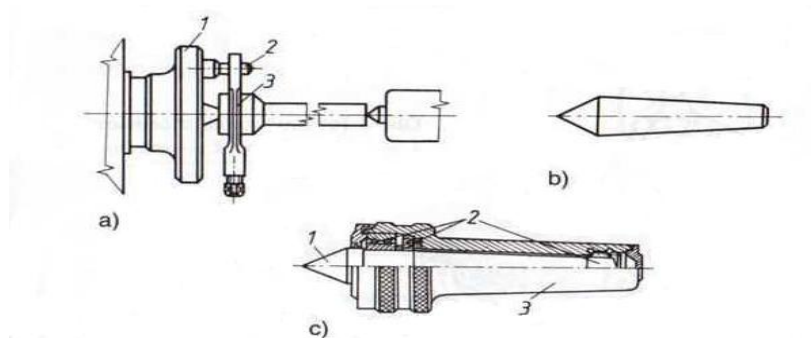
Obr. 14 Upínání nástrojů na soustruhu

a) nožová hlava (1 - šrouby na upínání nástrojů, 2 - nožová hlava, 3 - nožový suport.)

b) revolverová hlava (1 - revolverová hlava, 2 - řezné nástroje, 3 - nástrojová drážky)[1]

Obrobky se upínají mezi hroty, do kleštin a do univerzálního sklíčidla.

- Upnutí mezi hroty – zde je potřeba zajistit otáčení obrobku pomocí tzv. srdce, odpruženými unášecími hroty.

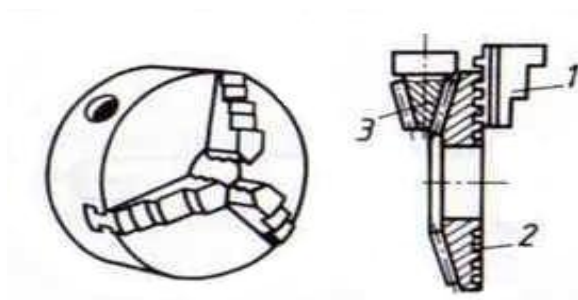


Obr. 15 Upínání mezi hroty

a) unášení obrobku (1 - unášecí deska, 2 - unášecí palec, 3 - srdce)

b) pevný hrot, c) otočný hrot (1 - hrot, 2 - ložisko, 3 - těleso)[1]

- Upnutí do kleštin – pro obrobky kruhového nebo šestihranného průřezu.
- Upnutí do univerzálního sklíčidla – sklíčidla jsou tří nebo čtyřčelist'ová. Všechny čelisti se pohybují současně. Obrobky, které jsou dlouhé, se na volném konci opírají hrotem upnutým v koníku.[1]



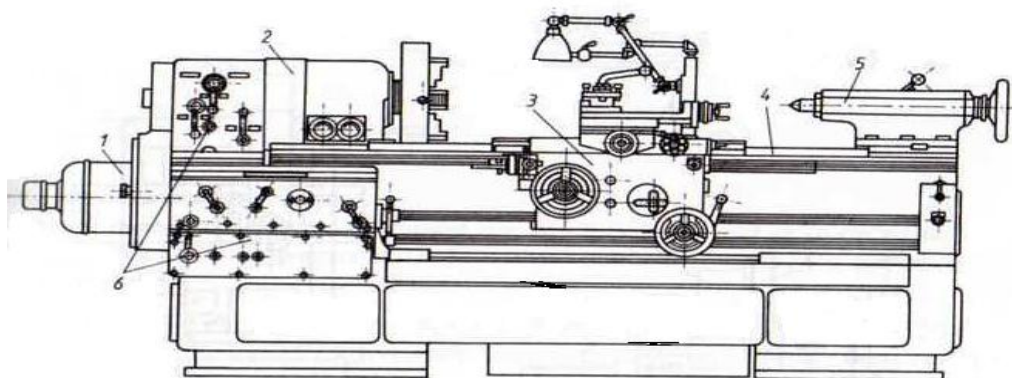
Obr. 16 Univerzální tříčelist'ové sklíčidlo

1 - upínací čelist, 2 - spirálové zuby, 3 - pastorek[1]

1.2.3 Soustružnické stroje

Důležitými prvky soustruhu jsou lože, superty, vřeteník, koník, převodovka, elektromotor. Soustruhy se rozdělují:

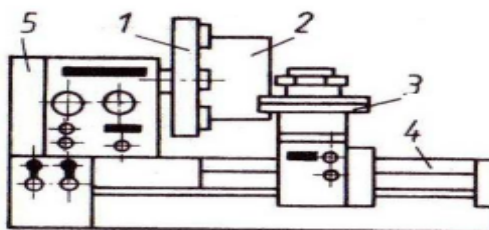
- Hrotové univerzální soustruhy – obrobek se upíná mezi hroty např.: čepy a hřídele. Soustružit můžeme plochy rotační, válcové, kuželové, tvarové, vnější i vnitřní, ale můžeme také soustružit otvory a řezat závity.[3]



Obr. 17 Univerzální hrotový soustruh – hlavní součásti

1 - elektromotor, 2 - vřeteník, 3 - superty, 4 - lože, 5 - koník, 6 - převodovky[1]

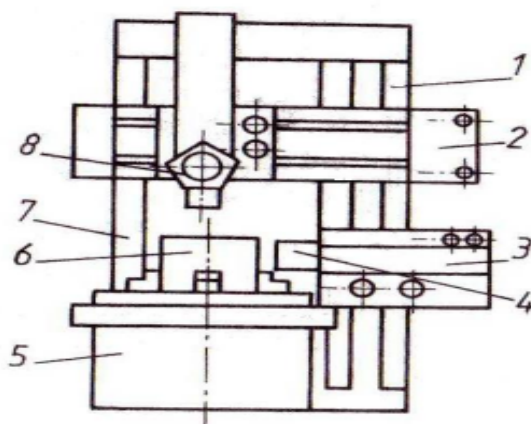
- Čelní soustruhy – zde se obrábějí krátké, lehké obrobky o velkém průměru. Obrobek se upíná na lící desku, u které každá čelist je samostatně přestavitelná. Tento soustruh nemá koník.[3]



Obr. 18 Schéma čelního soustruhu

1 - lící deska, 2 - obrobek, 3 - suport,
4 - lože, 5 - vřeteník s převodovkami[1]

- Svislé soustruhy (Karusely) – zde se obrábějí velké a těžké obrobky. Má upínací desku ve tvaru kotouče, osa otáčení je svislá. Přísuv vykonává svislý nůž.[3]



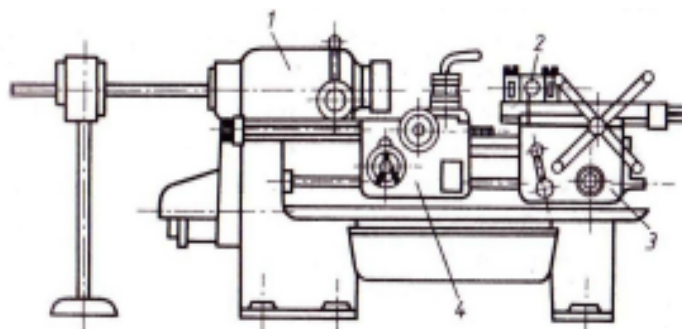
Obr. 19 Schéma svislého soustruhu

1 - stojan, 2 - příčník, 3 - suport,

5 - vřeteník, 6 - obrobek, 7 - sloup,

4 a 8 - revolverová nožová hlava[1]

- Revolverové soustruhy – revolverová hlava má svislou, vodorovnou nebo šikmou osu otáčení. Zde se obrábějí obrobky malého průměru, nejčastěji dlouhé tyče. Hlava slouží k upnutí více nástrojů, které se vyměňují otočením hlavy.[1]



Obr. 20 Revolverový soustruh s hlavou otáčející se kolem svislé osy

1 - vřeteník, 2 - revolverová hlava, 3 - suport revolverové

hlavy, 4 - suport[1]

- Poloautomatické a automatické soustruhy – pracují s automatickým výrobním cyklem pro upnutí a vyjmutí obrobku je potřeba obsluha. U poloautomatů se po vyrobení jedné součástky soustruh zastaví, stroj následně musíme znovu zapnout. U automatů soustruh pracuje do doby, pokud má v zásobníku polotovary. Požívají se pro sériové výroby.[3]

1.2.4 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu

Při hrubování je objem odebraného materiálu za jednotku času největší. Kdežto při obrábění načisto a jemném soustružení je potřeba dodržení předepsaných parametrů obráběné plochy.

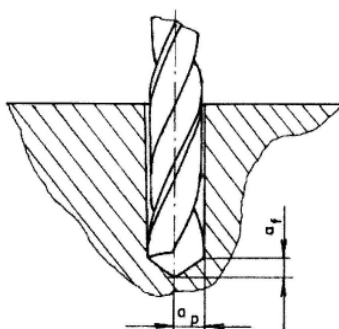
Tab. 1 Hodnoty přesnosti a drsnosti[1]

Způsob obrábění	Přesnost rozměrů IT	Drsnost povrchu Ra (μm)
Hrubování	11 až 14	12,5 až 50
Načisto	9 až 11	1,6 až 12,5
Jemné soustružení nástroje		
ze slinutého karbidu	7 až 8	0,4 až 1,6
z diamantu nebo PKBN	5 až 6	0,2 až 0,6

1.3 Vrtání

Výrobní metoda, při které se pomocí dvoubřitého nástroje zhotovují nebo zvětšují již předem vyvrtané díry.

Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává ho nástroj, vedlejší pohyb také zpravidla nástroj. Osa vrtáku je obvykle kolmá k ploše, ve které vstupuje vrták do obráběného materiálu. Posuv vrtáku probíhá ve směru jeho osy. Vrtání je relativně málo přesné, proto se díry zpřesňují pomocí výhrubníků a výstružníků.



Obr. 21 Záběr, posuv a průřez třísky při vrtání[7]

a_p - šířka záběru, a_f - záběr řezné hrany ve směru posuvu

1.3.1 Nástroje na vrtání

Podle tvaru se vrtáky dělí:

- Kopinaté vrtáky – řeznou část vrtáku tvoří dva hlavní břity a příčný břit. Moderní kopinaté vrtáky mají řeznou část tvořenou vyměnitelnými břitovými destičkami z rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů. Používá se u NC strojů pro vrtání krátkých děr o větším průměru. Nevýhodou je špatný odvod třísek z místa řezu. Pro zlepšení je potřeba přivést dostatečné množství chladicí kapaliny, která třísky odplavuje.
- Šroubovité vrtáky – tyto vrtáky jsou nejčastěji používané na výrobu děr. Jsou obvykle dvoubřité se šroubovými drážkami, které usnadňují odchod třísek. Vrták je lehce kuželový s menším průměrem u stopky, tím se zmenšuje tření v díře. Průměr jádra se ke stopce zvětšuje, tím se zvýší tuhost vrtáku. Vrták má dvě hlavní ostří spojena na hrotu vrtáku příčným ostřím.

Dále se šroubovité vrtáky rozdělují podle:

- tvaru stopky – s válcovou stopkou,
– s kuželovou stopkou,
- směru otáčení – pravotočivé,
– levotočivé,

- délky – krátké,
– dlouhé.
- Středící vrtáky – slouží k navrtání středících důlků pro přesné určení polohy osy díry při vrtání šroubovým vrtákem.
- Dělové vrtáky – slouží k vrtání hlubokých děr. Tímto vrtákem lze vyrobit díru v délce několika desítek až stovek průměrů vrtáků, aniž by došlo k jeho vybočení. Tento vrták obvykle koná posuvný pohyb, rotační pohyb koná obrobek. Nejdříve je nutné vyvrtat díru šroubovým vrtákem, aby byl dělový vrták veden. Dělové vrtáky mají na obvodu umístěny vodící lišty, mezi nimi prochází výsledná řezná síla. Při vrtání je důležité zajistit dokonalý odvod třísek z díry proudem chladicí kapaliny.
- Vrtací hlavy – používají se pro vrtání děr velkého průměru, vrtat lze už od průměru 20mm. Hlavy jsou osazeny břitovými destičkami, které jsou pájené nebo mechanicky upnuté. Chladicí kapalina se přivádí mezi vrtákem a dírou.
- Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami – tyto vrtáky jsou velmi výkonné nástroje. Řezná část je tvořena dvěma i více vyměnitelnými břitovými destičkami upnutými mechanicky. Používají se pro vrtání děr do plna od průměru 12 do 100mm. Pro odvod třísek jsou v tělese vyfrézovány dvě drážky, které jsou přímé nebo ve šroubovici.[1]

1.3.2 Řezné rychlosti

Řezné rychlosti jsou v porovnání s frézováním a soustružením nižší, ohledně nepříznivých podmínek, za kterých vrták pracuje. Břit je velmi tepelně zatížen, protože odvod tepla z místa řezu v díře je značně špatný. Proto při vrtání je velmi důležité chlazení chladicí kapalinou, obvykle emulzí.

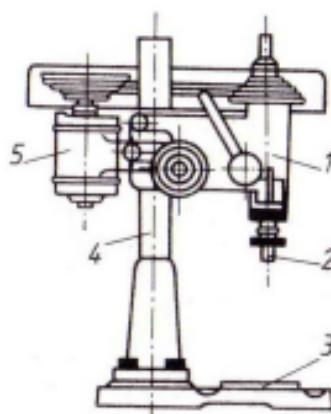
1.3.3 Stroje

Vrtání se provádí na vrtačkách. Nástroje lze upnout do upínacích hlav nebo přímo pomocí Morse kužele do vřetena vrtačky.

Vrtačky se rozdělují:

- ruční,

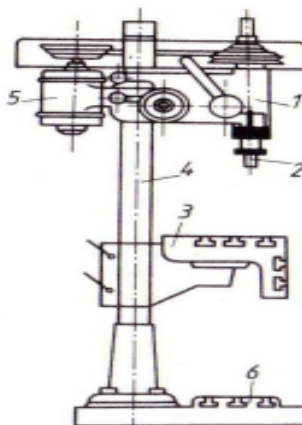
- stolní,
- sloupové,
- stojanové,
- souřadnicové.
- Stolní vrtačka – vřeteník se posouvá po sloupu. Na vřeteník je uloženo vřeteno, které je výsuvné. Obrobky se upínají do svěráku nebo do upínek na stůl.



Obr. 22 Stolní vrtačka

*1- vřeteník, 2 - vřeteno, 3 - stůl,
4 - sloup, 5 - motor[1]*

- Otočná radiální vrtačka – slouží k vrtání, vyhrubování a vystružení. Tato vrtačka je velmi používaná. V základové desce je zakotven sloup, po kterém se otáčí a posouvá rameno. Na ramenu se posouvá vřeteník. U svislého vřetena je na spodním konci uděláno kuželové vybrání, které slouží k upnutí stopkového nástroje přímo, nebo na upínacích trnech s Morse kuželem. Vřeteno umožňuje ruční i samočinný posuv.[3]
- Sloupová vrtačka – tato vrtačka má stejný vřeteník jako je u stolní vrtačky, ale zde se svisle pohybuje pracovní stůl. Obrobky lze upnout do stolu, svěráku nebo přímo na podstavec.[1]

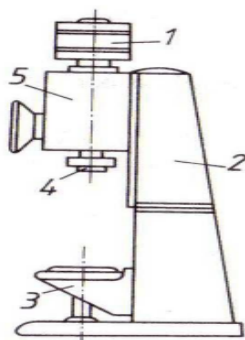


Obr. 23 Sloupová vrtačka

1 - vřeteník, 2 - vřeteno, 3 - stůl,

4 - sloup, 5 - motor, 6 - podstavec[1]

- Stojanová vrtačka – konstrukce stojanu je robustní. Po stojanu se pohybuje vřeteník i pracovní stůl. Tyto vrtačky slouží pro vrtání děr do průměru 80mm.[1]



Obr. 24 Stojanová vrtačka

1 - motor, 2 - stojan, 3 - pracovní stůl, 4 - vřeteno, 5 - vřeteník[1]

- Souřadnicová vrtačka – u této vrtačky se vrtání děr provádí s vysokou přesností a přesnými roztečemi. Obrobek je upnut na pracovní stůl, který koná podélný pohyb.

1.3.4 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu

Přesnost závisí na použitém vrtáku.

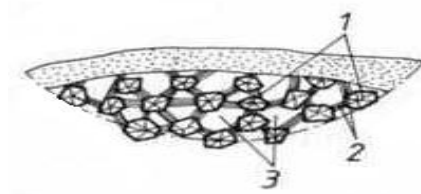
Tab. 2 Přehled použitých vrtáků[1]

Nástroj	Přesnost rozměrů IT	Drsnost obrobeneho povrchu Ra (μm)
Šroubovitý vrták	11 až 13	6,3 až 25
Šroubovitý vrták s vodícím pouzdrém	10	6,3 až 25
Kopinatý vrták	10	6,3 až 25
Dělový vrták	8	1,6 až 6,3
Vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami	8 až 10	3,2 až 12,5

1.4 Broušení

Dokončovací metoda, která se vyznačuje velikou přesností. Třísky materiálu se odebírají mnohobřitým nástrojem. Lze obrábět rovinné, válcové nebo tvarové vnější s vnitřní plochy nástrojem.

Hlavní řezný pohyb vykonává rotující brousící kotouč. Vedlejší pohyb vykonává nástroj nebo obrobek. Břity jsou tvořeny zrný tvrdých materiálů, které jsou vzájemně spojeny pojivem. Tvar brusných zrn i jejich poloha v brusném kotouči jsou nepravidelné, to znamená, že i řezné úhly zrn nemají stejnou geometrii břitu, jako mají jiné nástroje např.: frézy. Vazba nástroje je pevná, proto lze obrábět obrobky značně vyšší rychlostí než u technologií s definovanou geometrií.[1,3]



Obr. 25 Struktura brousícího nástroje

1 - zrna brusiva, 2 - pojivo, 3 - póry[1]

1.4.1 Nástroje pro broušení

Jsou to brousící kotouče, kamen, segmenty a pásy. Zrna brusiva jsou volná nebo vázaná. Mezi volná brusiva patří např.: prášky nebo leštící a brousící pasty. U brousících nástrojů je velmi výhodná vlastnost, která se nazývá samoostření. Samoostření znamená, že vlivem otupování a vylamování zrn se odkrývají nová ostrá zrna.

Nejvíce používaným brousícím nástrojem jsou brousící kotouče, které mají různé tvary a velikosti. Vlastnosti, které kotouč charakterizují, jsou zahrnuty v jeho označení. Jsou to:

- tvar a rozměry,
- druh brousícího materiálu,
- tvrdost,
- struktura,
- zrnitost,
- maximální pracovní rychlost kotouče,
- druh pojiva.[1]

Nejpoužívanější materiály brusiva:

Tab. 3 Nejčastěji používané materiály brusiva[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
Karbid křemíku SiC	zelený	49C
	černý	48C
Karbid boru B_4C		B
Kubický nitrid boru N_2B_3		BN
Diamant (přírodní i umělý)		D

Umělý korund – se používá pro broušení oceli, lité oceli a tvrdých bronzů.

Karbid křemíku – slouží pro broušení litiny, mědi, měkkého bronzu, skla a kamene.

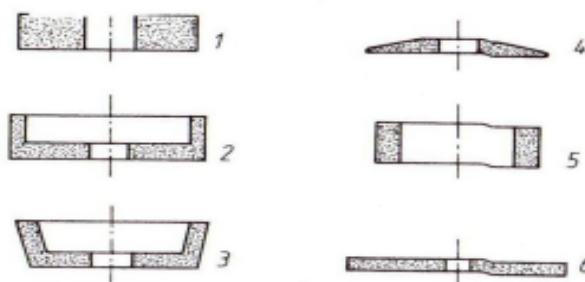
Kubický nitrid boru – se používá pro broušení rychlořezných ocelí a litin.

Syntetický diamant – slouží pro broušení slinutých karbidů a titanových ocelí.

Tab. 4 Struktura běžně používaných brousících kotoučů[1]

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

- Stupeň tvrdosti – je dán druhem a obsahem pojiva u brousícího nástroje. Lze ho definovat jako odpor, který klade zrno proti vylomení z nástroje. Tvrdosti je odstupňován od A, které je nejměkčí až po Z a to je nejtvrdší.[1]



Obr. 26 Některé tvary brousících kotoučů

1 - plochý, 2 - hrncový, 3 - miskový, 4 - kuželový,

5 - prstencový, 6 - řezací[1]

Tvar a velikost brousícího kotouče je určen tvarem plochy broušené součásti. Aby bylo zachováno samoostření, volí se pro broušení tvrdších materiálů brousící kotouče měkkčí a pro broušení měkkých materiálů se volí kotouče tvrdší. Hrubší zrnitost umožní vyšší výkon broušení, ale kvalita obrobeného povrchu se zhorší.

1.4.2 Základní rozdělení broušení

Broušení lze rozdělit podle tvaru broušených ploch a způsobu práce.

- Broušení do kulata vnější:
 - axiální (s podélným posuvem),
 - axiální hloubkové,
 - zápichové,
 - bezhroté.
- Broušení do kulata vnitřní:
 - axiální (s podélným posuvem),
 - planetové,
 - bezhroté,
 - zápichové.
- Broušení rovinné:
 - obvodem kotouče,
 - čelem kotouče.
- Broušení tvarové:
 - tvarovými kotouči,
 - na NC a CNC brousících strojích.[1]

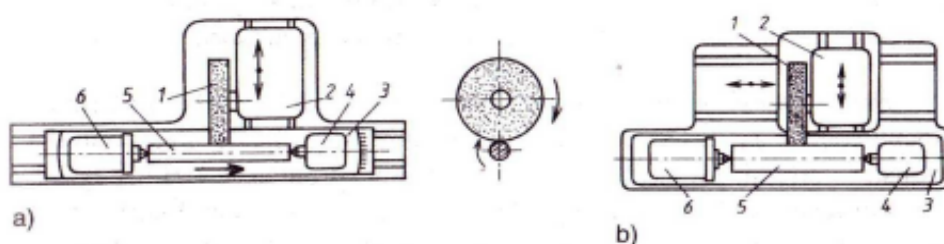
1.4.3 Chladicí kapaliny

Chladicí kapalina by do místa řezu měla být dodávána v dostatečném množství. V místě řezu vzniká značné množství tepla, které je způsobeno vysokou řeznou rychlostí. Chladicí kapalina má tyto tři funkce: odvádí část tepla, snižuje tření v místě řezu a odplavuje vzniklé třísky.[1]

1.4.4 Stroje

Podle prováděných operací se brusky rozdělují:

- Hrotové brusky – slouží k broušení válcových a kuželových součástí upnutých mezi hroty. Lze na nich brousit i čelní rovinné plochy. Vyrábějí se ve dvou provedeních buď s posuvným stolem, nebo s posuvným vřeteníkem. U brusky 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 jen otáčí, posuv a přísuv koná brousící vřeteník.[1,3]

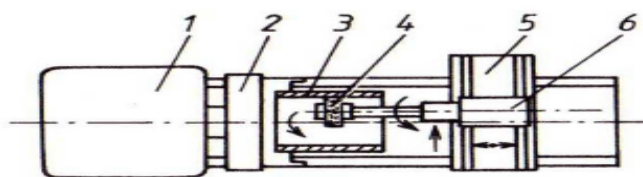


Obr. 27 Hrotové brusky

a) s posuvným stolem, b) s posuvným vřeteníkem

1 - brousící kotouč, 2 - brousící vřeteník, 3 - stůl, 4 - koník, 5 - obrobek,
6 - pracovní vřeteník[1]

- Bezhraté brusky – slouží k broušení dlouhých rotačních tyčí a hřídelí bez osazení a to zcela bez upnutí. Používají se v sériové a hromadné výrobě. U této brusky se obrobek vkládá mezi dva kotouče, první je brousící a druhý je podávací. Podávací kotouč přitlačuje obrobek k brousícímu kotouči a určuje i potřebný přísuv. Posuv obrobku určuje podávací kotouč, jehož osa je k ose obrobku vykloněna o určitý úhel.[3]
- Brusky na díry – používají se k broušení válcové, kuželové i tvarově rotační plochy. Obrobek se upíná do sklíčidla. Brousící vřeteník koná příčný i podélný posuv.[1]

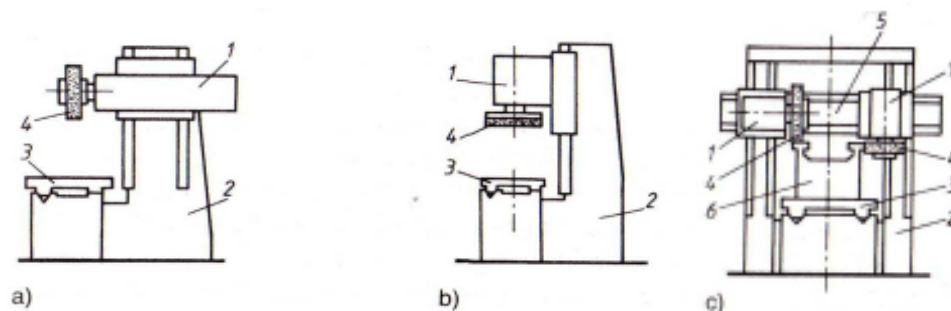


Obr. 28 Bruska na díry

1 - pracovní vřeteník, 2 - sklíčidlo, 3 - obrobek,

4 - brousící kotouč, 5 - suport, 6 - brousící vřeteník[1]

- Rovinné brusky – slouží k broušení rovinných ploch. Rozdělují se podle polohy brousícího kotouče na vodorovné, kde kotouč pracuje obvodem. U svislých brusek pracuje brousící kotouč čelem. Obrobek se nejčastěji upíná na magnetickou upínací desku, nebo na stůl pomocí upínek a svěráků.[1,3]



Obr. 29 Rovinné brusky

a) bruska pracující obvodem kotouče, b) bruska pracující čelem kotouče, c) dvoustojanová bruska

1 - vřeteník, 2 - stojan, 3 - pracovní stůl, 4 - brousící kotouč, 5 - příčník, 6 - obrobek[1]

1.4.5 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu

Tab. 5 Přesnost a jakost ploch obroběných broušením[1]

Tvar broušené plochy	Způsob broušení	Přesnost rozměrů IT	Jakost obroběné plochy Ra (μm)
Rovinná	hrubování		
	čelem	9 až 11	0,8 až 6,3
	obvodem	8 až 11	0,8 až 3,2
	načisto		
	čelem	5 až 7	0,2 až 1,6
	obvodem	5 až 7	0,2 až 1,6
Vnitřní válcová	jemné broušení	3 až 5	0,025 až 0,4
	hrubování	9 až 11	1,6 až 3,2
	načisto	5 až 7	0,4 až 1,6
Vnější válcová	jemné broušení	3 až 6	0,05 až 0,4
	hrubování	9 až 11	1,6 až 3,2
	načisto	5 až 7	0,4 až 1,6
Vnější válcová	jemné broušení	3 až 6	0,025 až 0,4

2 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ

Plasty se zpravidla skládají ze tří složek: pojiva, plniva a přísady. Podstatou jsou makromolekulární látky přírodní a syntetické.

Plasty lze dělit podle různých kritérií:

- podle typu chemické reakce, kterou vznikly,
- podle chování za zvýšené teploty.

Termoplasty – plasty teplem tavitelné. Působením zvýšené teploty na hranici teploty tání měknou. Poté se dají tvarovat, ohýbat, táhnout, lisovat a vyfukovat. Ochlazením ztuhnou, aniž by se podstatně změnila jejich vlastnosti. Tento proces lze opakovat. Mezi termoplasty patří např.: PVC, PS, PE, PVAC

Reaktoplasty – plasty teplem tvrditelné. Jsou ve formě tekutých látek tzv. pryskyřice. K nim jsou dodávána tvrdidla. Po smíchání se zpracovávají a následným zahřátím měknou a dalším zahřátím dochází k ztvrdnutí. Dalším zahřátím už nelze převést do plastického tvaru. Reaktoplasty jsou nerozpustné. Mezi reaktoplasty patří např.: POM, PUR

Výhodné vlastnosti plastů – malá hmotnost, velká chemická odolnost, odolnost proti korozi, nízká tepelná vodivost.

Nevýhodné vlastnosti plastů – malá tepelná stálost, velká tepelná roztažnost, hořlavost.

Plasty lze obrábět:

- frézováním,
- soustružením,
- vrtáním,
- řezáním,
- broušením.

Nástroje a obráběcí stroje na plasty jsou stejné jako při obrábění kovů. U volby geometrie břitu nástroje a řezných podmínek je potřeba myslet na specifické vlastnosti plastů. Podle těchto vlastností se volí úhel čela, úhel sklonu ostří, úhel hřbetu, posuv, hloubka řezu a řezná rychlost.[1]

2.1 Vlastnosti plastů

Rozdílné vlastnosti oproti obrábění kovů jsou takové:

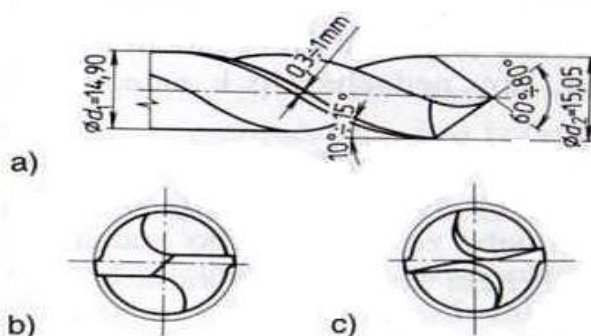
- malá tepelná vodivost – způsobuje větší tepelné zatížení břitu nástroje, tím dochází k intenzivnějšímu opotřebení,
- vyšší tepelná roztažnost – způsobuje změnu rozměru součásti při obrábění,
- velká adheze (přilnavost) – některé plasty mají přilnavost k materiálu břitu nástroje. Při optimálních řezných podmínkách dochází k opotřebení břitu nástroje především adhezním otěrem.
- abrazivní otěr – u tohoto otěru dochází k opotřebení břitu nástroje při obrábění vyztužených plastů,
- tvorba třísky – je ovlivněna strukturou materiálu
 - třísky u nevyztužených plastů se tvoří pomocí plastické deformace, podobným způsobem jako u ocelí,
 - třísky u vyztužených plastů se tvoří křehkým lomem nebo štěpením, podobně jako u litiny,
- vyšší teploty – při vyšších teplotách termoplasty měknou a reaktoplasty uhelnatí,
- zajištění vysoké řezivosti – aby byla zajištěna vysoká řezivost, musí být všechny řezné nástroje dokonale naostřeny.[1]

2.2 Obráběcí operace

2.2.1 Obrábění reaktoplastů

- Frézování – používají se zde hrubozubé frézy se stejnou geometrií břitu, jako se používá u obrábění kovu. Břit může být složen z rychlořezné oceli nebo ze slinutých karbidů.
- Soustružení – nástrojem je soustružnický nůž, který má pro obrábění reaktoplastů stejnou konstrukci jako pro obrábění kovů.

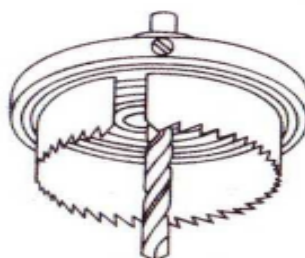
- Vrtání – nejvíce se používají šroubovitě vrtáky z rychlořezných ocelí nebo s břity ze slinutých karbidů.



Obr. 30 Vrták na vrtání reaktoplastů

a) geometrie vrtáku, b) špička vrtáku pro vrtání kovu, c) špička vrtáku pro vrtání reaktoplastů [1]

Pro vrtání děr větších průměrů lze použít pilový děrovač.



Obr. 31 Vrták do dřeva

- pilový děrovač [1]

- Řezání – používají se pásové a kotoučové pily, které jsou stejné jako pily pro řezání kovů. Pásovou pilou se provádí zejména obloukové řezy, lze s ní i vyřezávat. Přímé řezy se realizují kotoučovou pilou.
- Broušení – nástrojem jsou brousící kotouče o velké zrnitosti. U broušení je nutné použít vydatné chlazení, které zajišťuje opláchnutí obrobku a brání vznikajícímu prachu se šířit do okolí. [1]

2.2.2 Nástroje na obrábění reaktoplastů

Pro obrábění reaktoplastů je důležité používat dokonale ostré nástroje. Břity jsou vyrobeny z rychlořezných ocelí nebo ze slinutých karbidů. Dokonale naostřený břit je důležitý ohledně toho, aby břit třísku důkladně odřezával. Opatřené břit třísku v místě řezu jen drtí a

vytrhává drobné kousky plastu z povrchu obrobku, tím dosáhne obrobený povrch velmi nízké kvality. Při obrábění reaktoplastů se používá jako chlazení tlakový vzduch, někdy i emulze.[1]

2.2.3 Obrábění termoplastů

- Frézování – nástrojem jsou hrubozubé frézy, které mají velikou rozteč zubů. Břit se skládá z rychlořezné oceli nebo ze slinutých karbidů.
- Soustružení – používá se soustružnický nůž, který má pro obrábění termoplastů stejnou konstrukci jako pro obrábění kovů. Břit je složen z rychlořezné oceli nebo ze slinutých karbidů.
- Vrtání – provádí se vrtáky, které mají břit složený z rychlořezných ocelí a ze slinutých karbidů. Při vrtání děr velkých průměrů se používá pilový děrovač.
- Řezání – používají se nástroje, jako jsou jemnozubé kotoučové pily. Dalším nástrojem jsou pilové pásy také jednozubé, které slouží pro vyřezávání ale i pro řezání součástí.
- Broušení – nástrojem jsou brousící kotouče o velké zrnitosti. Stroje jsou brusky pro broušení kovů nebo dřeva.[1]

2.2.4 Nástroje na obrábění termoplastů

U obrábění termoplastů je důležitý brát ohled na dobrý odvod tepla z místa řezu. Nástroje pro obrábění musí být ostré a mít hladké břity. Kdyby tomu tak nebylo docházelo by k nalepování materiálu obrobku na břit nástroje.

Při soustružení, frézování a vrtání se jako chladicí kapaliny používají mýdlový roztok, vzduch, líh nebo strojní olej. U broušení není nutné chlazení, ale je důležité zajistit dokonalé odsávání vzniklých prachových částic.[1]

3 CHLADICÍ KAPALINY

Hlavním požadavkem při použití řezné kapaliny je účinný odvod tepla z místa řezání. Dosáhne se tím, dokonalého chlazení popř.: i mazání. Přívodem kapaliny dochází ke snížení jak vnitřního, tak i vnějšího tření. Dále se používají konzistentní prostředky, jsou to např.: tuky, nebo prášková maziva. Tyto prostředky jsou výbornými mazadly, tím snižují tření, ale už neumožňují intenzivní odvod tepla z místa řezu. Využívají se pouze výjimečně, např. při řezání závitů.

3.1 Metody chlazení ve strojírenské technologii

- chlazení vzduchem,
- chlazení kapalinou,
- kryogenní chlazení.

Plynné prostředky do výrobní praxe zatím, až tak mnoho nepronikly. Jejich využití je totiž obtížné. Ovšem je zřejmé, že vhodně zvolený plyn bude odvádět teplo, ale snižovat tření např. svými chemickými účinky. V poslední době se rozšířilo chlazení vzduchem, v němž je řezná kapalina rozptýlena ve velmi malých kapičkách tzv. chlazení mlhou.

Nejrozšířenějším způsobem jsou stále kapaliny, které kromě chladicího a mazacího účinku obsahují i čistící účinek. Kapaliny musí být zdravotně nezávadné, snadno likvidovatelné a nesmí způsobovat korozi u obrobků ani u strojů.

Zásady pro volbu řezné kapaliny jsou určeny:

- z mechanismu tvoření třísky,
- z vlastností použitého nástrojového materiálu,
- z vlastností obráběného materiálu,
- z požadavků na jakost opracování součástí.[4]

3.2 Volba řezné kapaliny

Zvolení správného řezného média ovlivňují faktory:

- řezný nástroj,
- obráběný materiál,

- jakost obrobené plochy.

3.2.1 Řezný nástroj

Nástroje z rychlořezné oceli se musí vždy chladit, tehdy když obráběcí operace probíhají za ztížených řezných podmínek. Nejpoužívanějšími nástrojovými materiály jsou slinuté karbidy, které lze použít bez přívodu řezné kapaliny. Často pracují na obráběcích automatech společně s nástroji z rychlořezné oceli, takže je zde též nutný přívod řezné kapaliny i při obrábění slinutými karbidy. U keramických nástrojových materiálů, lze pracovat bez chladicího média. Jedním z hlavních příčin opotřebení řezného nástroje je teplo, které ovlivňuje jeho pevnost tak i trvanlivost. Projevuje se to hlavně na opotřebení nástroje na obou jeho funkčních plochách na čele a na hřbetě.[4]

3.2.2 Obráběný materiál

Podle obráběného materiálu se volba řezné kapaliny řídí těmito pravidly:

- Při zvyšující se pevnosti obráběného materiálu, dochází k většímu namáhání nástroje, větším plastickým deformacím a proto je zde nutné volit řeznou kapalinu s vyšší koncentrací. Pevnost mazací vrstvy se tím zvýší i při vyšších teplotách.
- Litina a jiné křehké materiály, lze obrábět snadno za sucha. Pro zamezení šíření nečistot je zde možné využít řezné kapaliny.
- U ostatních materiálů je důležité sledovat, aby zvolená kapalina nereagovala s obráběným materiálem.[4]

3.2.3 Jakost obrobené plochy

Řezná kapalina má velký vliv zejména na jakost obrobené plochy. Ovlivňuje rozměrovou tak i tvarovou přesnost, ale také i drsnost povrchu. Přívod řezné kapaliny způsobí, že se změní objem plasticky deformované oblasti, tvoření nárůstku na čele nástroje se odstraní, toto se projeví i na výsledné drsnosti povrchu. Správně zvolená a připravená kapalina může zlepšit drsnost povrchu o 1 až 2 třídy oproti obrábění za sucha.[4]

3.3 Vlastnosti řezných kapalin

Rozdělují se do dvou hlavních skupin a to na kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Z provozního a technologického hlediska je třeba vyjmenovat další požadavky na tyto kapaliny:

- Chladicí účinek – má za úkol odvádět teplo z místa řezu. Takovou schopnost má každá kapalina, která smáčí povrch kovu a pokud existuje tepelný spád mezi povrchem a kapalinou. Odvod tepla vzniklého při obrábění se provádí proudem kapaliny, která oplachuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá vzniklé teplo.
- Mazací účinek – má za úkol vytvořit na povrchu kovu vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje i tření, které vzniká mezi nástrojem a obrobkem. U mazacího účinku dochází ke zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také ke zlepšení jakosti obrobeneho povrchu.
- Čisticí účinek – při přívodu řezné kapaliny se odstraňují třísky z místa řezu. Čisticí účinek u broušení zlepšuje vlastnosti broušicího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Pro broušení má účinek čištění velký význam jako u operací, kdy řezná kapalina musí odnášet třísky z místa řezu např.: při vrtání hlubokých děr nebo řezání závitů.
- Zdravotní nezávadnost – při práci na obráběcích strojích přichází obsluha do styku s řeznou kapalinou. Tím pádem nesmí být kapalina zdraví škodlivá, dráždit pokožku nebo být jedovatá. Zdravotní nezávadnost řezných kapalin je závislá také zejména na provozní stálosti a čistotě. V provozu je nutné dbát na větrání a na preventivní ochranu pokožky.[4]

3.4 Rozdělení řezných kapalin

Rozdělují se do dvou skupin:

- chladicí kapaliny – zde převažuje chladicí účinek,
- řezné oleje – zde převažuje mazací účinek.

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

Řezné kapaliny se rozdělují do těchto skupin:

- Vodní roztoky – považují se za nejjednodušší řezné kapaliny, ale bohužel nejsou příliš vhodné z hlediska aplikace. Jejich základem je voda, která vyžaduje úpravy např.: změkčování, přidávání různých přísad proti korozi a pěnivosti.
- Emulzní kapaliny – jsou tvořeny dvěma vzájemně nerozpustnými kapalinami, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, které jsou rozptýlené v druhé kapalině. Často se jedná o olej ve vodě. Přitom je potřeba využít další složky tzv. emulgátory. Tyto složky stabilizují emulzi. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH emulze, ale daleko menší míře než u vodných roztoků.
- Minerální oleje – jsou vyrobeny z ropy, tyto oleje mají dobré mazací vlastnosti, ale horší chladicí účinek. Mají velmi dobrý ochranný účinek a dobrou odolnost proti stárnutí.
- Mastné oleje a tuky – jsou složeny z látek z živočišného a rostlinného původu a mají podobné vlastnosti jako minerální oleje. Mají menší povrchové napětí a tím i lepší smáčivost, která přispívá k lepšímu odvodu tepla.[4]

3.5 Přívod řezné kapaliny do místa řezu

Přívod řezné kapaliny do místa řezu významně ovlivňuje trvanlivost nástroje, ale i jakost obrobené plochy. Jedná se zejména o tlakové chlazení, chlazení mlhou, podchlazení řezné kapaliny, chlazení vzduchem, chlazení kyslíčnickem uhličitým atd. Podstatou všech těchto způsobů je zvětšení chladicího a mazacího účinku řezné kapaliny. Kapalina se většinou přivádí do místa obrábění ze strany povrchu obrobku.[4]

3.6 Bezpečnost při práci s řeznými kapalinami

Při práci s řeznými kapalinami je potřeba dbát na zdravotní hlediska. Možnost škodlivého účinku je dána tím, že při práci s kapalinou se dostává do styku s pokožkou pracovníků. Při práci s emulzí může občas vzniknout kožní onemocnění. Nejlepší ochranou proti onemocnění pokožky je preventivní ochrana. Lze tím rozumět udržování pokožky v čistotě a zabránění přímému kontaktu s dráždicími látkami. Je potřeba dbát i na pravidelnou kontrolu kapaliny a výměnu znečištěných náplní stroje.[4]

3.7 Kryogenní chlazení

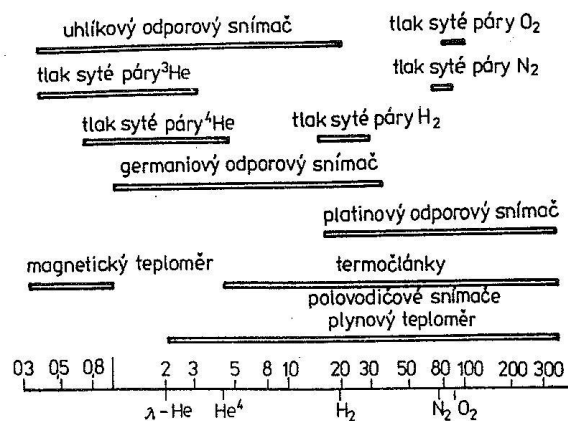
Kryogenní technika je obor, který se zabývá způsoby dosahování a udržování teplot pod 120K (tzv. pod -153°C) a studiem procesu při těchto teplotách. Technika, metody a technologie používané v rozmezí od teploty okolí do této teplotní hranice patří do oblasti normálního chlazení. Rozsah požadavků na dosažení úrovně pracovní teploty a chladičeho výkonu je velmi rozsáhlý.

Aplikace lze rozdělit:

- Přímé nízkoteplotní – pro chlazení a dosažení nízké pracovní teploty pomocí kryokapalin.
- Nepřímé nízkoteplotní – zde se využívá vlastností plynů získaných při nízkoteplotní separaci.
- Kombinované – zde se využívá jak nízké teploty kryokapaliny tak také vlastnosti plynu.[5]

3.8 Měření teplot

Při měření teploty je potřebné předem definovat jednotku teploty a teplotní stupnici. Teploměry používané v kryogenní technice jsou založeny na teplotní závislosti vybraných fyzikálních vlastností látek. Teplotně závislých vlastností je celá řada např.: tlak plynu, rovnovážný tlak par nad hladinou kapaliny, objem kapaliny, atd. Všechny tyto vlastnosti a řada dalších jsou využívány v nízkoteplotních teploměrech. Výběr je určován teplotním rozsahem, požadovanou přesností, citlivostí a stálostí.[5]



Obr. 32 Rozsahy jednotlivých typů teploměrů

3.8.1 Metody měření teplot

- Plynový teploměr – patří k základním přístrojům, které určují termodynamickou stupnici od lambda bodu do 1064°C. Plynové teploměry mohou být přesné laboratorní nebo jednoduché provozní.
- Kapalinové teploměry – tyto teploměry využívají roztažnosti kapalin. Jsou levné a jednoduché.
 - Rtuťový teploměr – s tímto teploměrem lze měřit do 238K (-35°C).
 - Lihový teploměr – s tímto teploměrem lze měřit do 170K (-100°C).
- Elektrické teploměry – skládají se ze dvou částí, jsou to snímače a vyhodnocovací přístroj. Snímač sleduje teplotu a převádí ji na úměrnou výstupní veličinu (odpor, napětí, kapacita). Podle typu snímače jsou teploměry rozdělené na odporové, kapacitní, indukční a napěťové.[5]

3.9 Bezpečnost při práci s kryokapalinami

Všechny kryogenní tekutiny mohou způsobit fyziologické poškození. Vzhledem k nízké teplotě působí omrzliny tkání, které jsou často označovány jako popáleniny pro jejich podobnost s popáleninami vysokou teplotou. Fyzický kontakt s kryogenní kapalinou je nebezpečný, zvláště u rychle protékající kapaliny. Jestliže je v dýchací směsi jako příměs i několik % CO₂, může být nižší koncentrace O₂ než 19% O₂ připuštěna jen po dobu několika minut, protože snižuje schopnost těla zbavit se vlastního CO₂ z krve. Z uvedených důvodů je třeba v laboratořích nebo v místnostech, kde se kapalné plyny skladují, zabezpečit dobré větrání. Při instalaci kryozařízení, při jeho provozu a údržbě je třeba vždy předem konzultovat bezpečnostní a provozní otázky s odborníkem.[5,6]

4 SHRNU TÍ TEORETICKÉ A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byla popisována teorie obrábění kovů a plastů. V této části byly rozebrány obráběcí operace, frézování, soustružení, vrtání a broušení. Další významná kapitola byla věnována chlazení. Byly zde vypsány různé druhy chladicích kapalin, kryogenního chlazení a bezpečnost při používání. Nejdůležitější roli hraje obrábění frézováním, jelikož na toto obrábění navazuje praktická část bakalářské práce.

V praktické části je popsán experiment, který se zabývá frézováním kovových a plastových materiálů za nízkých teplot. Všechny materiály se obrábějí jak bez chlazení, tak i následně pomocí chladicího zařízení, obsahující CO₂. Obrábění probíhá na univerzální frézce FHV-50PD. K pracovnímu stolu frézky je připevněn dvousložkový tenzometrický dynamometr, ve kterém jsou upnuty všechny vzorky. Během celého procesu frézování jsou dodrženy stejné řezné podmínky.

Cílem bakalářské práce je zjištění drsností povrchů vzorků obroběných frézováním za stejných řezných podmínek a porovnání hodnot při frézování bez použití chladicího média s hodnotami naměřenými při frézování s použitím chladicího média CO₂.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

5.1 Univerzální frézka

Všechny vzorky se obráběly na univerzální frézce FHV-50PD. Frézování probíhalo způsobem tzv. frézováním do rohu.

5.1.1 Volba řezných podmínek

U všech typů obrobků byly použity stejné řezné podmínky.

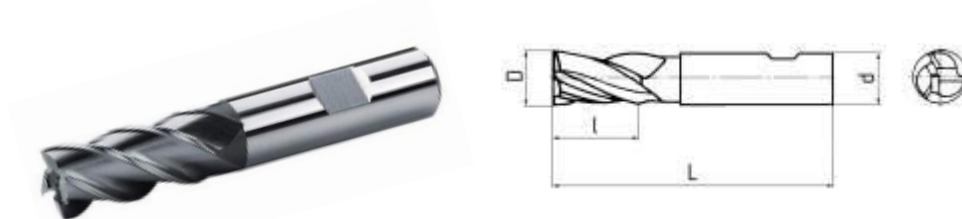
- otáčky vřetene $n = 1360$ ot/min,
- rychlost posuvu $v_f = 100$ mm/min,
- pracovní záběr $a_e = 18$ mm,
- hloubka záběru $a_p = 1$ mm.



Obr. 33 Univerzální frézka FHV-50PD

5.2 Nástroj

Při frézování vzorků byla použita čelní válcová fréza $\varnothing D = 10\text{mm}$, vyrobená z rychlořezné oceli.



Obr. 34 Válcová čelní fréza $\varnothing D = 10\text{mm}$

Tab. 6 Parametry válcové čelní frézy

Katalogové číslo	140218 (ČSN 22 2132)
Výrobce	ZPS Zlín
Průměr frézy (D)	10mm
Průměr upínacího prvku (d)	10mm
Délka řezné části (l)	22mm
Délka frézy (L)	72mm
Úhel šroubovice (λ)	40°
Počet zubů (z)	4 břítá

5.3 Mitutoyo SJ-301

Měření drsnosti povrchu bylo provedeno na měřicím přístroji MITUTOYO SJ-301. Tento přístroj měří strukturu povrchu obrobku pomocí snímacího hrotu. Nastavení snímacího hrotu vůči měřicímu vzorku musí být provedeno tak, aby posuv měření byl rovnoběžný s povrchem obrobku. Na LCD displeji se odečítají naměřené hodnoty a vypočítané křivky. Před každým měřením je důležité provést kalibraci. Kalibrace se provádí na kalibrační podložce, která má předepsanou drsnost.

- Pokusy měření se prováděly na 5 základních délek,
- na plasty byl použitý hrot SR10,
- na kovy byl použitý hrot SR2,
- na plasty byla nastavena základní délka $\lambda_c = 2,5\text{mm}$,

- na kovy byla nastavena základní délka $\lambda_c = 0,8\text{mm}$,
- použity normy ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288.



Obr. 35 Příklad přístroje MITUTOYO SJ-301

5.4 Způsob chlazení vzorků

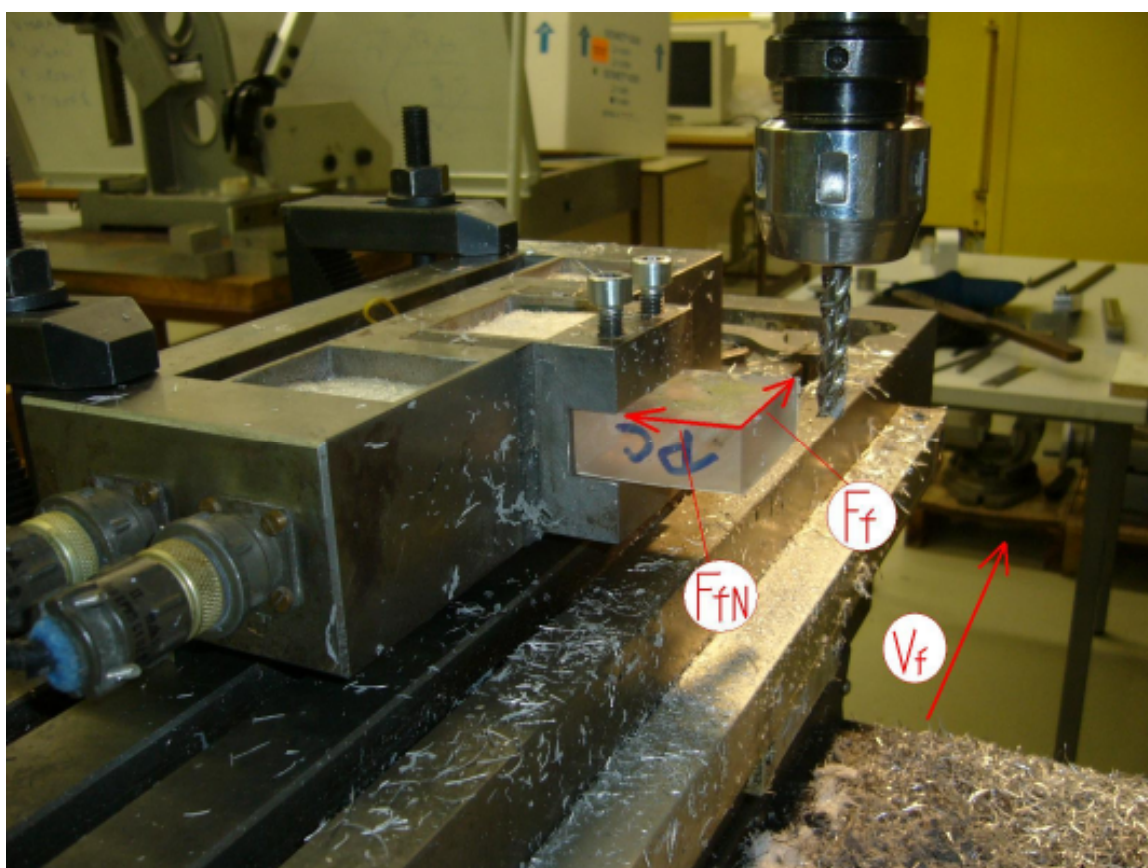
Kovové a plastové vzorky bylo potřeba ochladit na nízkou teplotu. Provedení mělo být účinné a jednoduché. Proto byl experiment proveden, pomocí hasicího přístroje s náplní CO_2 .

- Ukázalo se, že na ochlazení všech vzorků se spotřebovalo přibližně 4kg z 5kg, které láhev obsahuje,
- tento způsob chlazení je celkem ekonomicky náročný.

5.5 Dvousložkový tenzometrický dynamometr

Dvousložkový dynamometr snímá řezné síly při obrábění. Výhodou tohoto zařízení je možnost použít v agresivnějším prostředí např.: drobné třísky při obrábění. Tento dynamometr byl vyroben pro měření tečné F_f a normálové řezné síly F_{fN} .

- Při nastavení dynamometru bylo důležité určit řezné síly ve směru F_f a F_{fN} (viz. Obr. 36),
- vyhodnocování procesu bylo provedeno pomocí vícekanálového převodníku SPIDER8.



Obr. 36 Vyznačení řezných sil u obrobku, upnutém v dynamometru

5.6 Fluke 574

Pro měření teploty byl použitý tento druh digitálního teploměru FLUKE 574. Teploměr provede teplotní měření snadno a přesně, jak z blízka tak i na větší vzdálenosti. Měřicí rozsah přístroje je od -30°C až do $+900^{\circ}\text{C}$.

- Na ochlazeném vzorku, byly ihned změřeny teploty, jak před obráběním tak i následně po obrábění,

- vzorky se podařilo ochladit na velmi nízkou teplotu, takže při odečítání teploty se na digitálním teploměru znázornila hodnota, která byla zapsána (viz. Tab. 12).



Obr. 37 Digitální teploměr FLUKE 574

6 POUŽITÉ MATERIÁLY

- polykarbonát (PC),
- polyoxometylen (POM),
- polyvinylchlorid (PVC),
- polypropylen (PP),
- dural AW 5083,
- třívrstvý laminát,
- pěti vrstvý laminát.

6.1 Polykarbonát

Polykarbonát je krystalický termoplast. Obecně se vyznačuje svou pevností a houževnatostí, což je způsobeno hlavně délkou makromolekuly. Mezi výhody řadíme vysokou odolnost proti rázům a zlomu, nízkou hmotnost. Nevýhody tohoto termoplastu jsou malá odolnost proti poškrábání, nákladná výroba.

Tab. 7 Vlastnosti polykarbonátu

Teplotní rozsah	140°C
Nárazuvzdornost	výborná
Hustota	1,20g/cm ³
Modul pružnosti (<i>E</i>)	2200-2450MPa
Zpracování	vstřikování, vytlačování
Použití	konstrukční díly (tyče, CD, apod.)

6.2 Polyoxometylen

Polyoxometylen je vysoce krystalický termoplast. Jedná se o konstrukční materiál vhodný pro výrobu nejrůznějších technických dílů. Výhodou je vysoká odolnost vůči oděru.

Tab. 8 Vlastnosti polyoxometylenu

Teplota tání (T_m)	164-172°C
Hustota	1,41g/cm ³
Mez pevnosti	97-102MPa
Modul pružnosti (E)	2700-3200MPa
Zpracování	vstřikování, vytlačování, vyfukování
Použití	Technické dílce (ozubená kola, apod.)

6.3 Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid je amorfní termoplast. Je rozšířen zejména díky levné výrobě a snadnému zpracování. Na jeho zpracování lze použít snad všechny známé technologie, jako jsou vytlačování, vyfukování a vstřikování. Výbornou vlastností je nízká hmotnost, dobrá chemická odolnost a nízká propustnost.

Tab. 9 Vlastnosti polyvinylchloridu

Teplota tání (T_m)	205°C
Hustota	1,36g/cm ³
Mez pevnosti	35MPa
Modul pružnosti (E)	2500MPa
Zpracování	vstřikování, vytlačování, vyfukování
Použití	konstrukční plast (fólie, trubky, desky)

6.4 Polypropylen

Polypropylen je krystalický termoplast. Je velice rozšířený a má dobré tokové vlastnosti. Vyniká velmi dobrou chemickou a mechanickou odolností. Lze ho využít pro výrobky, u nichž je žádána tuhost, pevnost a dobré elektroizolační vlastnosti.

Tab. 10 Vlastnosti polypropylenu

Teplota tání (T_m)	170°C
Hustota	0,905g/cm ³
Mez pevnosti	37MPa
Modul pružnosti (E)	1100-1500MPa
Zpracování	vstřikování, vytlačování, vyfukování
Použití	konstrukční plast (fólie, trubky, apod.)

6.5 Dural AW 5083

Dural je zkrácenina duraluminium „tvrdý hliník“. Dural AW 5083 je obchodní značení pro slitiny hliníku a mědi s přísadami Mg – Mn apod. Je o něco těžší než hliník. Za výhodu lze uvést, že má až pětkrát vyšší pevnost i tvrdost v tahu. Tyto vlastnosti se dají upravit ještě tepelným zpracováním a zušlechťováním jako u ocelí.

Tab. 11 Vlastnosti duralu AW 5083

Slitina	EN AW [AlMg4,5Mn0,7]
Hustota	2,66g/cm ³
Mez kluzu	100-125MPa
Pevnost v tahu	260-270MPa
Modul pružnosti (E)	70GPa
Tažnost	12%
Použití	letadla, lodě, automobilový průmysl, apod.

6.6 Třívrstvý laminát

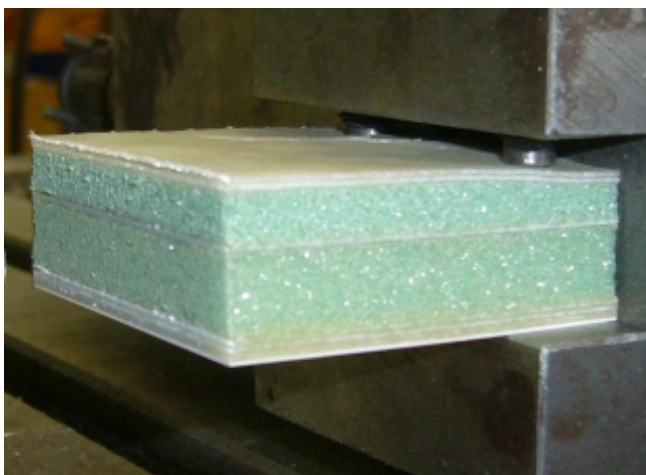


Obr. 38 Třívrstvý laminát

Tab. 12 Vlastnosti třívrstvého laminátu

Rozměr: 33×65mm
Gelcoat: tl. 0,5mm RAL9010
5× skleněných tkanin: AEROGLASS 220g/m ²
PVC pěna: tl. 15mm 100g/m ³
6× skleněných tkanin: AEROGLASS 220g/m ²

6.7 Pětivrstvý laminát



Obr. 39 Pětivrstvý laminát

Tab. 13 Vlastnosti pětivrstvého laminátu

Rozměr: 33×65mm
Gelcoat: tl. 0,5mm RAL9010
7× skleněných tkanin: AEROGLASS 220 g/m ²
PVC pěna: tl. 5mm 100g/m ³
7× skleněných tkanin: AEROGLASS 220 g/cm ²
PVC pěna: tl. 5mm 100g/m ³
7× skleněných tkanin: AEROGLASS 220 g/cm ²

7 POSTUP MĚŘENÍ

Řešení experimentu vyžadovalo použití přístrojů a zařízení dostupných v laboratořích ÚVI. Na frézce byly nastaveny nejvyšší otáčky stroje. Na pracovním stole frézky byl připevněn pomocí upínek dvousložkový tenzometrický dynamometr. Tento přístroj se propojil pomocí kabelů s vícekanálovým převodníkem SPIDER8. Převodník se poté připojil pomocí USB kabelu k notebooku. Měření probíhalo ve směru vektoru posuvové rychlosti. Všechny vzorky byly obráběny nesousledně, válcovou čelní frézou o průměru 10mm. Pracovní záběr byl 18mm a hloubka záběru 1mm. U každého ochlazeného materiálu se zapisovala teplota před frézováním T_0 , teplota po frézování T_1 , taktéž i následná změna teploty. Pro měření teploty byl použit digitální teploměr FLUKE 574. Vzorky ochlazovalo chladicí zařízení s náplní CO_2 . Nakonec pomocí dílenského přístroje MITUTOYO SJ-301 bylo provedeno měření struktury povrchu obrobku pomocí snímacího hrotu. Měření proběhlo 15 krát z důvodů statistického vyhodnocení. Měřené parametry byly R_a a R_z . Nastavení snímacího hrotu vůči měřenému vzorku musí být provedeno tak, aby posuv měření byl rovnoběžný s povrchem obrobku a ve směru vektoru posuvové rychlosti.

8 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

8.1 Frézované vzorky

Tab. 14 Teploty při frézování

Chlazení CO ₂				
Materiál	Emisivita	T ₀ [°C]	T ₁ [°C]	T ₁ -T ₀ [°C]
PC	0,95	-30	16	46
POM	0,95	-30	12	42
PVC	0,95	-30	9	39
PP	0,95	-30	21	51
Dural	0,95	4	23	19
třívrstvý laminát	0,95	-30	14	44
pětivrstvý laminát	0,95	-30	16	46

8.2 Polykarbonát

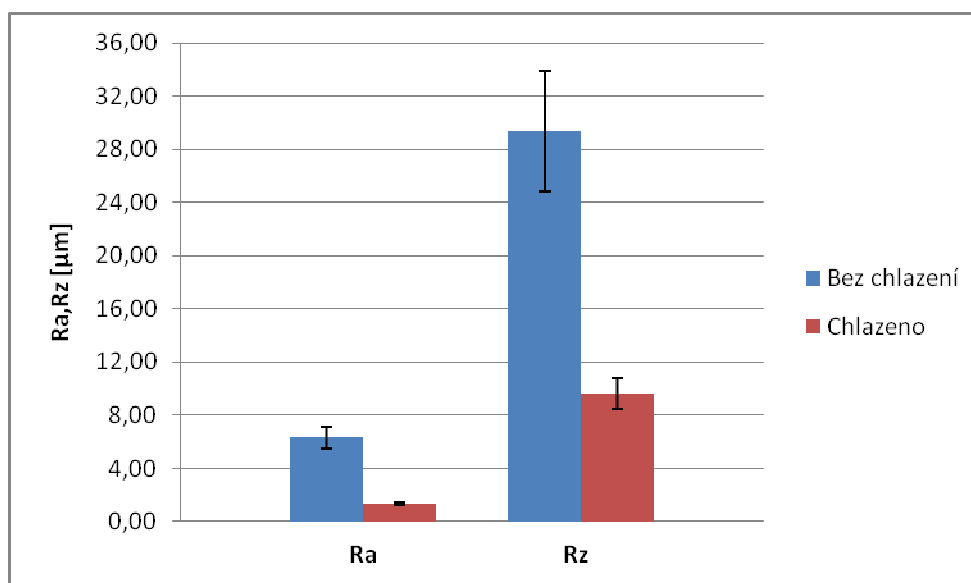
8.2.1 Měření drsnosti

Tab. 15 Naměřené hodnoty Ra, Rz pro PC

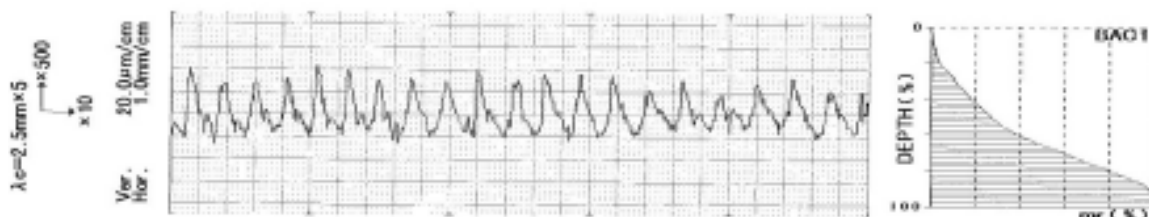
Měření	Bez chlazení		Chlazení pomocí CO ₂	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	6,98	32,75	1,42	9,99
2	7,07	32,07	1,40	9,33
3	7,05	34,37	1,20	7,34
4	6,35	33,28	1,19	9,36
5	7,12	32,85	1,48	11,10
6	6,82	31,47	1,38	10,13
7	4,96	20,60	1,28	8,31
8	6,24	29,92	1,16	7,99
9	4,43	19,56	1,32	9,82
10	6,91	32,75	1,41	10,46
11	6,58	26,93	1,58	11,08
12	5,92	27,24	1,16	8,16
13	7,21	31,46	1,37	10,39
14	5,39	23,81	1,30	9,72
15	5,92	31,12	1,51	10,94
průměr	6,33	29,35	1,34	9,61
sm. odchylka	0,83	4,54	0,13	1,14
s,p=95%	1,65	9,08	0,25	2,29



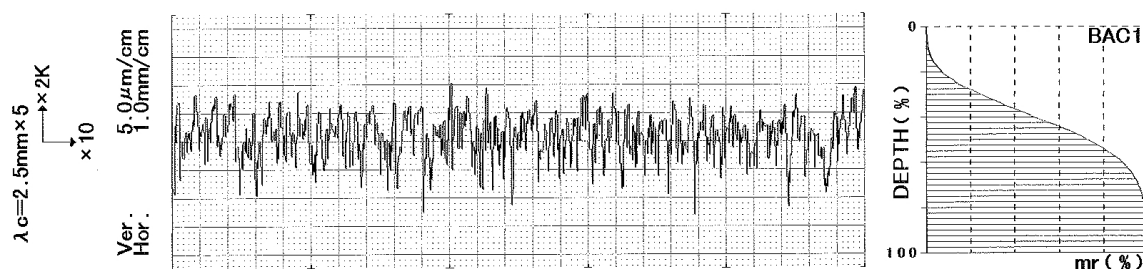
Obr. 40 Obrobený vzorek PC s použitím CO₂



Obr. 41 Porovnání parametrů Ra, Rz u PC



Obr. 42 Profil drsnosti u PC bez chlazení

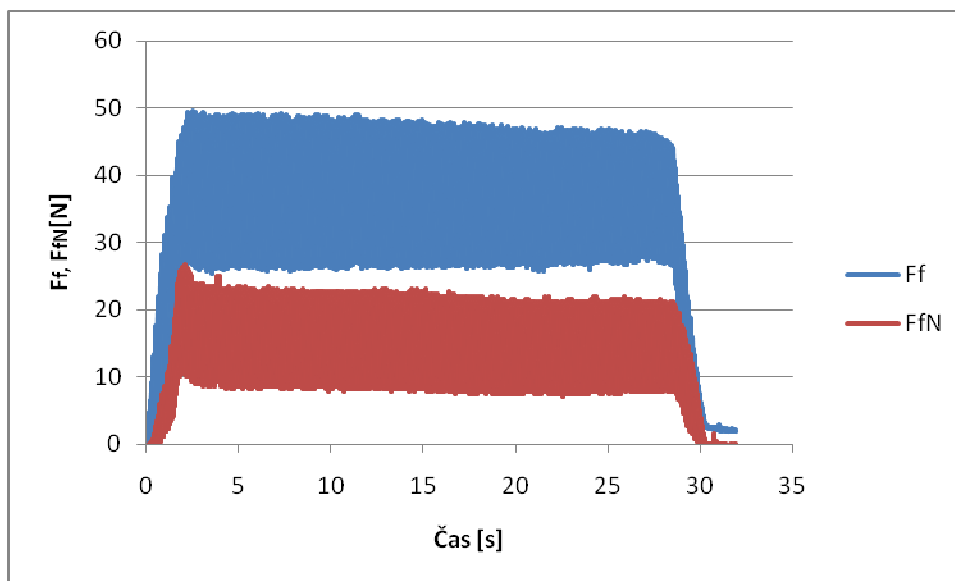


Obr. 43 Profil drsnosti u PC s chlazením CO₂

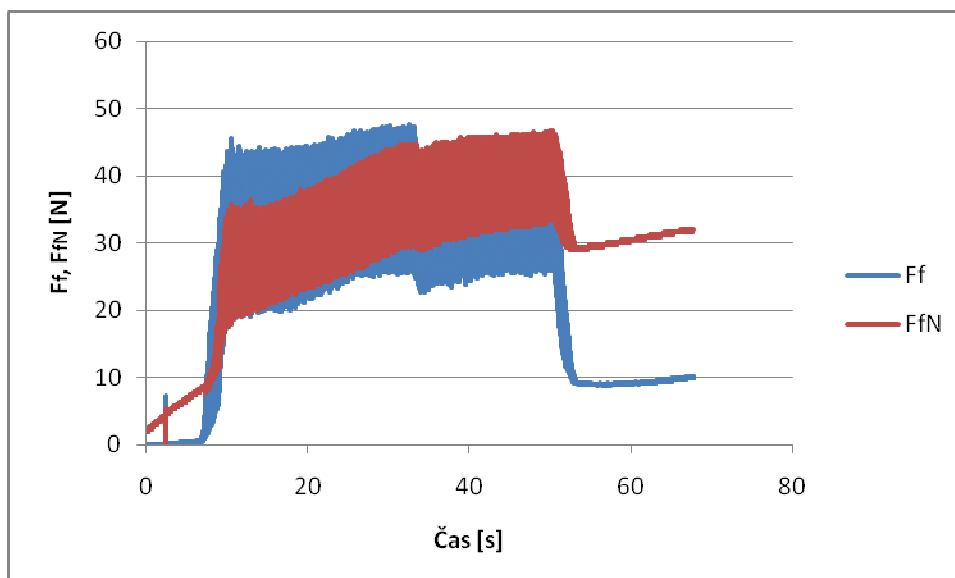
8.2.2 Řezné síly

Tab. 16 Odečtené hodnoty pro PC

Bez chlazení		Chlazené pomocí CO ₂	
F_f [N]	F_{fN} [N]	F_f [N]	F_{fN} [N]
37,6	15,3	27,1	22,8



Obr. 44 Porovnání řezných sil u PC bez chlazení



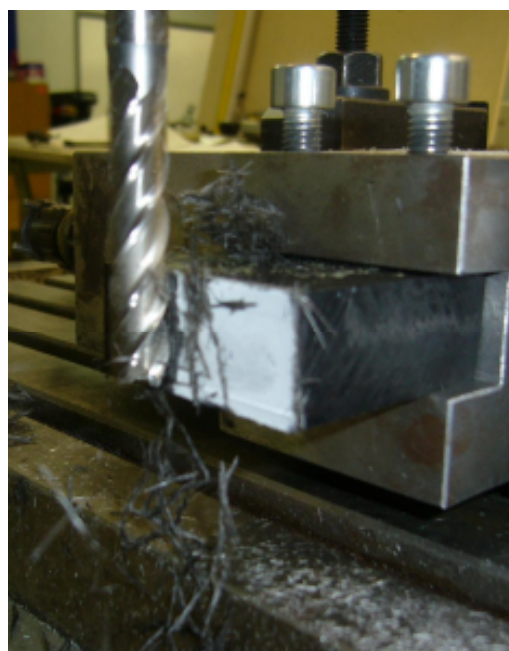
Obr. 45 Porovnání řezných sil u PC s chlazením CO₂

8.3 Polyoxometylen

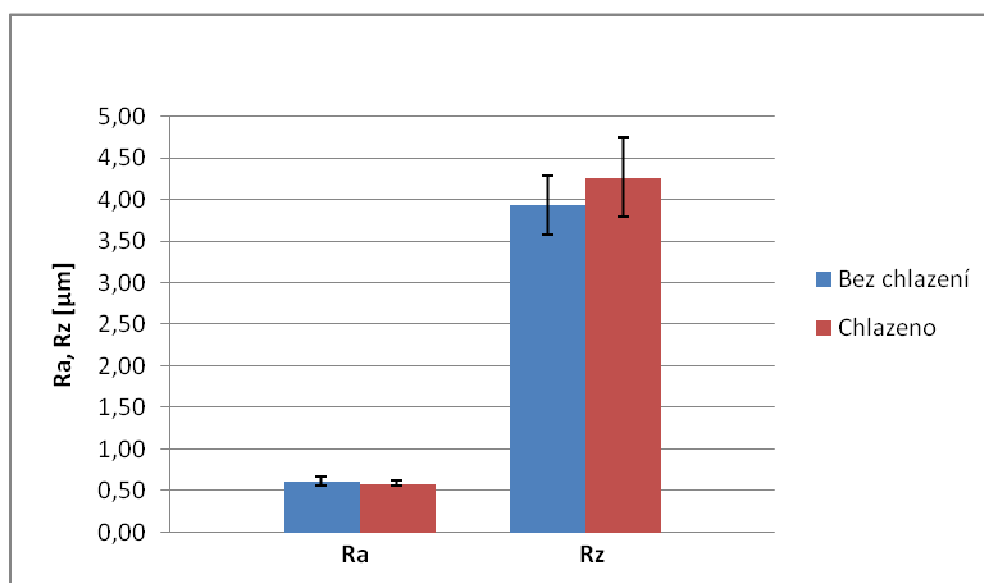
8.3.1 Měření drsnosti

Tab. 17 Naměřené hodnoty Ra, Rz pro POM

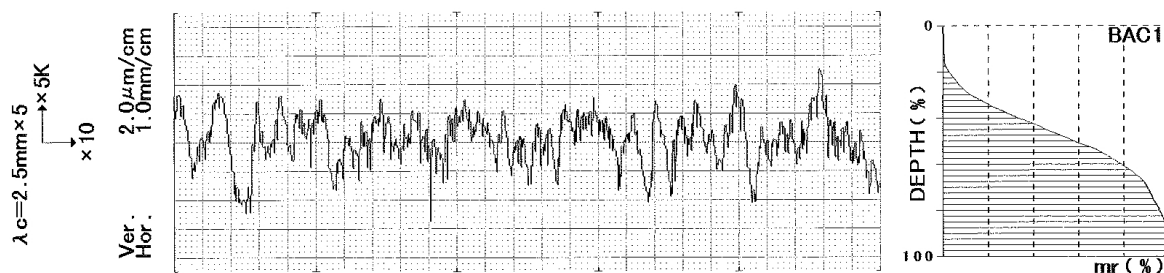
Měření	Bez chlazení		Chlazené pomocí CO ₂	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	0,55	3,51	0,59	4,80
2	0,67	4,11	0,56	4,84
3	0,60	3,77	0,64	3,94
4	0,65	4,04	0,54	5,49
5	0,57	3,89	0,59	3,90
6	0,67	4,34	0,61	3,81
7	0,57	3,34	0,62	4,05
8	0,62	4,42	0,56	4,15
9	0,61	3,60	0,56	3,83
10	0,54	3,39	0,60	3,81
11	0,56	3,85	0,58	3,80
12	0,71	4,59	0,63	4,12
13	0,68	3,96	0,61	4,52
14	0,64	4,10	0,55	4,34
15	0,67	4,11	0,64	4,59
průměr	0,62	3,93	0,59	4,27
sm. odchylka	0,05	0,36	0,03	0,48
s,p=95%	0,10	0,71	0,06	0,96



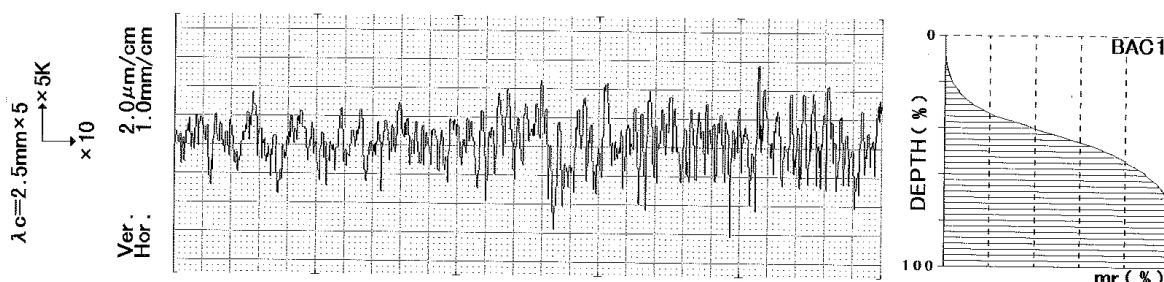
Obr. 46 Ochlazený vzorek POM



Obr. 47 Porovnání parametrů Ra, Rz u POM



Obr. 48 Profil drsnosti u POM bez chlazení

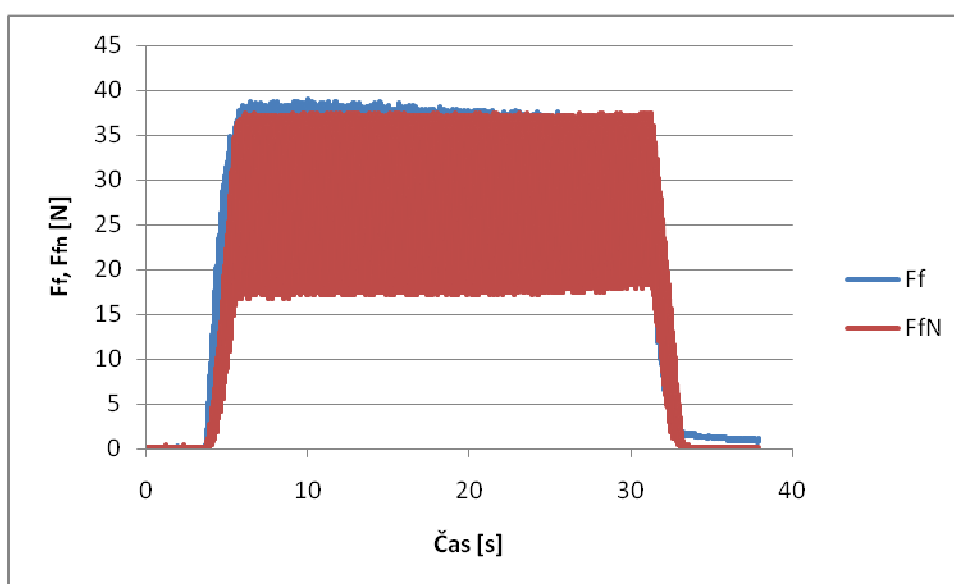


Obr. 49 Profil drsnosti u POM s chlazením CO₂

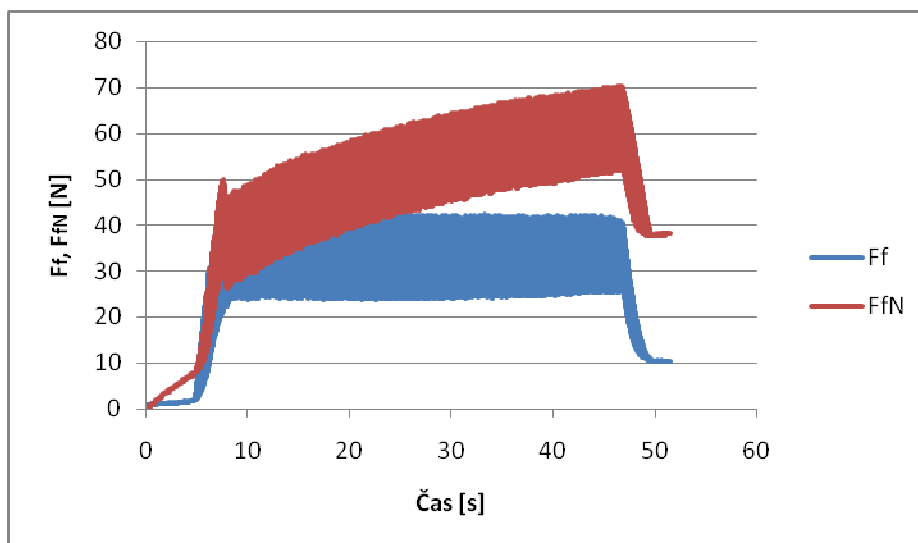
8.3.2 Řezné síly

Tab. 18 Odečtené hodnoty pro POM

Bez chlazení		Chlazení pomocí CO ₂	
F_f [N]	F_{fN} [N]	F_f [N]	F_{fN} [N]
28,2	26,4	30,5	38,2



Obr. 50 Porovnání řezných sil u POM bez chlazení



Obr. 51 Porovnání řezných sil u POM s chlazením CO_2

8.4 Polyvinylchlorid

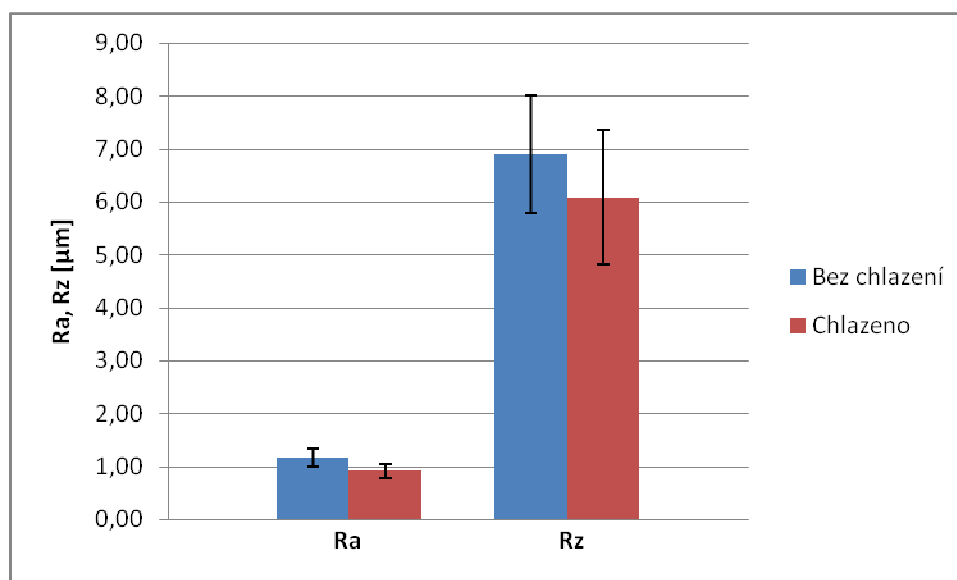
8.4.1 Měření drsnosti

Tab. 19 Naměřené hodnoty R_a , R_z pro PVC

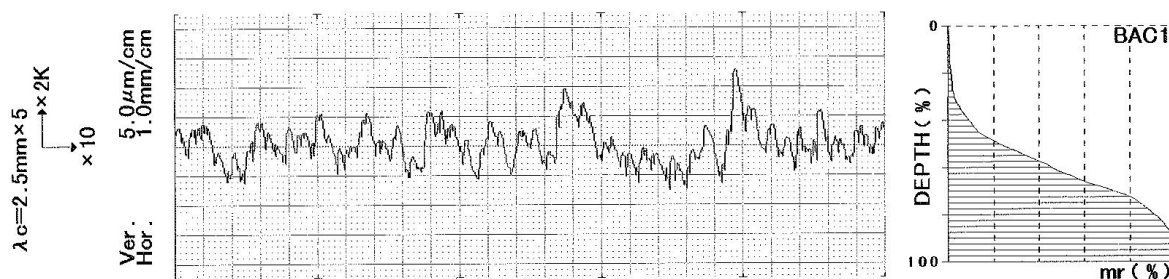
Měření	Bez chlazení		Chlazené pomocí CO_2	
	R_a [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_z [μm]
1	1,47	8,30	0,90	6,67
2	0,99	5,57	0,88	6,78
3	1,41	8,17	1,09	6,08
4	1,24	6,72	0,87	5,31
5	1,08	6,48	0,88	5,51
6	0,96	6,59	0,86	5,36
7	1,11	6,45	1,26	9,64
8	0,97	5,80	0,78	4,69
9	1,32	9,06	0,79	6,63
10	1,19	6,36	0,87	4,69
11	1,10	6,41	0,85	5,12
12	1,25	8,48	1,11	7,78
13	0,86	5,04	0,88	5,33
14	1,27	7,01	0,86	5,27
15	1,28	7,04	0,83	6,40
průměr	1,17	6,90	0,91	6,08
sm. odchylka	0,17	1,10	0,13	1,27
s,p=95%	0,34	2,21	0,26	2,54



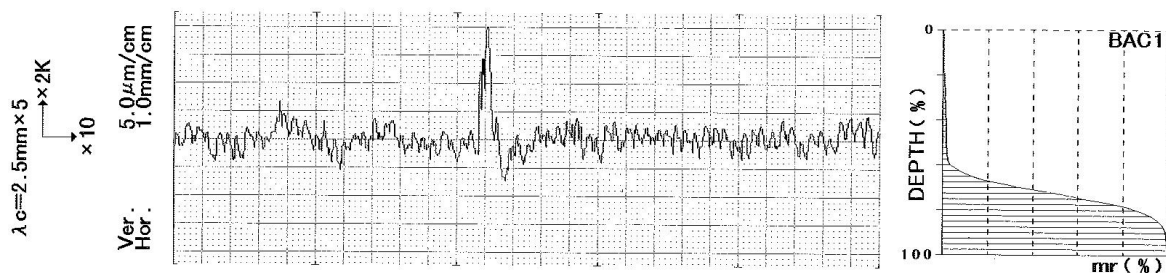
Obr. 52 Obrábění vzorku z PVC



Obr. 53 Porovnání parametrů Ra, Rz u PVC



Obr. 54 Profil drsnosti u PVC bez chlazení

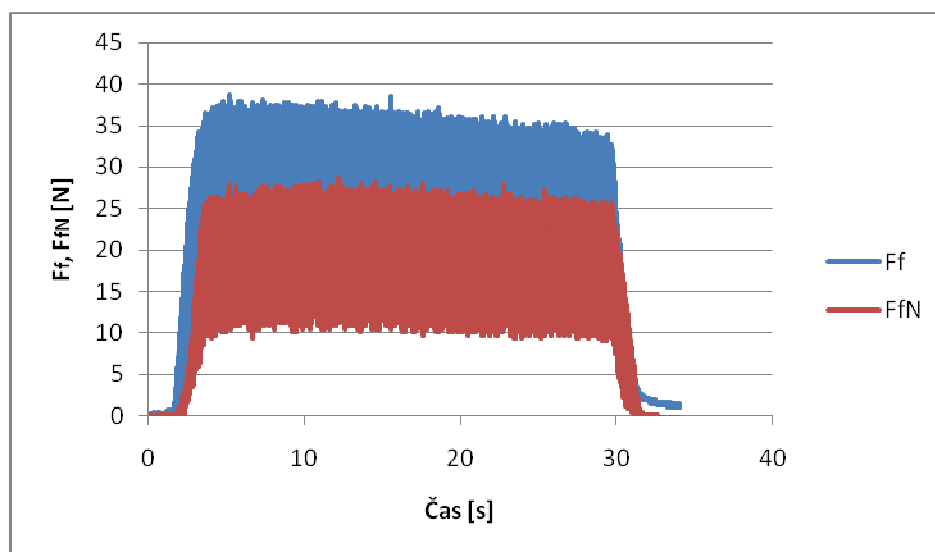


Obr. 55 Profil drsnosti u PVC s chlazením CO₂

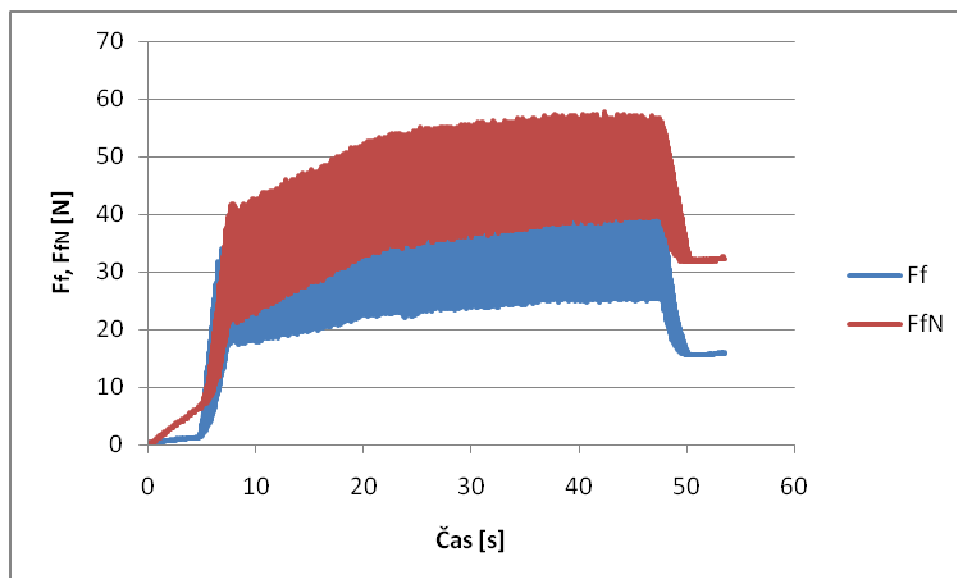
8.4.2 Řezné síly

Tab. 20 Odečtené hodnoty pro PVC

Bez chlazení		Chlazení pomocí CO ₂	
F_f [N]	F_{fN} [N]	F_f [N]	F_{fN} [N]
26,1	18,6	27,4	32,5



Obr. 56 Porovnání řezných sil u PVC bez chlazení



Obr. 57 Porovnání řezných sil u PVC s chlazením CO_2

8.5 Polypropylen

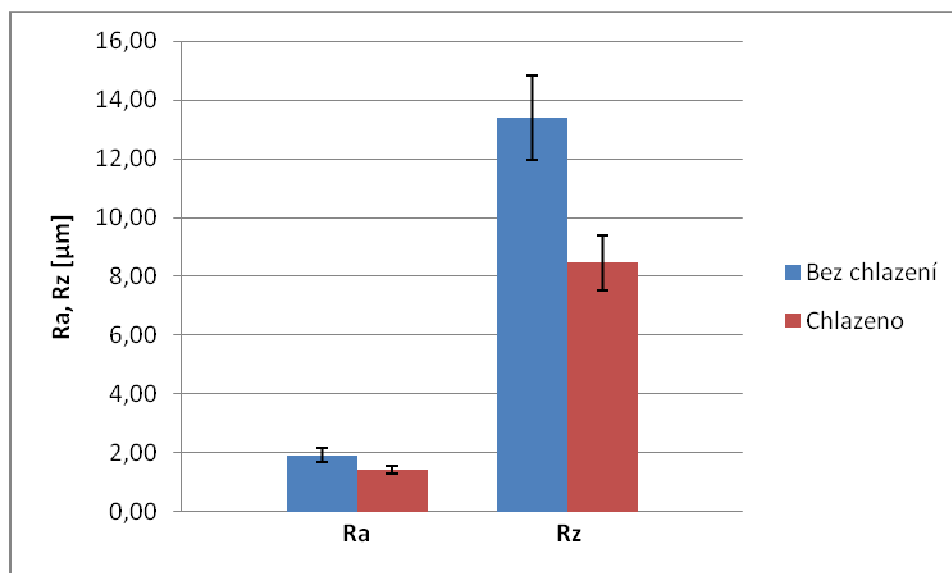
8.5.1 Měření drsnosti

Tab. 21 Naměřené hodnoty R_a , R_z pro PP

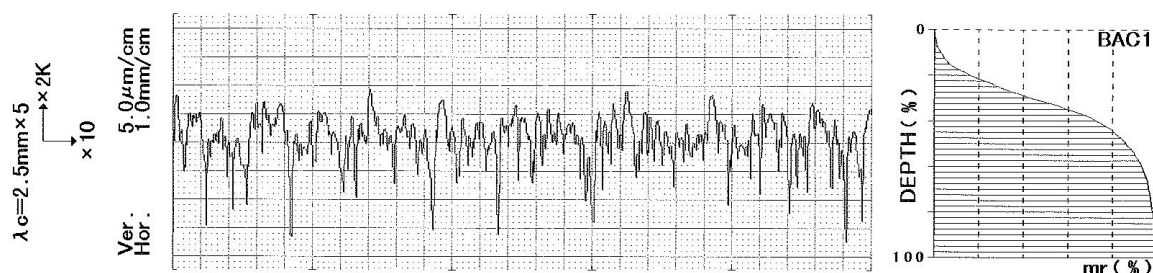
Měření	Bez chlazení		Chlazené pomocí CO_2	
	R_a [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_z [μm]
1	1,96	13,48	1,49	8,25
2	1,87	12,77	1,82	10,79
3	1,90	12,56	1,36	8,10
4	2,01	13,71	1,49	8,48
5	1,69	12,37	1,41	7,73
6	1,87	13,12	1,37	8,34
7	1,55	11,71	1,57	9,20
8	1,96	13,21	1,39	7,77
9	1,77	13,09	1,40	8,35
10	1,82	12,10	1,31	8,56
11	1,81	13,49	1,24	6,56
12	2,45	17,91	1,45	9,50
13	2,14	14,02	1,34	8,62
14	2,30	15,02	1,42	7,72
15	1,62	12,32	1,50	8,89
průměr	1,91	13,39	1,44	8,46
sm. odchylka	0,23	1,45	0,13	0,92
s,p=95%	0,47	2,90	0,26	1,84



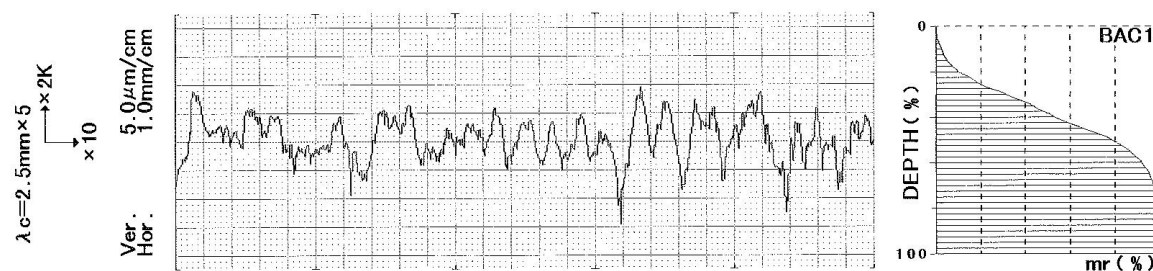
Obr. 58 Obrábění ochlazeného vzorku z PP



Obr. 59 Porovnání parametrů Ra, Rz u PP



Obr. 60 Profil drsnosti u PP bez chlazení

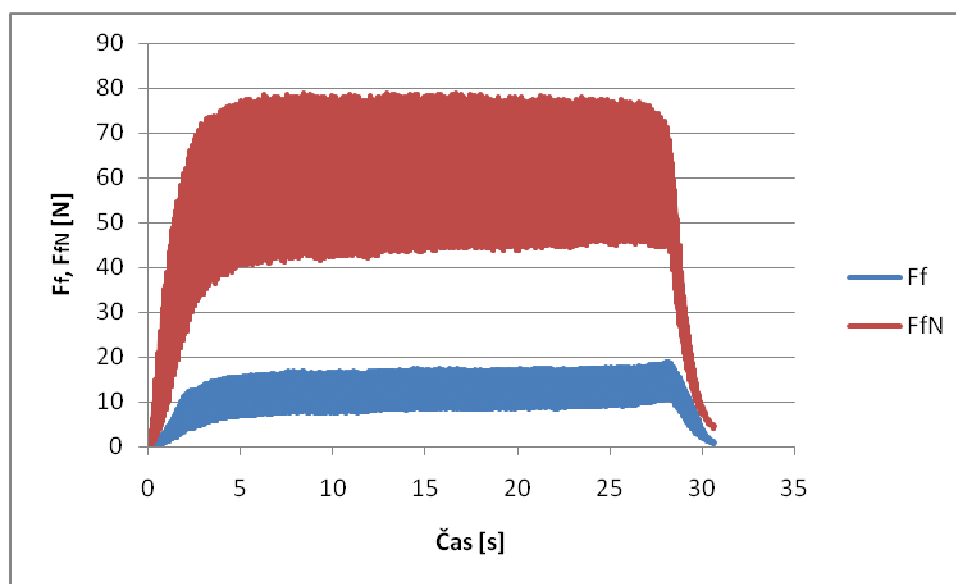


Obr. 61 Profil drsnosti u PP s chlazením CO₂

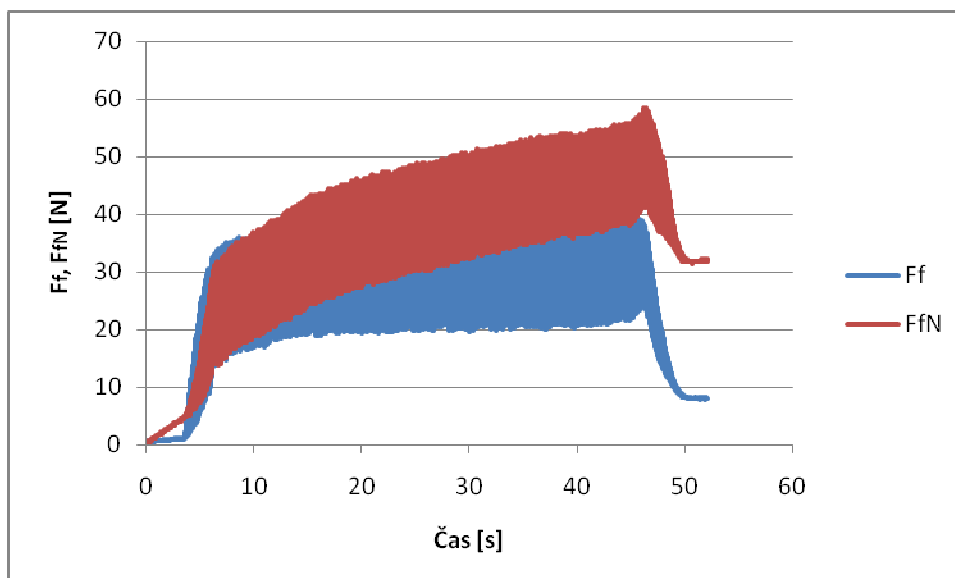
8.5.2 Řezné síly

Tab. 22 Odečtené hodnoty pro PP

Bez chlazení		Chlazené pomocí CO ₂	
F_f [N]	F_{fN} [N]	F_f [N]	F_{fN} [N]
60,1	12,7	26,3	27,3



Obr. 62 Porovnání řezných sil u PP bez chlazení



Obr. 63 Porovnání řezných sil u PP s chlazením CO_2

8.6 Dural AW 5083

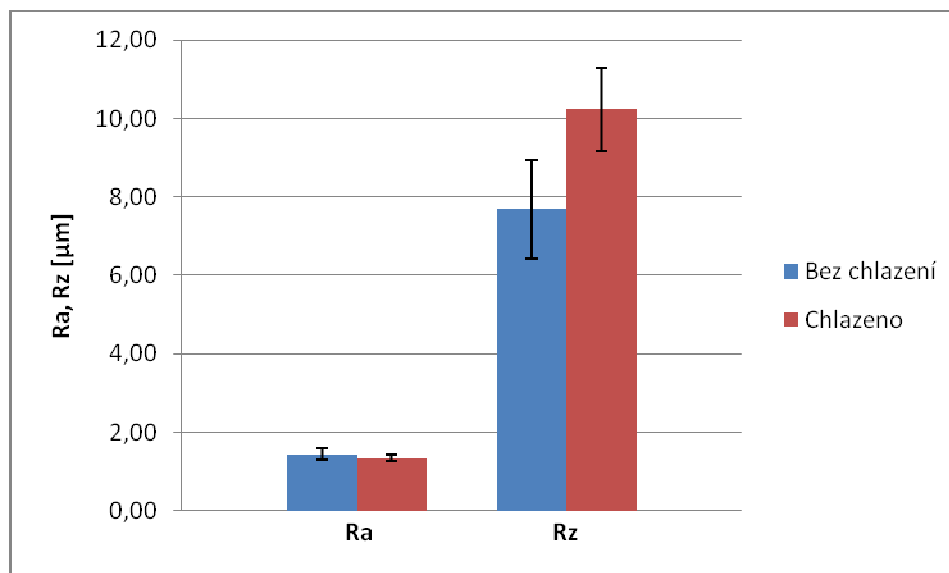
8.6.1 Měření drsnosti

Tab. 23 Naměřené hodnoty R_a , R_z pro dural

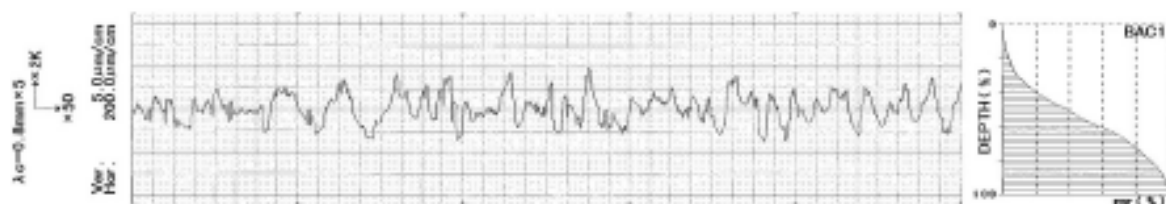
Měření	Bez chlazení		Chlazené pomocí CO_2	
	R_a [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_z [μm]
1	1,45	7,86	1,25	10,48
2	1,36	7,66	1,36	8,82
3	1,24	5,81	1,34	9,45
4	1,21	7,35	1,94	11,62
5	1,20	7,27	1,65	9,21
6	1,49	8,44	1,93	11,32
7	1,54	8,67	1,67	9,35
8	1,63	9,85	1,85	10,33
9	1,61	9,49	1,78	10,15
10	1,58	8,52	1,40	8,55
11	1,53	6,82	1,88	12,16
12	1,45	5,54	1,71	10,21
13	1,64	8,89	1,82	11,97
14	1,28	6,09	1,52	9,11
15	1,33	7,13	1,62	9,35
průměr	1,44	7,69	1,34	10,24
sm. odchylka	0,15	1,26	0,19	1,27
s,p=95%	0,30	2,51	0,17	2,11



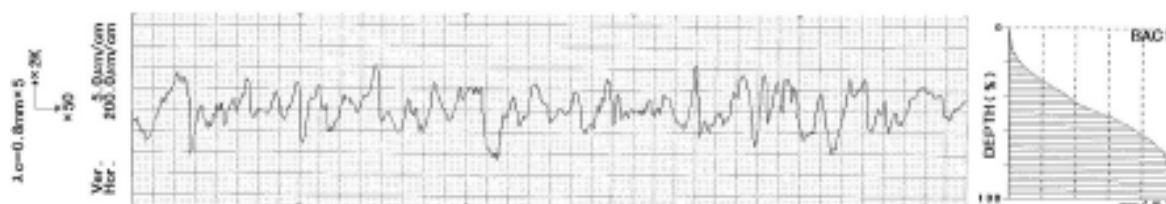
Obr. 64 Obráběný vzorek duralu



Obr. 65 Porovnání parametrů Ra, Rz u duralu



Obr. 66 Profil drsnosti u duralu bez chlazení

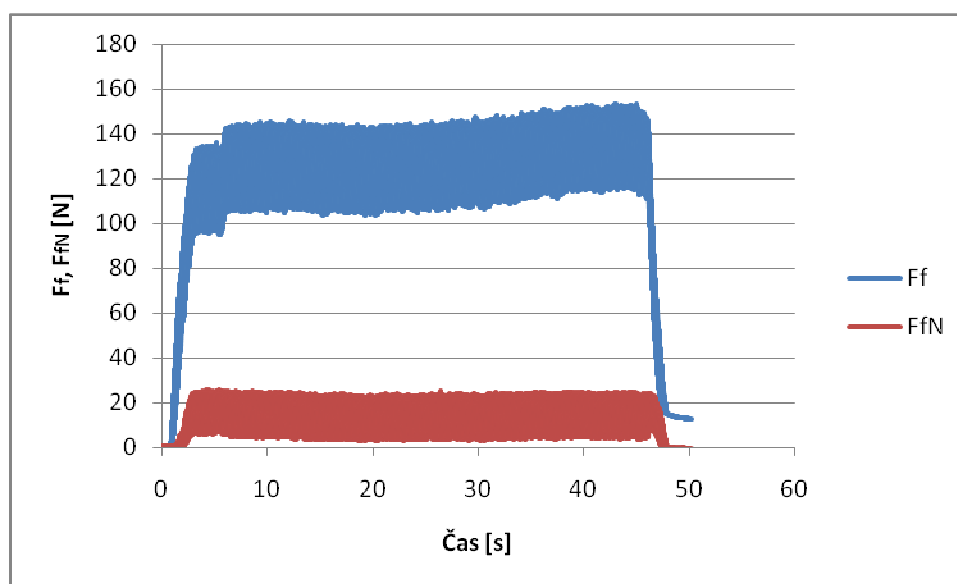


Obr. 67 Profil drsnosti u duralu s chlazením CO₂

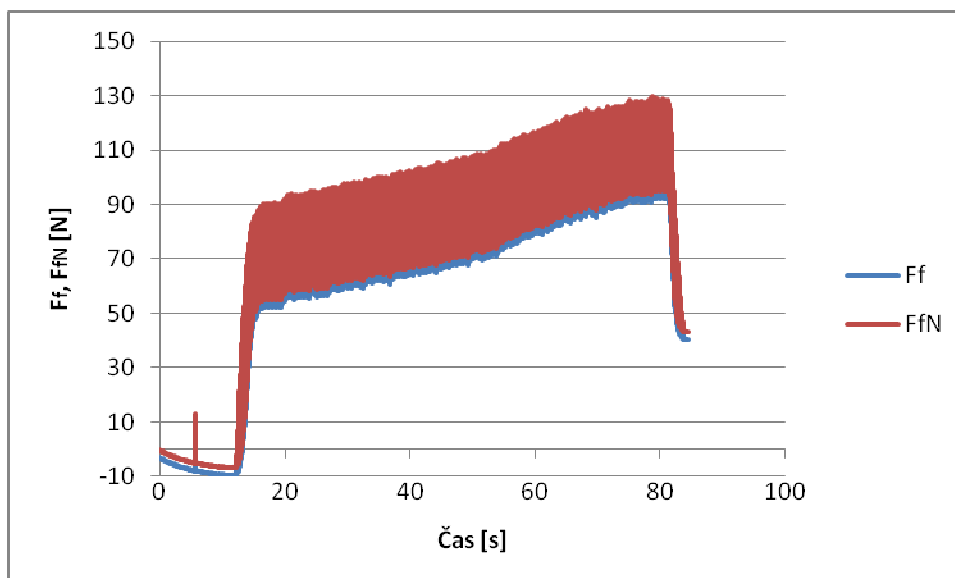
8.6.2 Řezné síly

Tab. 24 Odečtené hodnoty pro dural

Bez chlazení		Chlazení pomocí CO ₂	
F_f [N]	F_{fN} [N]	F_f [N]	F_{fN} [N]
125,2	13,8	77,6	67,4



Obr. 68 Porovnání řezných sil u duralu bez chlazení



Obr. 69 Porovnání řezných sil u duralu s chlazením CO_2

8.7 Třívrstvý laminát

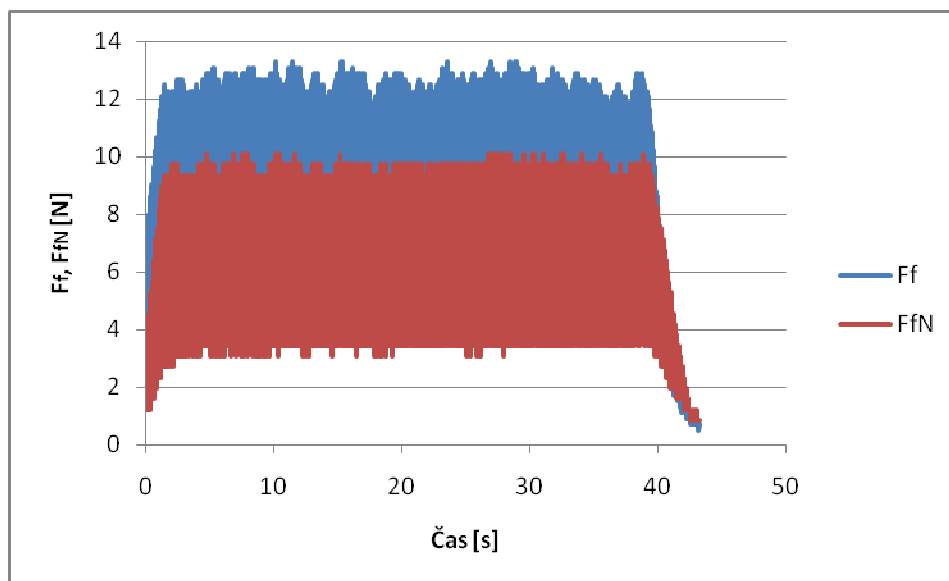


Obr. 70 Obrábění třívrstvého laminátu

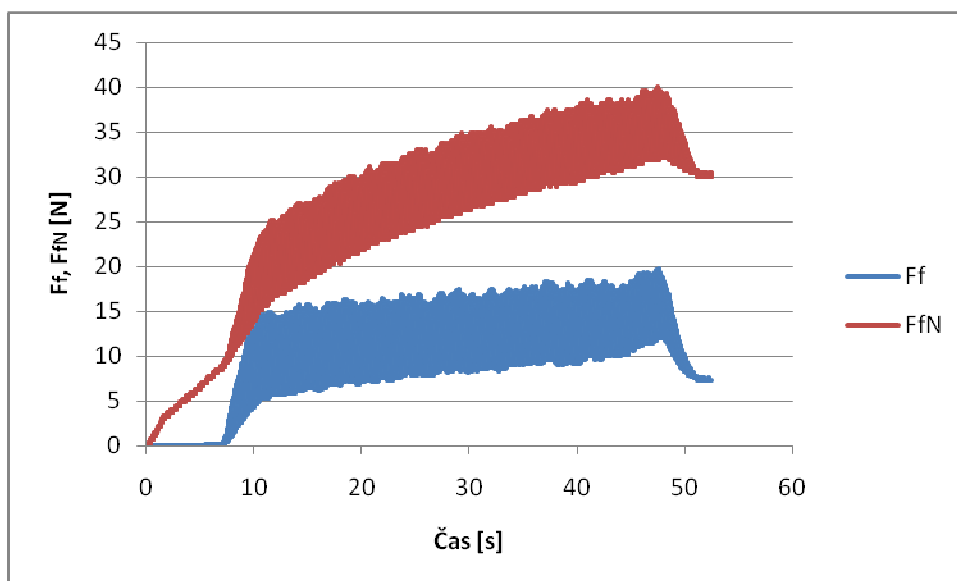
8.7.1 Řezné síly

Tab. 25 Odečtené hodnoty pro třívrstvý laminát

Bez chlazení		Chlazení pomocí CO_2	
F_f [N]	F_{fN} [N]	F_f [N]	F_{fN} [N]
8,3	6,2	7,5	16,7

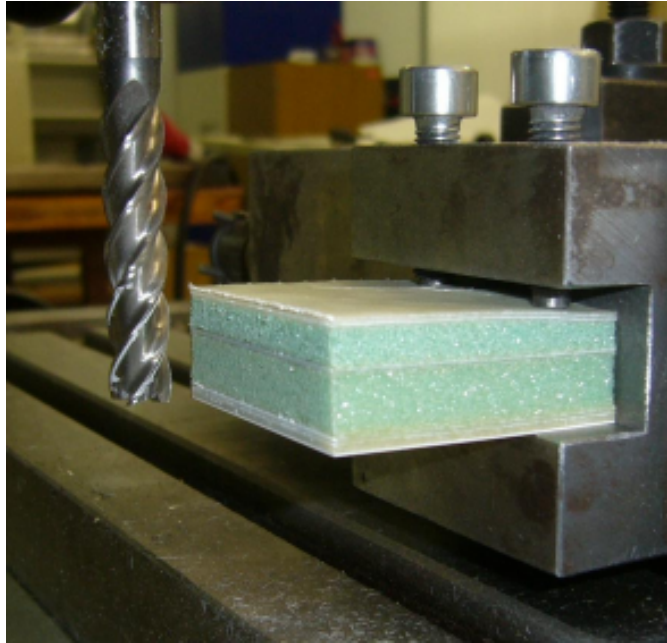


Obr. 71 Porovnání řezných sil u třívrstvého laminátu bez chlazení



Obr. 72 Porovnání řezných sil u třívrstvého laminátu s chlazením CO_2

8.8 Pětivrstvý laminát

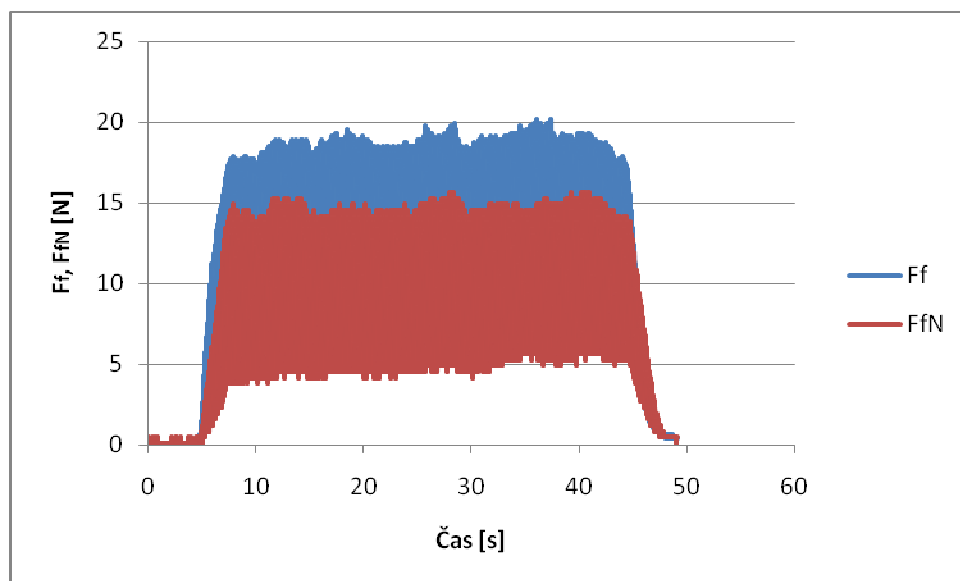


Obr. 74 Pětivrstvý laminát připraven k obrábění

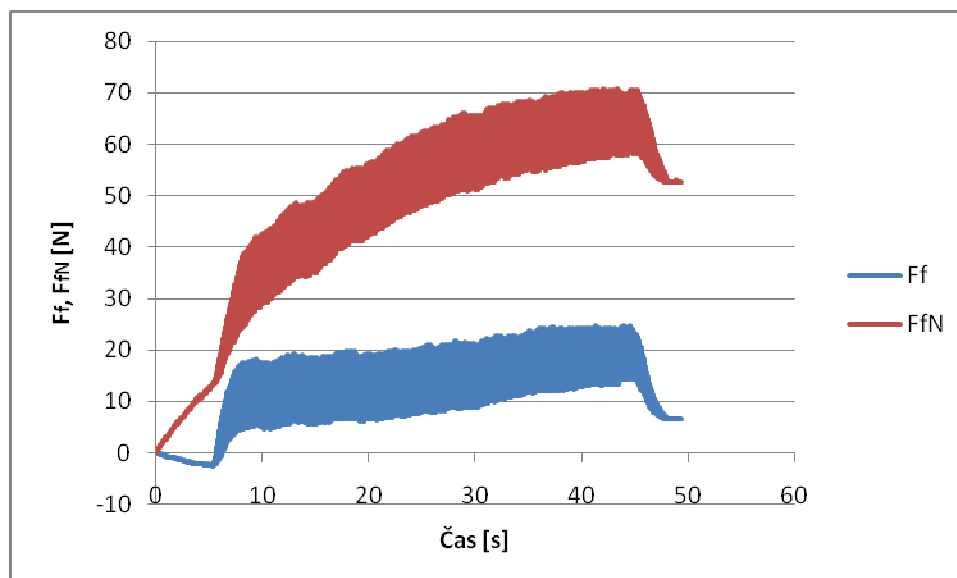
8.8.1 Řezné síly

Tab. 26 Odečtené hodnoty pro pětivrstvý laminát

Bez chlazení		Chlazeno pomocí CO ₂	
F_f [N]	F_{fN} [N]	F_f [N]	F_{fN} [N]
12,8	9,7	11,8	37,6



Obr. 74 Porovnání řezných sil u pětivrstvého laminátu bez chlazení



Obr. 75 Porovnání řezných sil u pětivrstvého laminátu s chlazením CO_2

8.9 Použité vzorce

Vzorce byly použity na vyhodnocení výsledných parametrů drsnosti Ra a Rz .

8.9.1 Aritmetický průměr

Aritmetický průměr je dán součtem skupiny čísel a jeho následným vydělením počtem těchto čísel. Počítán v programu Microsoft Excel pomocí funkce PRŮMĚR.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

8.9.2 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka vyjadřuje, jak se hodnoty liší od průměrné hodnoty (střední hodnoty). Počítána v programu Microsoft Excel pomocí funkce SMODCH.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

kde x je střední hodnota výběru funkce PRŮMĚR a n je velikost hodnoty.

9 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

9.1 Polykarbonát

Tab. 27 Vyhodnocení polykarbonátu

	Bez chlazení	Chlazení CO₂
Parametry drsnosti [μm]	$R_a = 6,33 \pm 0,93$	$R_a = 1,34 \pm 0,13$
	$R_z = 29,35 \pm 4,54$	$R_z = 9,61 \pm 1,14$
Složky řezných sil [N]	$F_f = 37,60$	$F_f = 27,10$
	$F_{fN} = 15,30$	$F_{fN} = 22,80$

9.2 Polyoxometylen

Tab. 28 Vyhodnocení polyoxometyleny

	Bez chlazení	Chlazení CO₂
Parametry drsnosti [μm]	$R_a = 0,62 \pm 0,05$	$R_a = 0,59 \pm 0,03$
	$R_z = 3,93 \pm 0,36$	$R_z = 4,27 \pm 0,48$
Složky řezných sil [N]	$F_f = 28,20$	$F_f = 30,50$
	$F_{fN} = 27,30$	$F_{fN} = 38,20$

9.3 Polyvinylchlorid

Tab. 29 Vyhodnocení polyvinylchloridu

	Bez chlazení	Chlazení CO₂
Parametry drsnosti [μm]	$R_a = 1,17 \pm 0,17$	$R_a = 0,91 \pm 0,13$
	$R_z = 6,90 \pm 1,10$	$R_z = 6,08 \pm 1,27$
Složky řezných sil [N]	$F_f = 26,10$	$F_f = 27,40$
	$F_{fN} = 18,60$	$F_{fN} = 32,50$

9.4 Polypropylen

Tab. 30 Vyhodnocení polypropyleny

	Bez chlazení	Chlazení CO₂
Parametry drsnosti [μm]	$R_a = 1,91 \pm 0,23$	$R_a = 1,44 \pm 0,13$
	$R_z = 13,39 \pm 1,45$	$R_z = 8,46 \pm 0,92$
Složky řezných sil [N]	$F_f = 60,10$	$F_f = 26,50$
	$F_{fN} = 12,70$	$F_{fN} = 27,30$

9.5 Dural AW 5083

Tab. 31 Vyhodnocení duralu AW 5083

	Bez chlazení	Chlazení CO₂
Parametry drsnosti [μm]	$Ra = 1,44 \pm 0,15$	$Ra = 1,68 \pm 0,19$
	$Rz = 7,69 \pm 1,26$	$Rz = 10,09 \pm 1,27$
Složky řezných sil [N]	$F_f = 125,20$	$F_f = 77,60$
	$F_{fN} = 13,80$	$F_{fN} = 67,60$

9.6 Třívrstvý laminát

Tab. 32 Vyhodnocení třívrstvého laminátu

	Bez chlazení	Chlazení CO₂
Složky řezných sil [N]	$F_f = 8,30$	$F_f = 7,50$
	$F_{fN} = 6,20$	$F_{fN} = 16,70$

9.7 Pětivrstvý laminát

Tab. 33 Vyhodnocení pětivrstvého laminátu

	Bez chlazení	Chlazení CO₂
Složky řezných sil [N]	$F_f = 12,80$	$F_f = 11,80$
	$F_{fN} = 9,70$	$F_{fN} = 37,60$

Z provedených měření vyplývá, že na vyhodnocené parametry drsnosti Ra a Rz a na parametry řezných sil má vliv použitý materiál obrobku.

Významný vliv má chlazení u materiálu z polykarbonátu, kde aritmeticky průměrná hodnota parametru Ra u nechlazeného povrchu obrobku je $6,33\mu\text{m}$ a za pomoci chlazení CO₂ se hodnota snížila na $1,34\mu\text{m}$. Hodnota parametru Rz bez použití chlazení je $29,35\mu\text{m}$, při použití chlazení tato hodnota klesla na $9,61\mu\text{m}$. Složky řezných sil se od sebe příliš neliší. Podchlazením tohoto materiálu se kvalita struktury povrchu obrobku výrazně vylepšila. Nejpravděpodobněji to bylo docíleno tím, že při obrábění podchlazeného povrchu se třísky jemně nalepovaly, až dosáhly souvislé vrstvy tzv. špony (viz. Obr. 40). Neovlivňovaly avšak obrobený povrch (nenalepovaly se).

Vzorek z duralu AW 5083 představuje přesný opak oproti polykarbonátu. Průměrná hodnota parametru Ra u nechlazeného povrchu je $1,44\mu\text{m}$ a při použití chlazení se hodnota změnila na $1,68\mu\text{m}$. Parametr Rz bez použití chlazení má hodnotu $7,69\mu\text{m}$ a při chlazení vzorku

je průměrná hodnota 10,09 μ m. U duralu dosahují složky působících řezných sil nejvyšších hodnot v porovnání s ostatními materiály. V případě, pokud je třeba dbát na kvalitu povrchu, je lepší frézovat materiál bez chlazení. U zbývajících plastových vzorků se parametry R_a a R_z až tak významně neliší, taktéž je to i u složek řezných sil. U pětivrstvého laminátu jsou řezné síly větší než u třívrstvého laminátu. Tento rozdíl newtonů je dán složením většího počtu vrstev u pětivrstvého laminátu. Při obrábění u podchlazeného vzorku se nejvíce ze všech materiálů zahříval polypropylen (viz. Tab. 14).

ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zjištění drsností povrchů vzorků obrobených frézováním za stejných řezných podmínek a porovnání hodnot při frézování bez použití chladicího média s hodnotami naměřenými při frézování s použitím chladicího média CO₂.

V teoretické části bakalářské práce byl proveden úvod do technologie obrábění kovů a plastů. Byly zde vypsány nejpoužívanější technologie, jako je frézování, soustružení, vrtání a broušení. Frézování bylo popsáno nejpodrobněji, protože na toto obrábění navazuje praktická část této práce. Dále byly rozebrány druhy chladicích kapalin, kryogenního chlazení a bezpečnost při používání.

V praktické části bakalářské práce se řešila problematika frézování kovových a plastových materiálů za nízkých teplot. Všechny vzorky různých materiálů byly upnuty ve dvousložkovém tenzometrickém dynamometru, který byl přichycen k pracovnímu stolu frézky. Vzniklé řezné síly byly vyhodnocovány pomocí vícekanálového převodníku SPIDER8. Obrábění probíhalo za stejných řezných podmínek bez použití chlazení a s chlazením CO₂. Po obrobení vzorků byla následně změřena drsnost povrchů pomocí dílenského přístroje MITUTOYO SJ-301.

Profily drsností materiálů a složky řezných sil jsou doloženy v praktické části. Výsledné parametry R_a a R_z pro různé materiály jsou zaneseny do příslušných tabulek a grafů. Chybové úsečky ve sloupcových grafech udávají toleranci s pravděpodobností 95%. U laminátových materiálů drsnost povrchů měřena nebyla z důsledku různých typů vrstev, ze kterých se vzorek skládal. Jako chladicí zařízení byl použit hasicí přístroj s CO₂. Spotřeba chladicího média byla celkem velká, přibližně 4kg z 5kg, které láhev obsahuje.

Z výsledků měření lze tedy říci, že použití chlazení CO₂ je výhodné pro frézování vzorku z polykarbonátu, dáno značným rozdílem kvality drsnosti povrchu mezi parametry R_a a R_z bez chlazení a s chlazením. Všechny zbývající vzorky lze frézovat i bez chlazení, jelikož se struktura povrchu nechlazeného materiálu a podchlazeného materiálu liší velmi nepatrně.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŘASA, J.; GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3. Metody, stroje a nástroje pro obrábění*, 2.vyd.; Scientia: Praha, 2005. ISBN 80-7183-337-1
- [2] KOČMAN, K. *Technologické procesy obrábění*; 1.vyd.; Akademické nakladatelství CERM: Brno, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2
- [3] LUKOVICS, I. *Konstrukční materiály a technologie*, VUT Brno, 1991. ISBN 80-214-0399-3
- [4] KOČMAN, K. *Speciální technologie. Obrábění*, 3.vyd.; Akademické nakladatelství CERM: Brno, 2004. ISBN 80-214-2562-8
- [5] OTA, J. *Kryogenní technika a její aplikace*, 1.vyd.; ČVUT Praha, 2004. ISBN 80-01-02904-2
- [6] JELÍNEK, J.; MÁLEK, Z. *Kryogenní technika*, 1.vyd.; SNTL - Nakladatelství technické literatury: Praha, 1982.
- [7] ČSN ISO 3002-3. *Rezné nástroje. Základné veličiny pri rezaní a brúsení*, Praha: Český normalizační institut, 1994. 16 s.
- [8] ČSN ISO 3002-4. *Rezné nástroje Základné veličiny pri rezaní a brúsení.*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994. 20 s.
- [9] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*, 1999.
- [10] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*, 1999.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Význam symbolu	Jednotky
F_f	Síla posuvu (tečná složka)	N
F_{fN}	Síla kolmá na sílu posuvu (normálová složka)	N
R_a	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	μm
R_z	Největší výška profilu	μm
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci	
PKBN	Polykrystalický kubický nitrid bóru-	
PS	Polystyren	
PE	Polyetylen	
PVAC	Polyvinylacetát	
PUR	Polyuretan	
CO ₂	Oxid uhličitý	
O ₂	Kyslík	
NC	Numerical control – číslicové řízení	
ČSN	Česká státní norma	
Mg	Hořčík	
Mn	Mangan	
T_0	Teplota před frézováním	°C
T_1	Teplota po frézování	°C

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Frézování obvodem válcové frézy [7]</i>	13
<i>Obr. 2 Frézování čelem čelní frézy [7]</i>	13
<i>Obr. 3 Průřez třísky odebíraný při válcovém frézování [1]</i>	14
<i>Obr. 4 Průřez třísky odebíraný při čelním frézování [1]</i>	14
<i>Obr. 5 Frézování [1]</i>	15
<i>Obr. 6 Některé druhy fréz [1]</i>	16
<i>Obr. 7 Zuby fréz [1]</i>	16
<i>Obr. 8 Fréza [1]</i>	17
<i>Obr. 9 Vodorovná konzolová frézka [1]</i>	18
<i>Obr. 10 Svislá konzolová frézka [1]</i>	19
<i>Obr. 11 Podélné soustružení [1]</i>	20
<i>Obr. 12 Čelní soustružení [1]</i>	20
<i>Obr. 13 Základní tvary soustružnických nožů [1]</i>	20
<i>Obr. 14 Upínání nástrojů do soustruhu [1]</i>	21
<i>Obr. 15 Upínání mezi hroty [1]</i>	22
<i>Obr. 16 Tříčelist'ové univerzální sklíčidlo [1]</i>	22
<i>Obr. 17 Univerzální hrotový soustruh [1]</i>	23
<i>Obr. 18 Schéma čelního soustruhu [1]</i>	23
<i>Obr. 19 Schéma svislého soustruhu [1]</i>	24
<i>Obr. 20 Revolverový soustruh s hlavou otáčející se kolem svislé osy [1]</i>	24
<i>Obr. 21 Záběr, posuv a průřez třísky při vrtání[7]</i>	26
<i>Obr. 22 Stolní vrtačka [1]</i>	28
<i>Obr. 23 Sloupová vrtačka [1]</i>	29
<i>Obr. 24 Stojanová vrtačka [1]</i>	29
<i>Obr. 25 Struktura brousícího nástroje [1]</i>	30
<i>Obr. 26 Některé tvary brousících kotoučů [1]</i>	32
<i>Obr. 27 Hrotové brusky [1]</i>	34
<i>Obr. 28 Bruska na díry [1]</i>	34
<i>Obr. 29 Rovinné brusky [1]</i>	35
<i>Obr. 30 Vrták na vrtání reaktoplastů [1]</i>	38
<i>Obr. 31 Vrták do dřeva [1]</i>	38

<i>Obr. 32</i> Rozsahy jednotlivých typů teploměrů [5].....	44
<i>Obr. 33</i> Univerzální frézka FHV-50PD	48
<i>Obr. 34</i> Válcová čelní fréza $\varnothing D = 10\text{mm}$	49
<i>Obr. 35</i> Příklad MITUTOYO SJ-301	50
<i>Obr. 36</i> Vyznačení řezných sil u obrobku upnutém v dynamometru.....	51
<i>Obr. 37</i> Digitální teploměr FLUKE 574.....	52
<i>Obr. 38</i> Třívrstvý laminát	56
<i>Obr. 39</i> Pětivrstvý laminát	56
<i>Obr. 40</i> Obrobený vzorek PC s použitím CO_2	59
<i>Obr. 41</i> Porovnání parametrů R_a , R_z u PC.....	59
<i>Obr. 42</i> Profil drsnosti u PC bez chlazení.....	60
<i>Obr. 43</i> Profil drsnosti u PC s chlazením CO_2	60
<i>Obr. 44</i> Porovnání řezných sil u PC bez chlazení	60
<i>Obr. 45</i> Porovnání řezných sil u PC s chlazením CO_2	61
<i>Obr. 46</i> Ochlazený vzorek POM	62
<i>Obr. 47</i> Porovnání parametrů R_a , R_z u POM	62
<i>Obr. 48</i> Profil drsnosti u POM bez chlazení	63
<i>Obr. 49</i> Profil drsnosti u POM s chlazením CO_2	63
<i>Obr. 50</i> Porovnání řezných sil u POM bez chlazení.....	63
<i>Obr. 51</i> Porovnání řezných sil u POM s chlazením CO_2	64
<i>Obr. 52</i> Obrábění vzorku z PVC	65
<i>Obr. 53</i> Porovnání parametrů R_a , R_z u PVC	65
<i>Obr. 54</i> Profil drsnosti u PVC bez chlazení.....	66
<i>Obr. 55</i> Profil drsnosti u PVC s chlazením CO_2	66
<i>Obr. 56</i> Porovnání řezných sil u PVC bez chlazení.....	66
<i>Obr. 57</i> Porovnání řezných sil u PVC s chlazením CO_2	67
<i>Obr. 58</i> Obrábění ochlazeného vzorku z PP.....	68
<i>Obr. 59</i> Porovnání parametrů R_a , R_z u PP	68
<i>Obr. 60</i> Profil drsnosti u PP bez chlazení	69
<i>Obr. 61</i> Profil drsnosti u PP s chlazením CO_2	69
<i>Obr. 62</i> Porovnání řezných sil u PP bez chlazení	69
<i>Obr. 63</i> Porovnání řezných sil u PP s chlazením CO_2	70
<i>Obr. 64</i> Obráběný vzorek duralu.....	71

<i>Obr. 65 Porovnání parametrů Ra, Rz u duralu</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 66 Profil drsnosti u duralu bez chlazení</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 67 Profil drsnosti u duralu s chlazením CO₂</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 68 Porovnání řezných sil u duralu bez chlazení.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 69 Porovnání řezných sil u duralu s chlazením CO₂.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 70 Obrábění tří vrstvého laminátu</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 71 Porovnání řezných sil u tří vrstvého laminátu bez chlazení.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 72 Porovnání řezných sil u třívrstvého laminátu s chlazením CO₂.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 73 Pět vrství laminát připraven k obrábění</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 74 Porovnání řezných sil u pěti vrstvého laminátu bez chlazení.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 75 Porovnání řezných sil u pěti vrstvého laminátu s chlazením CO₂</i>	<i>76</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1</i> Hodnoty přesnosti a drsnosti [1].....	25
<i>Tab. 2</i> Přehled použitých vrtáků [1].....	30
<i>Tab. 3</i> Nejčastěji používané materiály brusiva [1]	31
<i>Tab. 4</i> Struktura běžně používaných brousících kotoučů[1]	32
<i>Tab. 5</i> Přesnost a jakost ploch obrobených broušením [1].....	35
<i>Tab. 6</i> Parametry válcové čelní frézy	49
<i>Tab. 7</i> Vlastnosti polykarbonátu.....	53
<i>Tab. 8</i> Vlastnosti polyoxometylenu	54
<i>Tab. 9</i> Vlastnosti polyvinylchloridu	54
<i>Tab. 10</i> Vlastnosti polypropylenu	55
<i>Tab. 11</i> Vlastnosti duralu AW 5083.....	55
<i>Tab. 12</i> Vlastnosti třívrstvého laminátu.....	56
<i>Tab. 13</i> Vlastnosti pětivrstvého laminátu	56
<i>Tab. 14</i> Teploty při frézování.....	58
<i>Tab. 15</i> Naměřené hodnoty Ra, Rz pro PC.....	58
<i>Tab. 16</i> Vypočítané hodnoty pro PC.....	60
<i>Tab. 17</i> Naměřené hodnoty Ra, Rz pro POM	61
<i>Tab. 18</i> Vypočítané hodnoty pro POM	63
<i>Tab. 19</i> Naměřené hodnoty Ra, Rz pro PVC	64
<i>Tab. 20</i> Vypočítané hodnoty pro PVC	66
<i>Tab. 21</i> Naměřené hodnoty Ra, Rz pro PP	67
<i>Tab. 22</i> Vypočítané hodnoty pro PP.....	69
<i>Tab. 23</i> Naměřené hodnoty Ra, Rz pro dural	70
<i>Tab. 24</i> Vypočítané hodnoty pro dural	72
<i>Tab. 25</i> Vypočítané hodnoty pro třívrstvý laminát	73
<i>Tab. 26</i> Vypočítané hodnoty pro pětivrstvý laminát	75
<i>Tab. 27</i> Vyhodnocení polykarbonátu	77
<i>Tab. 28</i> Vyhodnocení polyoxometylenu	77
<i>Tab. 29</i> Vyhodnocení polyvinylchloridu	77
<i>Tab. 30</i> Vyhodnocení polypropylenu	77
<i>Tab. 31</i> Vyhodnocení duralu AW 5083	78

<i>Tab. 32</i> Vyhodnocení třívrstvého laminátu.....	78
<i>Tab. 33</i> Vyhodnocení pětivrstvého laminátu.....	78