

# **Broušení jakožto dokončovací operace po třískovém obrábění**

David Holínek

---

Bakalářská práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Holínek**

Osobní číslo: **T16800**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Broušení jako dokončovací operace po třískovém obrábění**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Provedte analýzu současného stavu
3. Navrhněte řešení pro uvažovanou technologii obrábění
4. Provedte ekonomické zhodnocení



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího BP**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. František Volek, CSc.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2018**

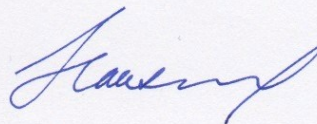
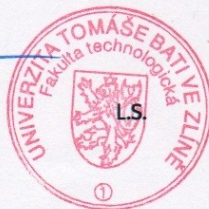
Termín odevzdání bakalářské práce:

**18. května 2018**

Ve Zlíně dne 19. února 2018



doc. Ing. František Buňka, 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 obhajoby <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> 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.

V Zádveřicích 21.5.2011.....

<sup>1)</sup> 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 nevyjádřeně 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.

<sup>2)</sup> 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 díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> 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 jim 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 přihlídá k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá porovnáním broušeného a soustruženého povrchu. Práce popisuje snahu dosažení kvality povrchu po broušení za pomoci vysokorychlostního soustružení. Teoretická část práce se zabývá technologií broušení, řeznými podmínkami a drsností povrchu. Praktická část zahrnuje popis použitých zařízení, výrobu vzorků a zhodnocení pokusu. Cílem praktické části je porovnání drsnosti povrchu jednotlivých vzorků.

Klíčová slova: brousící kotouč, jakost povrchu, konstrukční ocel

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with comparison surface after grinding and turning. The paper describes effort to do surface with quality after grinding using high speed turning. The theoretical part deals with the technology of grinding, the cutting conditions and the surface roughness. The practical part involves a description of the equipment, the production of the samples and evaluation of the experiment. The aim of the practical part is to compare the surface roughness of the individual samples.

Keywords: grinding wheel, surface quality, construction steel



Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Františku Volkovi, CSc. za jeho obětavý přístup, cenné připomínky, rady a čas strávený nad touto prací. Dále bych chtěl poděkovat strojírenským firmám PP System a Ideal Trade, spol. s r. o. za dodání materiálu a zhotovení vzorků dle výkresové dokumentace. Panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za pomoc s měřením drsnosti a statistickým zpracováním naměřených hodnot. A v neposlední řadě i svým rodičům, přítelkyni a týmu za psychickou podporu a trpělivost.

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

Ve Zlíně, 24. 5. 2018

.....

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY BROUŠENÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 TVORBA TRÍSKY PŘI BROUŠENÍ.....	13
1.2 ŘEZNÉ SÍLY .....	14
1.3 ŘEZNÉ PODMÍNKY .....	15
1.4 TEORETICKÉ CHARAKTERISTIKY BROUSÍCÍHO PROCESU .....	16
1.4.1 Obvodová rychlost brousícího kotouče.....	16
1.4.2 Obvodová rychlost obrobku $v_w$ při rotačním broušení.....	16
1.4.3 Ekvivalentní tloušťka třísky .....	16
1.4.4 Rychlost opotřebení brousícího kotouče .....	17
1.4.5 Řezná síla $F_c$ – určena z experimentálně získané rovnice při rotačním broušení .....	17
<b>2 ZÁKLADNÍ METODY BROUŠENÍ</b> .....	<b>18</b>
2.1 VNĚJŠÍ AXIÁLNÍ BROUŠENÍ DO KULATA .....	21
2.2 VNITŘNÍ AXIÁLNÍ BROUŠENÍ DO KULATA .....	23
2.3 OBVODOVÉ ROVINNÉ BROUŠENÍ.....	25
<b>3 BROUSÍCÍ NÁSTROJE</b> .....	<b>26</b>
3.1 STANDARDNÍ BROUSÍCÍ KOTOUČE .....	26
3.1.1 Jednotlivé symboly značení .....	27
3.1.2 Upínání brousících kotoučů .....	30
3.1.3 Vyvažování brousících kotoučů .....	30
3.1.4 Bezpečnost práce.....	30
<b>4 ŘEZNÉ KAPALINY</b> .....	<b>32</b>
4.1 VOLBA ŘEZNÉ KAPALINY .....	32
4.1.1 Řezný nástroj.....	32
4.1.2 Obráběný materiál .....	33
4.1.3 Jakost obrobené plochy .....	33
4.2 CHARAKTERISTIKY A VLASTNOSTI ŘEZNÝCH KAPALIN.....	34
4.2.1 Chladicí účinek.....	34
4.2.2 Mazací účinek .....	34
4.2.3 Čistící účinek.....	35
4.2.4 Provozní stálost .....	35
4.2.5 Ochranný účinek .....	35
4.2.6 Zdravotní nezávadnost .....	36
4.2.7 Přiměřené náklady.....	36
4.3 ROZDĚLENÍ ŘEZNÝCH KAPALIN .....	36
4.3.1 Vodní roztoky.....	37
4.3.2 Emulzní kapaliny .....	37
4.3.3 Mastné oleje a tuky .....	38
4.3.4 Minerální oleje .....	38



4.3.5	Řezné oleje .....	38
4.3.6	Syntetické kapaliny .....	39
4.4	PŘÍVOD ŘEZNÉ KAPALINY DO MÍSTA ŘEZU .....	39
4.5	VOLBA ŘEZNÉ KAPALINY DLE DRUHU PRÁCE .....	40
4.6	CHLADÍCÍ KAPALINY PŘI BROUŠENÍ .....	41
<b>5</b>	<b>DRSNOST POVRCHU .....</b>	<b>42</b>
5.1	PROFIL OBROBENÉHO POVRCHU .....	42
5.2	PŘEDPIS DRSNOSTI POVRCHU NA VÝKRESE .....	43
5.3	POPIS ZNAČENÍ DRSNOSTI POVRCHU .....	45
5.4	VOLBA STUPNĚ DRSNOSTI .....	45
5.5	VÝŠKOVÉ PARAMETRY UDÁVANÉ VE VÝKRESOVÉ DOKUMENTACI .....	46
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÉ STROJE, PŘÍSTROJE A TESTOVACÍ VZORKY .....</b>	<b>50</b>
7.1	HROTOVÝ SOUSTRUH SUI 50 .....	50
7.2	MECHATRONICKÝ SOUSTRUH CHEVALIER FCL 2160 .....	51
7.3	BRUSKA TOS 2UD .....	52
7.4	MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJ TAYLOR HOBSON FORM TALYSURF 50 .....	54
7.5	ZKOUŠENÝ MATERIÁL .....	55
7.5.1	Ocel ČSN 11600 .....	55
7.5.2	Ocel ČSN 12050 .....	56
<b>8</b>	<b>POSTUP PŘÍPRAVY VZORKŮ A MĚŘENÍ .....</b>	<b>58</b>
8.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ .....	58
8.1.1	Soustružení na soustruhu SUI 50 .....	58
8.1.1.1	Označení vzorků .....	59
8.1.1.2	Postup přípravy vzorků: .....	59
8.1.1.3	Použité nástroje .....	61
8.1.2	Dokončovací soustružení na soustruhu Chevalier .....	61
8.1.2.1	Použité vyměnitelné břitové destičky .....	63
8.1.3	Broušení plochy s přídavkem na brus .....	64
8.1.3.1	Použitý brousící kotouč .....	64
8.2	MĚŘENÍ .....	65
8.2.1	Postup přípravy vzorků a měření drsnosti povrchu .....	65
<b>9</b>	<b>ZPRACOVÁNÍ A ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT .....</b>	<b>68</b>
9.1	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	76
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>83</b>

<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>85</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>86</b>



## ÚVOD

Broušení je v dnešní době jednou z nejpoužívanějších dokončovacích operací v průmyslové praxi, ovšem první zmínky se datují již do mladší doby kamenné. Společně s technologií vrtání jej člověk využíval k jednoduchým ručním úkonům. Jako brusný materiál se využíval kámen, nebo křemenný písek. Broušení bylo hojně využíváno k opracování a výrobě nástrojů z tvrdých a jinak velmi špatně obrobitelných materiálů. Velké uplatnění nachází broušení ve starověku a hlavně ve středověku, kdy je využíváno pro výrobu a následné ostření tehdejších zbraní a jiných nástrojů z různých kovů. Broušení také nahrazovalo dnešní technologii leštění, a rovněž se využívalo převážně ve vojenství k leštění zbraní, brnění a jiných kovových předmětů. Velký rozvoj broušení zaznamenáváme v období průmyslové revoluce, a zvláště po ni ke konci 19. století v době rozmachu strojního obrábění.

V dnešní době, kdy jsou kladeny stále vyšší nároky na kvalitu dílců, tvoří broušení téměř čtvrtinovou část celkového strojního obrábění. Se zvyšujícími se požadavky ze strany zákazníků na dodržování rozměrových tolerancí, tvarových přesností a jakosti povrchů si technologie broušení kovových i nekovových materiálů pevně zajistila své místo ve výrobním procesu. Postupem času se technologie zdokonalila natolik, že se z dříve tradiční dokončovací operace stává i technologie produkčního obrábění. Ovšem velký rozvoj zaznamenala i technologie soustružení, která z velké části předcházela broušení do kulata, jakožto hrubé opracování s přídavky. Technologie broušení se sebou nese spoustu výhod, ale také velmi razantní nárůst výrobní ceny součásti. Velmi často se v dnešní době setkáváme s otázkou, zda by broušený povrch nebylo možné nějak nahradit nebo napodobit levnější technologií za účelem úspory výrobních nákladů.

Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. První teoretická část se zabývá obecnou technologií brousícího procesu, základními metodami broušení, řeznými, respektive brusnými nástroji a chladícími kapalinami. V neposlední řadě je v teoretické části zmíněna i drsnost povrchu, jakožto kvalitativní parametr dané metody obrábění.

Praktická část je věnována výrobě a zkoumání jakosti povrchu rotačních vzorků zhotovených z konstrukčních ocelí. Jednotlivé vzorky jsou rozděleny zápichem a každá část vzorku je obrobena jinou technologií. Zhodnocení úspěšnosti pokusu proběhne na základě naměřené drsnosti povrchu jednotlivých částí vzorků.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**



## 1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY BROUŠENÍ

Broušení je dokončovací operace, která se vyznačuje velkou přesností, správností geometrického tvaru a velmi dobrou jakostí obrobeného povrchu. V dnešní době patří broušení k nejvýznamnější části technologie výroby přesných strojírenských součástí.

Pro broušení je typické nepravidelné rozložení zrn po celém povrchu brousícího kotouče. Nepravidelně rozmístěná zrna ubírají velké množství malých třísek. [1]

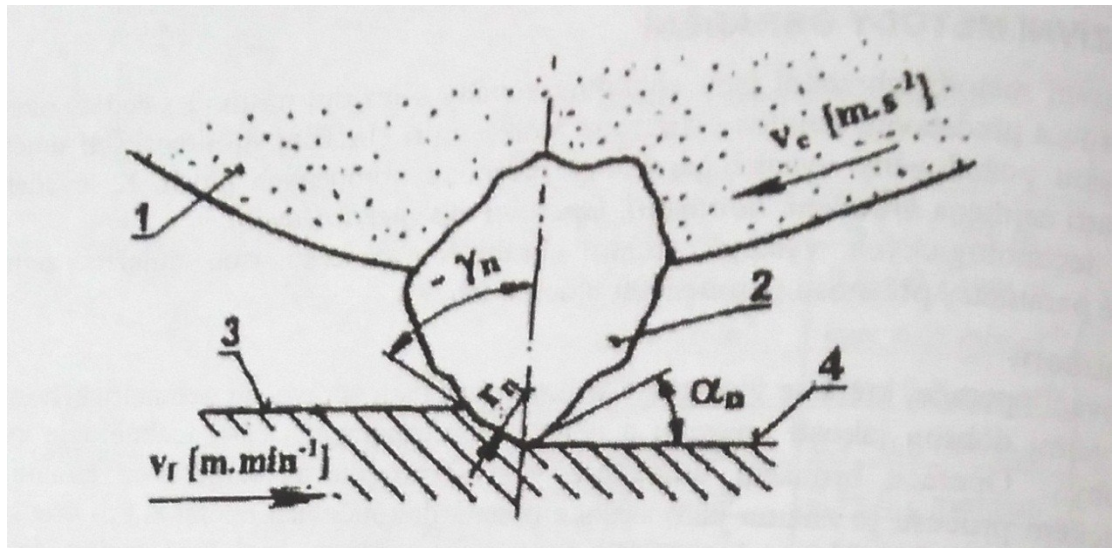
Brousící kotouč na rozdíl od jiných obráběcích nástrojů má tzv. „samoostřící“ schopnost. Tato vlastnost brousícího kotouče souvisí s poměrně málo pevným zakotvením tvrdých brusných zrn ve vazbě kotouče. Jakmile se v důsledku otupení zabírajících zrn zvýší řezné síly, otupená zrna se vylomí a jejich funkci přebírají zrna neotupená. [3]

Na rozdíl od jiných metod třískového obrábění není u broušení pevně definována geometrie břitu. Úhel čela zrn se mění a obvykle bývá záporný. Při vysokých řezných rychlostech však rovněž platí, že s rostoucí řeznou rychlostí roste úhel roviny stříhu, snižuje se primární plastická deformace v oblasti tvorby třísky a snižuje se také pěchování třísky. To vede ke snížení třecí síly (sekundární plastická deformace), a zároveň se sníží čas kontaktu třísky řezného klínu. Při překročení mezní hodnoty řezné rychlosti dochází ke snížení tepelného ovlivnění obrobku a nástroje. Volba správné hodnoty řezné rychlosti má pak značný vliv na vlastnosti nově vytvořené plochy.

Brousící proces probíhá při relativně vysokých řezných rychlostech nejčastěji do  $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , ovšem ve zvláštních případech až přes  $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na začátku obrábění zrna nejprve kloužou po povrchu, tím dochází k ohřevu a zlepšení tvárnosti materiálu. Hlavní pohyb při broušení zpravidla vykonává rotující brousící nástroj (kotouč) a vedlejší pohyb vykonává obrobek, nebo rovněž nástroj. [1]

### 1.1 Tvorba třísky při broušení

Broušení jakožto obráběcí metoda je specifická právě svými technologickými parametry tvorby třísky a vznikem obrobeného povrchu daných parametrů. Za působení deformací vnějšího i vnitřního tření se určitá část třísky ohřeje natolik, že se roztaví a vytvoří kapky kovu, které odletují z řezu, nebo shoří.



Obr. 1 Model záběru brousícího zrna [1]

1 – brousící kotouč; 2 – brousící element; 3 – broušený povrch; 4 – povrch po broušení;  
 $v_c$  – řezná rychlost;  $v_f$  – posuvová rychlost;  $\gamma_n$  – normálový úhel čela;  $\alpha_n$  – normálový úhel  
 hřbetu

Jednotlivá brousící zrna, která jsou vázána v brousícím kotouči, mají vysokou tvrdost, odolnost proti vysokým teplotám a opotřebení, nepravidelný geometrický tvar a nepravidelné poloměry zaoblení ostří  $r_n$ . Brousící zrna mají zpravidla negativní úhel čela  $\gamma_n$  a poměrně velký úhel hřbetu  $\alpha_n$ . Při broušení se jako řezná rychlost považuje obvodová rychlost brousícího kotouče, která dosahuje proti jiným metodám obrábění výrazně vyšších hodnot. Rychlost posuvů obrobku nebo kotouče mají zanedbatelný vliv na rychlost řezného pohybu. [1]

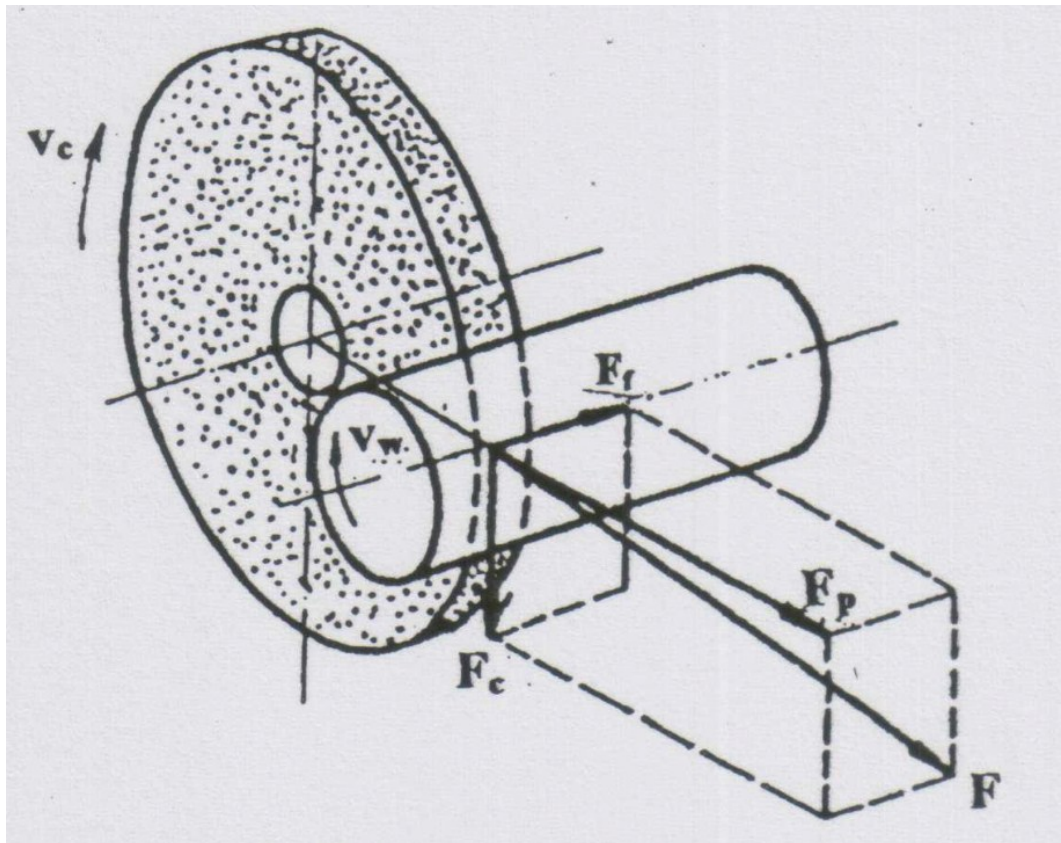
## 1.2 Řezné síly

Při broušení vznikají mezi brusným kotoučem a obrobkem jisté řezné síly, které se schematicky značí jako jedna řezná síla  $F$ . Síla  $F$  působí v obecném směru mezi brousícím kotoučem a obrobkem se dále se rozkládá do 3 vzájemně kolmých směrů. Ve směru řezné rychlosti leží řezná síla  $F_c$ , pasivní síla  $F_p$  je kolmá k broušené ploše a posuvová síla  $F_f$  působí ve směru podélného posuvu, tzn. kolmo na rovinu otáčení kotouče. Řeznou sílu  $F_c$  je možné přibližně určit z experimentálně získané rovnice (viz. níže), pomocí řezné síly

na jednotku plochy  $k_c$ , nebo nepřímým způsobem z naměřeného řezného příkonu  $P_c$  brusného vřeteníku. [11]

Obecně při broušení platí:

$$F_p > F_c > F_f \quad F_p \cong (1,2 - 3) F_c \quad (1.0)$$



Obr. 2 Rozložení řezných sil při obvodovém axiálním broušení do kulata [11]

### 1.3 Řezné podmínky

Řezné podmínky, respektive řezná rychlost, která přímo odpovídá obvodové rychlosti kotouče, se volí dle způsobu broušení a druhu pojiva, ovšem může být limitována technickými parametry stroje. Při vnějším broušení a využití kotoučů s keramickým pojivem se řezná rychlost pohybuje v intervalu od 30 do 40  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Řezné kotouče s pryskyřičným pojivem vyztuženým skelnými vlákny se využívají při řezných rychlostech kolem 100  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pro speciální technologie, jako je rychlostní broušení se vyrábí speciální kotouče s keramickou vazbou, které umožňují využití při řezných rychlostech až 120  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Podélný posuv obrobku při rotačním broušení je volen 0,3 až 0,5 šířky kotouče, při rovin-

ném broušení až 0,7 šířky kotouče. Radiální přísuv kotouče do řezu je při hrubování volen 0,01 až 0,1 mm na zdvih, při broušení načisto do 0,01 mm. Pro rozměrové zpřesnění broušené plochy se po broušení načisto provádí takzvané vyjiskřování, což je přebroušení obrobku brousícím posuvem již bez přísuvu. Dojde k vyrovnání pružných deformací soustavy stroj – nástroj – obrobek – upínač, které při broušení způsobují řezné síly a tepelná roztažnost. Obvodová rychlost obrobku, v závislosti na materiálu obrobku a požadované jakosti povrchu, je volena 20 až 40 m.min<sup>-1</sup>. [1,4]

## 1.4 Teoretické charakteristiky brousícího procesu

### 1.4.1 Obvodová rychlost brousícího kotouče

Jedná se o tangenciální rychlost na maximálním průměru brousícího kotouče.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_{max} \cdot n_s}{60 \cdot 10^3} \quad (1.1)$$

$D_{max}$  maximální průměr brousícího kotouče [mm]

$n_s$  frekvence otáčení brousícího kotouče [ot.min<sup>-1</sup>]

$v_c$  obvodová rychlost brousícího kotouče [m.s<sup>-1</sup>] [1]

### 1.4.2 Obvodová rychlost obrobku $v_w$ při rotačním broušení

$$v_w = \frac{\pi \cdot D_w \cdot n_w}{10^3} \quad (1.2)$$

$D_w$  průměr obrobku [mm]

$n_w$  frekvence otáčení obrobku [min<sup>-1</sup>]

$v_w$  rychlost obrobku [m.min<sup>-1</sup>] [1]

### 1.4.3 Ekvivalentní tloušťka třísky

$$h_{eq} = \frac{v_w}{60 \cdot v_c} \cdot a_e \quad (1.3)$$



$a_e$	radiální záběr [mm]	
$v_w$	rychlost obrotu [m.min <sup>-1</sup> ]	
$v_c$	řezná rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	
$h_{eq}$	ekvivalentní tloušťka broušení [mm]	[1]

#### 1.4.4 Rychlost opotřebení brousícího kotouče

$$Q_s = \frac{V_s}{t} \quad (1.4)$$

$V_s$	objemové opotřebení brusného kotouče [mm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$t$	čas broušení [s]
$Q_s$	rychlost opotřebení brousícího kotouče [mm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]

$$V_s = \pi \cdot d_{s1} \cdot \Delta r_s \cdot b_D \quad (1.5)$$

$b_D$	šířka brousícího kotouče [mm]	
$d_{s1}$	vstupní průměr brousícího kotouče [mm]	
$\Delta r_s$	tloušťka opotřebení brousícího kotouče [mm]	[1]

#### 1.4.5 Řezná síla $F_c$ – určena z experimentálně získané rovnice při rotačním broušení

$$F_c = C_m \cdot v_s^{0,7} \cdot f_a^{0,7} \cdot a_e^{0,6} \quad (1.6)$$

$C_m$	konstanta charakterizující broušený materiál [-]	
$v_s$	řezná rychlost [m.s <sup>-1</sup> ]	
$f_a$	axiální posuv [mm.ot <sup>-1</sup> ]	
$a_e$	radiální záběr [mm]	[1]

## 2 ZÁKLADNÍ METODY BROUŠENÍ

**Ize rozdělit dle těchto kritérií:**

[5]

- typ obrobeného povrchu
- aktivní část brousících kotoučů
- vzájemný vztah obrobku a brousícího kotouče
- směr hlavního posuvného pohybu obrobku ve vztahu k brousícímu kotouči
- vzájemný vztah tangenciálních rychlostí brousících kotoučů a obrobku ve zvoleném bodě
- typ brousícího nástroje

**Typ obrobeného povrchu - metody jeho tvoření**

[5]

- rovinné broušení – výsledkem je rovinná plocha
- broušení do kulata – výsledkem je rotační povrch
- broušení na otáčivém stole – broušení s rotačním posuvem
- tvarovací broušení - označení brusných operací, jejichž výsledkem není ani plochý, ani válcový povrch, například broušení závitů, ozubených kol atd.
- kopírovací broušení – tvarové broušení, při kterém se obrobek tvaruje řízenou změnou posuvu, NC stroje atd.
- broušení tvarovými brousícími kotouči – profil brousícího kotouče určuje konečný profil obrobku.

**Aktivní část brousících kotoučů**

[5]

- obvodové broušení – broušení obvodem kotouče
- čelní broušení – broušení čelem kotouče kolmým k jeho ose

**Vzájemná poloha brousícího kotouče a obrobku**

[5]

- vnější broušení – broušení vnějšího povrchu obrobku
- vnitřní broušení – broušení vnitřního povrchu obrobku

**Hlavní pohyb posuvu stolu vzhledem k broušicímu kotouči** [5]

- axiální broušení – hlavní posuv stolu je rovnoběžný s osou kotouče
- tangenciální broušení – hlavní posuv stolu je rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče ve zvoleném bodě
- radiální broušení – hlavní posuv stolu ve zvoleném bodě D je radiální vzhledem ke kotouči
- obvodové zápichové broušení – broušení s plynulým radiálním posuvem stolu
- čelní zápichové broušení – broušení s plynulým axiálním posuvem stolu

**Vzájemný vztah tangenciálních rychlostí broušících kotoučů a obrobku ve zvoleném bod** [5]

- protiběžné broušení – broušení s opačným směrem pohybu broušícího kotouče a obrobku
- souběžné broušení – broušení se stejným směrem pohybu broušícího kotouče a obrobku

**Typ broušícího nástroje** [5]

- vázaným brusivem – zrna brusného materiálu jsou spojena pojivem do určitého tvaru kotouče nebo segmentu.
- volné brusivo – zrna nejsou stmelena pojivem, vyskytují se ve formě prášku a používají se pro broušení kapalinou, lapování, honování a jiné způsoby

		BROUŠENÍ OBVODOVÉ		
		radiální	tangenciální	axiální
Rovinné – pohyb stolu	přímočarý			
	otáčivý			
Do kulata	vnější			
	vnitřní			

Obr. 3 Způsoby obvodového broušení [2]

		BROUŠENÍ ČELNÍ		
		radiální	tangenciální	axiální
Rovinné – pohyb stolu	přímočarý			
	otáčivý			

Obr. 4 Způsoby čelního broušení [2]

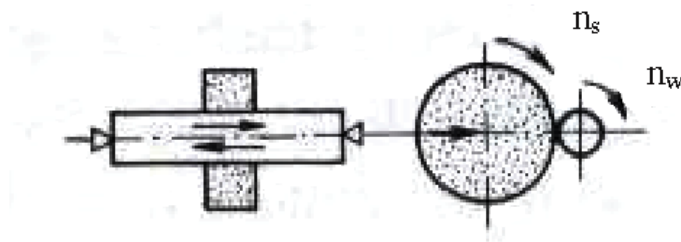


$n_s$  – frekvence otáčení brousícího kotouče;  $n_w$  – frekvence otáčení obrobku;

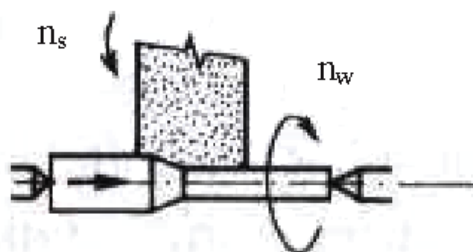
$v_{fa}$  – axiální rychlost posuvu stolu;  $v_{fr}$  – radiální rychlost posuvu;  $v_{ft}$  – tangenciální rychlost posuvu stolu

## 2.1 Vnější axiální broušení do kulata

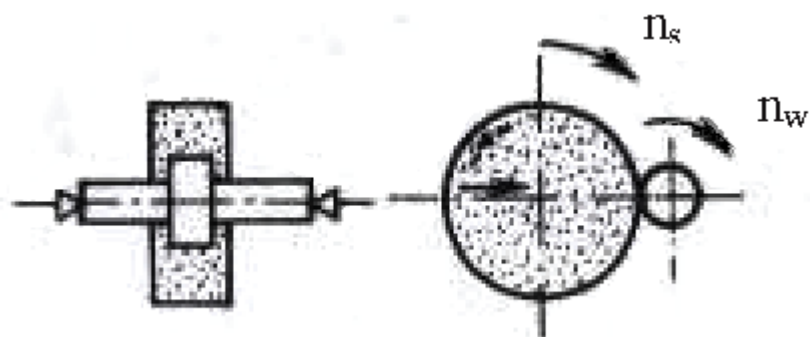
U dlouhých součástí se využívá vnější axiální broušení. U tuhých obrobků lze odebrat celý přídavek najednou tzv. axiálním hloubkovým broušením. Brousící kotouč musí být opatřen náběhovou kuželovou částí a válcovou částí, které obrábí načisto. Stejně jako táhlé válcové plochy se brousí i táhlé kuželové plochy, pracovní stůl brusky je ovšem potřeba natočit. Zápichový způsob broušení se využívá pro obrábění krátkých a tuhých součástí. Celý přídavek se odebírá na jeden příčný posuv. Šířka brousícího kotouče musí být větší, než šířka broušené plochy obrobku. Bezhraté broušení je velmi produktivní způsob, který se využívá pro broušení válcových i tvarových ploch. Využívá se zejména v sériové výrobě. Součástka se neupíná, ale vkládá se mezi brousící a podávací kotouč a je opřena o opěrku. Podávací kotouč se otáčí pomalu úměrně obvodové rychlosti obrobku 20 až 40  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . U součástí kratších, než je šířka brousícího kotouče se provádí bezhraté zápichové broušení. Osy všech kotoučů jsou rovnoběžné. Dlouhé součásti se brousí průběžným broušením. Podávací kotouč má osu nakloněnou tak, aby vznikla složka síly k obrobku, která obrobek posílá rychlostí 25 až 50  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . [4]



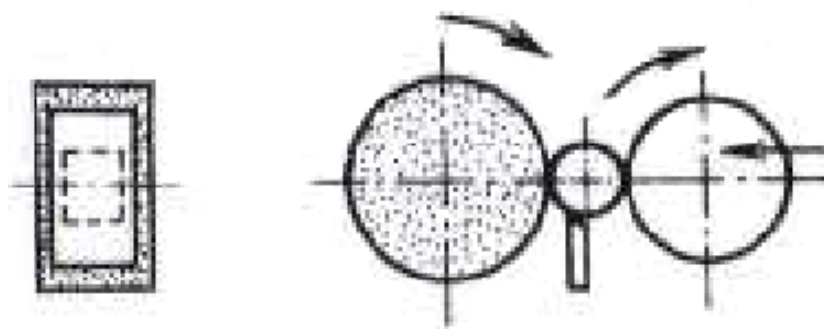
Obr. 5 Broušení do kulata axiálním broušením [4]



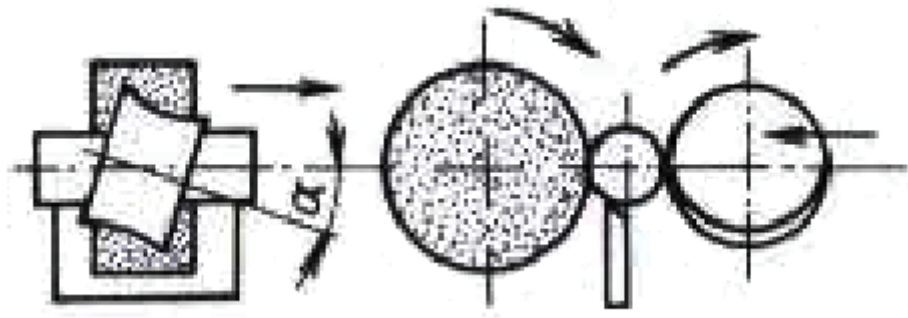
Obr. 6 Broušení do kulata axiálním  
hloubkovým broušením [4]



Obr. 7 Broušení do kulata zápichovým způsobem [4]



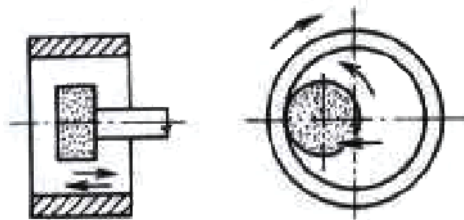
Obr. 8 Broušení do kulata bezhrotým zápichovým způsobem [4]



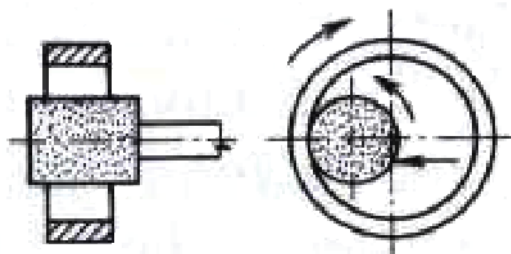
*Obr. 9 Broušení do kulata bezhrotým axiálním způsobem [4]*

## 2.2 Vnitřní axiální broušení do kulata

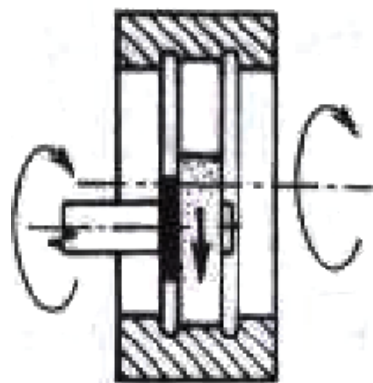
Broušení se provádí brousícím kotoučem o průměru maximálně 0,9 krát průměr broušené díry. Obrobek se posouvá podélně ve směru osy. Při zápichovém broušení je šířka brousícího kotouče větší, než délka broušené plochy díry. Užší kotouče se také využívají pro broušení vnitřních drážek. [4]



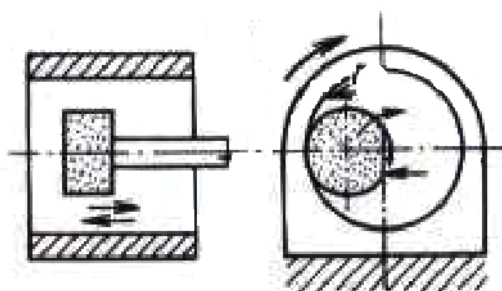
*Obr. 10 Vnitřní broušení do kulata podélným způsobem [4]*



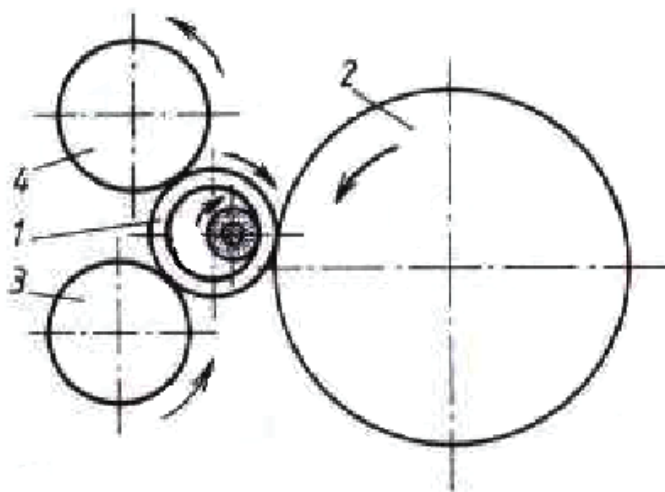
*Obr. 11 Vnitřní broušení do kulata zápichovým způsobem [4]*



Obr. 12 Broušení vnitřní drážky  
zapichovacím způsobem [4]



Obr. 13. Vnitřní broušení do kulata  
planetovým způsobem [4]

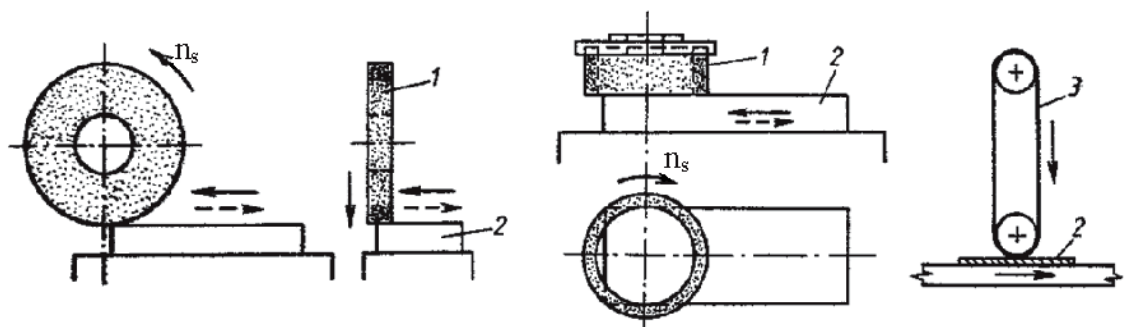


Obr. 14 Vnitřní broušení do kulata bezhrotým způsobem.

1 - obrobek, 2,3,4 - podávací kladky [4]

### 2.3 Obvodové rovinné broušení

Obrobek koná vratný přímočarý pohyb, je-li širší než brousící kotouč, posouvá se ve směru osy kotouče. Zápichový způsob lze využít pouze, pokud je obrobek užší. Při odbrušování větších přídavků se rovinné plochy brousí čelem brousícího kotouče. Vřetená bruska má svislou osu. [4]



Obr. 15 Rovinné broušení a) obvodem kotouče, b) čelem kotouče, c) brousícím pásem [4]

1 – brousící kotouč, 2 – obrobek, 3 – brousící pás



### 3 BROUSÍCÍ NÁSTROJE

Brousící nástroje jsou tvořeny zrný tvrdých materiálů jako je diamant, kubický nitrid boru, SiC a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, které jsou pevně vázány pojivý v tuhých či pružných tělesech různých velikostí a tvarů.

Typické příklady tuhých těles jsou brusné, drážkovací a řezací kotouče, brousící tělíska, segmenty, pilníky, orovnávací a brousící kameny. Mezi elastická brousící tělesa můžeme zařadit brousící pásy, pláty a papíry.

Nejčastěji jsou v běžné praxi používány brousící kotouče. [11]

#### 3.1 Standardní brousící kotouče

Nejčastěji užívaný materiál pro výrobu standardních brousících kotoučů je oxid hlinitý Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (umělý korund) a karbid křemíku - SiC (karborundum). Označování a specifikace vlastností těchto kotoučů se řídí normou ČSN ISO 525 (22 4503) viz. *Tab. 1 a 2.* [11]

*Tab. 1 Značení brousících kotoučů[11]*

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>1</b>	<b>300 x 50 x 76</b>	<b>A</b>	<b>36</b>	<b>L</b>	<b>5</b>	<b>V</b>	<b>35 m s<sup>-1</sup></b>
Rozměry (2): vnější průměr - 300 mm, šířka - 50 mm, průměr upínací díry - 76 mm							

Tab. 2 Specifikace brousících materiálů  $Al_2O_3$  a SiC  
dle ČSN 22 4501 a podle ČSN ISO 525 (22 4503) [11]

Charakteristika	Vyjádření	Označení	
		ČSN 22 4501	ČSN ISO 525 (22 4503)
3 - Materiál brousících zrn	SiC černý	C 48	C
	SiC zelený	C 49	
	$Al_2O_3$ bílý	A 99 B	A
	$Al_2O_3$ barvený	A 99	
	$Al_2O_3$ růžový	A 94	
	$Al_2O_3$ manganový	A 98 M	
	$Al_2O_3$ hnědý	A 96	
	$Al_2O_3$ zirkonový	A 97 E	
	$Al_2O_3$ mikrokrytalický	A 97 M	
	$Al_2O_3$ polokřehký	A 97 P	
4 - Zrnitost	velmi hrubá	250, 200, 160	<i>není</i>
	hrubá	125, 100, 80, 63	4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 22, 24
	střední	50, 40, 32, 25	30, 36, 40, 46, 54, 60
	jemná	20, 16, 12, 10	70, 80, 90, 100, 120, 150, 180
	velmi jemná	8, 6, 5	220, 240, 280, 320, 360, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200
	zvlášť jemná	4, 3, M32, M22, M15	<i>není</i>
5 - Tvrdost	velmi měkký	G, H	<i>není</i>
	měkký	I, J, K	A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K
	střední	L, M, N, O	L, M, N, O, P, Q
	tvrdý	P, Q, R, S	R, S, T, U, V, W, X, Y
	velmi tvrdý	T, U	<i>není</i>
	zvlášť tvrdý	V, W, Z	
6 - Sloh (struktura)	velmi hutný	1, 2	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, atd.
	hutný	3, 4	
	polohutný	5, 6	
	pórovitý	7, 8	
	velmi pórovitý	9, 10	
	zvlášť pórovitý	11, 12, 13	
7 - Pojivo	keramické	V	V
	silikátové	S	<i>není</i>
	pryžové	R	R
	pryžové s výztuží	RF	RF
	umělá pryskyřice	B	B
	umělá pryskyřice s výztuží	BF, BF-Flex	BF
	šlakové	E	E
	magnezitové	Mg	Mg
	polyuretanové	U	<i>není</i>

### 3.1.1 Jednotlivé symboly značení

1 a 2. Typ (tvar) a rozměry kotouče: viz grafické znázornění v tabulce 3. [11]

3. **Materiál brousicích zrn:** Volí se v závislosti na vlastnostech materiálu obrobku. Umělý korund se běžně používá na broušení oceli, oceli na odlitky, tvrdé bronzy a temperované litiny. Karbid křemíku se používá pro broušení šedé litiny, mosazi, mědi, lehkých kovů a jejich slitin. [11]

4. **Zrnitost brusiva:** Volí se podle předepsané drsnosti povrchu broušené součásti a materiálu, ze kterého je vyrobena. Čím menší je předepsaná drsnost povrchu obrobené plochy, tím se volí zrnitost jemnější. Pro větší úběr a pro brus měkkých a houževnatých materiálů (měď, mosaz, hliník) se volí zrnitost hrubší. [11]

5. **Tvrдость kotouče:** Nejedná se o skutečnou tvrđost kotouče, vyjadřuje pouze míru houževnatosti a pružnosti pojivových můstků mezi jednotlivými zrny brusiva. Tvrđost kotouče se nejlépe popisuje jako soudržnost brousicího nástroje. S tvrđostí kotouče přímo souvisí uvolňování otupených brusných zrn. U měkkých kotoučů se otupená zrna uvolňují snadněji než u kotoučů tvrdších. Tvrđost kotouče se volí dle pravidla „čím tvrdší materiál obrobku, tím měkčí brousicí nástroj“. [11]

6. **Struktura (sloh) kotouče:** Udává vzdálenost mezi brousicími zrny, nebo také hutnost brousicího nástroje. Čím je číslo vyšší, tím je vzdálenost mezi zrny větší. Na broušení tvrdých a křehkých materiálů se využívají hutné brousicí materiály, naopak na broušení houževnatých materiálů se využívají kotouče pórovité. Na součásti, které se nesmí broušením příliš zahřívát, se využívají kotouče zvlášť pórovité. [11]

7. **Pojivo kotouče:** Vytváří můstky mezi brousicími zrny a jeho vlastnosti významně ovlivňují tzv. „samoostření“ nástroje.

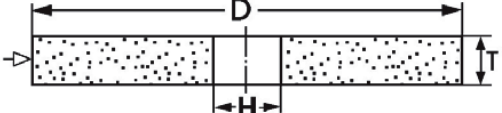
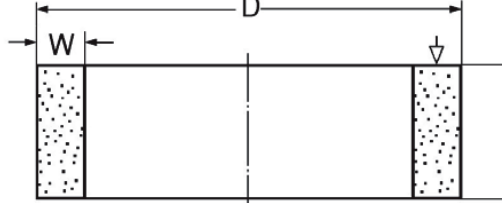
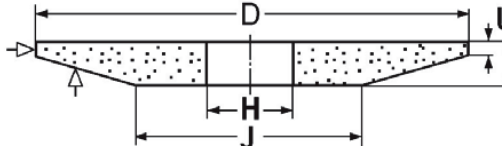
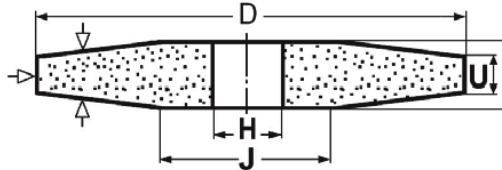
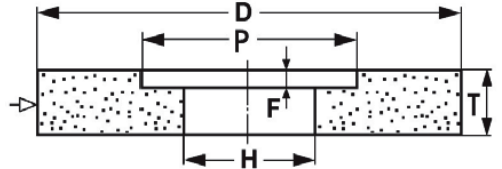
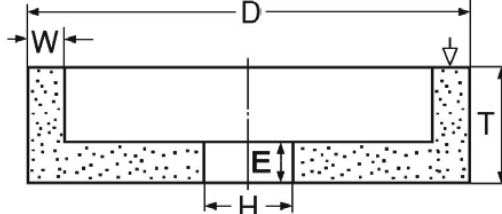
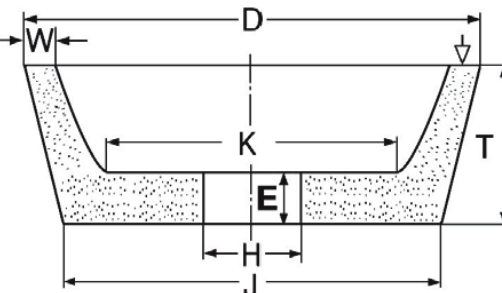
Nástroje s keramickým pojivem mají univerzální využití, jsou ovšem křehké. Neškodí jim řezná kapalina a při vhodném skladování nedegradují.

Kotouče s magnezitovým pojivem skladováním degradují. Snižuje se pevnost pojiva, škodí mu vlhko, kyselé i zásadité prostředí. Kotouče jsou rovněž křehké, využívají se pro jemné výbrusy bez tepelného ovlivnění obrobku.

Nástroje s pojivem z umělé pryskyřice jsou odolnější vůči nárazům a bočním tlakům, zvlášť pak kotouče se sklo-textilní výztuží. Využívají se k hrubování, broušení vnějších i vnitřních válcových ploch, rovinných ploch, řezání kamene, keramiky a kovů.

Kotouče s pryžovým pojivem se využívají na jemné ostření nástrojů, broušení vnějších válcových ploch a jako tenké řezací kotouče. Dále jako podávací kotouče u bezhrotého broušení a zvláště elastické nástroje pro čištění a leštění. [11]

Tab. 3 Značení tvarů a rozměrů brousících kotoučů [11]

Typ	Vyobrazení	Název, základní rozměry
1		Kotouče ploché D x T x H (Carborundum, FAG)
2		Kotouče <u>prstencové</u> D x T x W
3		Kotouče kuželové D/J x T/U x H
4		Kotouče oboustranně kuželové D/J x T/U x H
5		Kotouče s jednostranným vybráním D x T x H - P, F
6		Kotouče hrncovité D x T x H - W, E
11		Kotouče <u>miskovité</u> D/J x T x H - W, E

### 3.1.2 Upínání brousících kotoučů

Standardní brousící kotouče větších průměrů se na vřeteno brusky upínají za pomoci upínacích přírub, ve kterých jsou upevněny mechanickým sevřením, nebo jsou k přírubě přilepeny speciálním tmelem. Obě příruby musí mít stejný průměr, který by měl dosahovat minimálně do jedné třetiny průměru brousícího kotouče. Mezi příruby a kotouč se vkládají měkké podložky z pryže, kůže nebo papíru.

Brousící kotouče malých průměrů jsou opatřeny válcovou upínací stopkou, nebo jsou upínány za díru ve středu kotouče. [11]

### 3.1.3 Vyvažování brousících kotoučů

Při vyšších požadavcích na klidný chod vřetene brusky je třeba brousící kotouč před samotným broušením vyvážit. U nevyváženého kotouče působí různé odstředivé síly, které jsou zdrojem vynucených kmitů, které mají za následek zhoršení jakosti obroušené plochy.

**Statické vyvažování** brousících kotoučů se provádí na vyvažovacím stojánku různým uložením vyvažovacích tělísek do drážek upínacích přírub.

Pro přesné broušení a pro větší obvodové rychlosti než  $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  je třeba brousící kotouče se šířkou větší než 30 mm vyvažovat také dynamicky. **Dynamické vyvažování** se provádí na speciálním vyvažovacím zařízení, kde se eliminuje vliv momentových dvojic nevyvážených hmot. Někteří výrobci již opatřují své brusky přídavným zařízením, kterým lze vyvážit kotouč za chodu brusky přímo na vřetenu. [11]

### 3.1.4 Bezpečnost práce

Aby bylo možné dosáhnout požadované vysoké hodnoty řezné rychlosti, musí být frekvence otáčení standardních brousících kotoučů rovněž vysoká. Při vysokých hodnotách frekvence otáčení kotouče vznikají velké odstředivé síly, což může způsobit až roztržení kotouče.

#### **Základní pravidla bezpečnosti práce:**

1. Pracovní obvodová rychlost kotouče nesmí překročit povolenou hodnotu.
2. K upnutí brousícího kotoučů lze používat jen předepsaných přírub a podložek. Obě příruby musí mít stejný průměr.



3. Před upnutím se musí kotouč pečlivě prohlédnout, zda není poškozen, nemá trhlinky. Jasný zvuk při lehkém poklepu dokazuje, že kotouč nebyl dopravou, ani jinou manipulací poškozen.
4. Broušící kotouč musí jít nasunout volně na hřídel - bez násilí.
5. Šrouby nebo matice upínacích přírub se musí přitahovat rovnoměrně, bez násilí.
6. Broušící stroj musí být opatřen ochranným krytem.
7. Před broušením je nutné nově upnutý kotouč vyzkoušet při chodu naprázdno, při pracovních otáčkách. Zkouška probíhá minimálně po dobu pěti minut. Ochranný kryt a pracovní prostor brusky musí být uzavřený a obsluhující pracovník musí stát v bezpečné vzdálenosti mimo rovinu rotace zkoušeného kotouče.
8. Broušící kotouče je možné orovnávat pouze zvlášť k tomu určenými orovnávacími nástroji.
10. Při broušení i orovnávání broušících kotoučů je nutné používat ochranné brýle. [11]

## 4 ŘEZNÉ KAPALINY

Hlavním účelem užití řezné kapaliny při obrábění je účinný odvod tepla z místa řezu. Účinný odvod tepla je dosažen buď dokonalým chlazením, nebo mazáním, které způsobí výrazné snížení vnějšího i vnitřního tření. Právě z těchto důvodů se nejčastěji chladicí médium vyskytuje v kapalné formě. Existují i prostředky v plynném či pevném skupenství, ovšem zatím nejsou z jistých důvodů hojně využívány v průmyslové praxi.

Maziva v pevném skupenském stavu jako jsou tuky, nebo prášková maziva rovněž snižují tření, ovšem neumožňují účinný odvod tepla z řezu ani odplavení třísek. Při obrábění se téměř nevyžívají, uplatnění nachází při tvářecích operacích.

Plynná chladicí média zatím stále nejsou využívány ve výrobní praxi, ať už důvodu obtížnosti využití, nebo pro svou nákladnost. Stále rozšířenější se stává takzvané chlazení mlhou. Jedná se o chlazení stlačeným proudem vzduchu, v němž jsou rozptýleny kapičky řezné kapaliny.

Řezné kapaliny stále zůstávají jako nejrozšířenější média, které krom svého mazacího a chladicího účinku mají i funkci čistící. Kapalina nesmí způsobovat korodování částí strojů, nebo obrobků. V poslední době jsou kladeny nároky i na snadnou likvidovatelnost a ekologickou nezávadnost. [2]

### 4.1 Volba řezné kapaliny

Vliv na volbu řezné kapaliny zpravidla má:

- Řezný nástroj
- Obráběný materiál
- Jakost obrobené plochy

#### 4.1.1 Řezný nástroj

Volba nástrojového materiálu se provádí podle několika kritérií, mezi hlavní patří zvolená technologie výroby, parametry obráběcího stroje, vlastnosti obráběného materiálu, nebo i využívaná řezná kapalina.

Nejlevnější nástrojové materiály jsou stále rychlořezné oceli, musí se chladit vždy, zvláště při obrábění za ztížených řezných podmínek. Nástroje vyrobené ze slinutých karbidů, které jsou nyní nejrozšířenější, mohou běžně pracovat i bez chlazení.

Při práci na obráběcích centrech, CNC soustruzích a jiných počítačem řízených obráběcích strojích se běžně vyskytují nástroje ze slinutých karbidů s HSS nástroji, a proto se využívá chlazení i při obrábění slinutými karbidy.

Jednou z nejčastějších příčin poškození řezného nástroje je teplo. Teplota v záběru výrazně ovlivňuje trvanlivost i pevnost obráběcího nástroje. Důležitým faktorem řezné kapaliny je i chemické působení, které snižuje adhezní tření, rovněž snižuje součinitel tření a tím i redukuje opotřebení. [2]

#### 4.1.2 Obráběný materiál

Výběr řezné kapaliny dle obráběného materiálu:

- Dochází-li u materiálu při obrábění ke zpevnění, dochází ke zvýšení námahy nástroje, tudíž je nutné zvolit řeznou kapalinu s vysokotlakými přísadami, nebo o vyšší koncentraci. Pevnost mazací vrstvy se zvýší, a zachová si otěruvzdornost i při vyšších teplotách.
- Křehké materiály, jako například litina jsou velmi dobře obrobitelné i bez použité řezné kapaliny. Řeznou kapalinu do řezu přivádíme spíše za účelem zamezení prašnosti, než za účelem zlepšení obráběcího procesu.
- Před samostatným procesem obrábění je nutné zjistit, zda zvolená řezná kapalina nebude reagovat s obráběným materiálem.

#### 4.1.3 Jakost obrobené plochy

Vhodné zvolení řezné kapaliny, stejně jako vhodné zvolení řezných podmínek při obrábění má velký vliv na jakost povrchu. Přívod řezné kapaliny způsobuje změnu plasticky deformované oblasti, což má pozitivní vliv na rozměrovou a tvarovou přesnost. Také se odstraní tvorba nárůstku na čele nástroje, který má negativní vliv na drsnost povrchu obrobené plochy.

Experimentálně bylo zjištěno, že správná volba a příprava řezné kapaliny může zlepšit výslednou drsnost povrchu obrobené plochy o 1 až 2 třídy, oproti obrábění za sucha.

Přívod řezné kapaliny má rovněž pozitivní vliv na fyzikální vlastnosti povrchové vrstvy. Razantně se snižuje hloubka zpevněné vrstvy, přibližně o 40% proti obrábění za sucha. [2]

## 4.2 Charakteristiky a vlastnosti řezných kapalin

Řezné kapaliny můžeme obecně rozdělit na kapaliny s převážným chladícím účinkem a převážným mazacím účinkem. Z hlediska technologického a provozního se uvádí další požadavky:

- chladící účinek
- mazací účinek
- čistící účinek
- provozní stálost
- ochranný účinek
- zdravotní nezávadnost
- přiměřené náklady

### 4.2.1 Chladící účinek

Jedná se o schopnost řezné kapaliny odvádět teplo z místa řezu. Již zmíněnou vlastnost má každá kapalina, která je schopná smáčet povrch kovu, a existuje-li tepelný spád mezi povrchem obrobku a chladící kapalinou. Za běžných podmínek vzniká chladící účinek vždy. Odvod tepla z řezu se provádí tím, že proud řezné kapaliny oplachuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá vzniklé teplo.

Chladící 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 výše zmíněné veličiny vyšší, tím bude i vyšší chladící účinek řezné kapaliny. Chladící účinek je také závislý na průtoku řezné kapaliny přivedené do řezu.

Vysoká hodnota výparného tepla sice zvyšuje chladící účinek kapaliny, ovšem působí negativně na hospodárnost využití kapaliny. Pro zachování čistoty a zdravotní nezávadnosti prostředí na pracovišti, je nutné vzniklé páry odsávat. [2]

### 4.2.2 Mazací účinek

Jedná se o schopnost, tvořit na povrchu obrobku tenkou vrstvu, která brání přímému styku povrchu obráběcího nástroje s povrchem obrobku a snižuje tření, ke kterému dochází ve styku. Dobrý mazací účinek znamená v praxi zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek je proto zvláště vyžadován u dokončovacích operací obrábění a při náročných operacích jako je protahování, výroba závitů, nebo výroba ozubení.

Vysoká viskozita řezné kapaliny a pevnost vytvořené mezní vrstvy na povrchu obrobku zaručuje dobré mazací schopnosti řezné kapaliny. Ovšem vysoká viskozita zhoršuje pronikání kapaliny do místa tření, její proudění a odvod tepla z místa řezu. Viskóznější kapaliny jsou méně hospodárné z důvodu ulpívání velkého množství kapaliny na třískách.

Přísady, které se dodávají do řezných kapalin, mají za úkol zvýšení pevnosti mazacího filmu. Mezi takové přísady patří některé radikály a uhlovodíky, jinou skupinu tvoří sloučeniny síry, fosforu a chloru. [2]

#### 4.2.3 Čistící účinek

Je vlastnost řezné kapaliny odstraňovat třísky z místa řezu, vyplavovat zanesené póry a bránit slevování malých částic, které vznikají při řezání.

Kvalita čištění závisí i na čistotě řezné kapaliny, přiváděné do řezu. Vyplavené nečistoty by se měly spolehlivě usazovat v nádobě a do řezu by měla proudit pouze čistá kapalina. Vzniká zde ovšem nebezpečí, že menší nečistoty mohou být proudem kapaliny odnášeny zpět do místa řezu. Zde mohou způsobit i zhoršení jakosti obrobku. Vysoké nároky na čištění řezné kapaliny, navracející se do sběrné nádoby jsou kladeny při broušení a u operací, kdy musí řezná kapalina odvádět třísky z místa řezu. [2]

#### 4.2.4 Provozní stálost

Provozní stálost je možné uvažovat jako dobu výměny řezné kapaliny. Kapalina je stále vhodná k užívání po dobu, kdy se téměř nemění její vlastnosti. Stárnutím řezných kapalin olejového typu vznikají pryskyřičnaté usazeniny. Produkty stárnutí způsobují zhoršení funkčních vlastností řezné kapaliny, její rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátu ochranných schopností a vedou ke korozi. [2]

#### 4.2.5 Ochranný účinek

Projevuje se tak, že kapalina nenapadá kovy a nezpůsobuje jejich korozi, naopak korozi zabraňuje. Jedná se o důležitý požadavek, díky němuž nemusíme obrobky mezi jednotlivými operacemi konzervovat. Dobrý ochranný účinek rovněž zabraňuje korozi obráběcích strojů. Pro zlepšení antikorozního efektu se do kapaliny přidávají přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. Dále je kladen důraz na to, aby řezná kapalina nerozleptávala nátěry strojů, silikon a jiné těsnicí tmely, nebo gumové těsnění. [2]

#### 4.2.6 Zdravotní nezávadnost

Předpoklad vychází z toho, že při práci přichází obsluha stroje s řeznou kapalinou běžně do styku. Právě proto nesmí být řezná kapalina zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždivé sliznici a pokožku a nesmí být jedovatá. Zdravotní nezávadnost řezné kapaliny závisí také na její provozní stálosti a čistotě. [2]

#### 4.2.7 Přiměřené náklady

Náklady souvisí především se spotřebou řezné kapaliny a pořizovací cenou. Před pořízením daného typu kapaliny musíme zvážit její vliv na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a spotřebu energie. Dále musí následovat zhodnocení řezné kapaliny s ohledem na její provozní stálost, spotřebu a výměnu. Také je nutné zvážit náklady na ekologickou likvidaci kapaliny. [2]

### 4.3 Rozdělení řezných kapalin

Řezné kapaliny se dělí do dvou základních skupin:

- chladicí kapaliny – s převážným chladícím účinkem
- řezné oleje – s převážným mazacím účinkem

Řezné kapaliny s převážným chladícím účinkem jsou kapaliny na vodní bázi, zato kapaliny s převážným mazacím účinkem jsou kapaliny na bázi oleje.

Řezné kapaliny se obecně dělí do následujících skupin:

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



Tab. 4 Doporučené řezné kapaliny pro různé metody 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  
 B - mastné oleje  
 C - maštěné oleje s přísadami  
 D - emulze (číslo značí koncentraci v %)

E - minerální oleje s přísadami  
 F - lehké minerální oleje s přísadami  
 H - oleje aditivované  
 J - maštěný olej s přísadami

#### 4.3.1 Vodní roztoky

Jedná se o nejjednodušší řezné kapaliny, které však nejsou příliš vhodné z hlediska aplikace. Voda, jako základní část, vyžaduje mnoho úprav, jako je změkčování, přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický.

Kapaliny jsou náchylné na vznik kalu a nepříjemného zápachu v důsledku rozmnožení se anaerobních bakterií. [2]

#### 4.3.2 Emulzní kapaliny

Jedná se o dispersní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna kapalina tvoří mikroskopické kapky rozptýlené v druhé kapalině. Obvyklý případ je olej ve vodě. Při přípravě kapaliny je nutno využít další složky, takzvané emulgátory. Emulgátory zmenšují mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin a stabilizují emulzi.

Emulzní kapaliny zajišťují do jisté míry chladicí schopnosti vody a mazací schopnosti řezných olejů. Chladicí účinek je závislý na koncentraci emulze a schopnost ochrany proti korozi závisí na pH řezné kapaliny.

Emulgační prostředky musí zajišťovat především jakost a spolehlivost účinku za vysokých tlaků.

Provozní vlastnosti řezných kapalin závisí také na jejich přípravě.

Obecný postup pro přípravu emulzních kapalin:

- pro přípravu je nutné použít vhodně upravenou vodu
- emulgační prostředek se do vody přidává pozvolna za stálého míchání
- koncentrace emulze se volí dle druhu operace a dle množství ochranných látek, běžné rozmezí 2 až 10% [2]

#### 4.3.3 Mastné oleje a tuky

Mastné oleje jsou látky živočišného, nebo rostlinného původu s prakticky stejnými vlastnostmi, které vykazují minerální oleje. Velkou výhodou mastných olejů je menší povrchové napětí, což zapříčiňuje lepší smáčivost a účinnější odvod tepla z řezu. Naopak velkou nevýhodou je značný sklon ke stárnutí, zvyšování kyselosti a tvorba pryskyřičných látek.

Mezi mastné oleje a tuky využívané při obrábění patří například řepkový olej, ricínový olej a lněný olej. [2]

#### 4.3.4 Minerální oleje

Jedná se o ropné výrobky s dobrými mazacími vlastnostmi ale horšími chladíciemi vlastnostmi. Minerální oleje mají velmi dobré provozní vlastnosti, ochranný účinek a dobrou odolnost proti stárnutí, proto složí jako základ pro řezné oleje. [2]

#### 4.3.5 Řezné oleje

Jedná se o zušlechtěné minerální oleje. Do olejů se přidávají látky s vyšší tlakovou únosností, a také lepšími mazacími vlastnostmi.

Přísady zlepšující mazací schopnosti řezných olejů:

- mastné látky
- organické sloučeniny
- pevná maziva

První skupinu tvoří zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny, nebo syntetické estery. Přísady zvyšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují mazací schopnosti, ovšem ne za extrémních tlaků.

Do druhé skupiny patří organické sloučeniny prvků, jako je síra, chlor a fosfor. V řezném oleji působí jako vysokotlaké přísady, na povrchu tvoří vrstvičku kovových mýdel, která zabraňuje kovovým svarům a usnadňuje kluzný pohyb troucích se ploch. Jako neúčinnější se projevila kombinace sloučenin síry, chloru a fosforu.

Třetí skupinu tvoří pevná maziva, jako je grafit a sirník molybdenu. Používané přísady nesmí být korozní, ani zdravotně závadné. Používaná pevná maziva v řezných olejích působí při řezání mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytváří mezní vrstvu, která je odolná proti tlakům a zlepšuje mazací schopnost oleje. V kapalinách se nerozpouští, tudíž je nutné je udržovat v rozptýleném stavu. [2]

#### 4.3.6 Syntetické kapaliny

Jedná se o řezné kapaliny s velkou provozní stálostí, ale horšími mazacími a chladícími účinky než u minerálních olejů. Syntetické kapaliny jsou většinou rozpustné ve vodě a mají poměrně dobrý chladicí, mazací i ochranný účinek. [2]

### 4.4 Přívod řezné kapaliny do místa řezu

Experimentálně bylo zjištěno, že přívod řezné kapaliny do místa řezu výrazně ovlivňuje několik parametrů. Nejvýznamnějším parametrem při hrubovacích operacích je trvanlivost obráběcího nástroje a při dokončovacích operacích jakost obrobené plochy.

Mimo běžně užívaný způsob přívodu řezné kapaliny do místa řezu se využívá tlakové chlazení, podchlazování řezné kapaliny, chlazení mlhou, chlazení vzduchem, nebo chlazení dvěma kapalinami při broušení. Hlavním požadavkem všech těchto metod je zlepšení chladicího a mazacího účinku řezné kapaliny. U většiny způsobů obrábění se kapalina přivádí do místa řezu zevnějšku, ovšem čím dál více se začíná využívat takzvané vnitřní tlakové chlazení, které má na kvalitu a rychlost obrábění velký vliv, zvláště u vrtání hlubokých děr. [2]

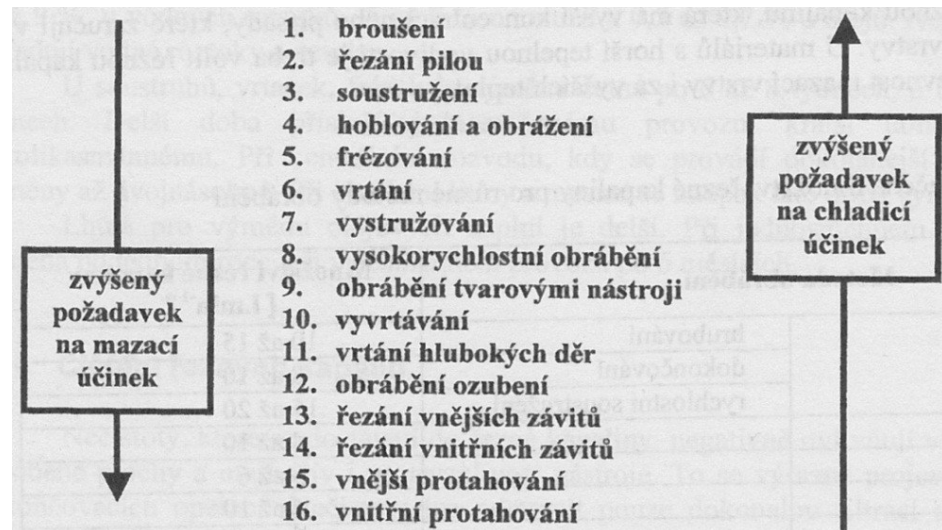
Tab. 5 Doporučené množství řezné kapaliny pro různé metody obrábění [2]

Metoda obrábění		Množství řezné kapaliny [l.min <sup>-1</sup> ]
Soustružení	hrubování	10 až 15
	dokončování	8 až 10
	rychlostní soustružení	15 až 20
Vrtání		4 až 10
Zahlubování		5 až 6
Vystružování		6 až 10
Řezání závitů		2 až 3
Protahování	dokončování	8 až 15
	vnější	8 až 12
Výroba ozubení	hrubování	8 až 10
	dokončování	2 až 3
Broušení	hrubování	do 30
	dokončování	30 až 60

#### 4.5 Volba řezné kapaliny dle druhu práce

Při hrubovacích operacích je hlavním požadavkem, aby řezná kapalina prodloužila trvanlivost nástroje a zmenšila příkon stroje snížením řezných sil. Příkon nejlépe redukuje řezné oleje, ovšem nikterak výrazně neovlivňují trvanlivost nástroje.

Při dokončovacích operacích se příliš neklade důraz na příkon stroje či trvanlivost nástroje, ale na jakost obrobenej plochy. [2]



Obr. 16 Požadavky na chlazení a mazání z hlediska metod obrábění [2]

## 4.6 Chladicí kapaliny při broušení

V místě řezu vzniká velké množství tepla, což je zapříčiněno vysokou řeznou rychlostí při broušení. Právě z tohoto důvodu je nutné v převážné většině případů zajistit dostatečný přívod řezné kapaliny do místa řezu. Řezná kapalina při broušení plní tři funkce:

- odvod části tepla vzniklého v místě řezu
- snížení tření v místě řezu a tím i redukce množství vzniklého tepla
- kontinuální odplavování vzniklých třísek a odlomených zrn kotouče

Chladicí kapalinu je nutné přivádět v dostatečném množství do místa řezu. Při běžném broušení přivádíme přibližně 1 litr kapaliny za minutu na 1 mm šířky kotouče. Při rychlostním broušení je nutné kapalinu přivádět pod vysokým tlakem až 2 MPa a ve větším množství.

Pro klasické broušení jsou běžně využívány roztoky elektrolytů a emulzí. Pro náročnější formy jako je broušení závitů, nebo ozubených kol se využívají speciální chladicí kapaliny a řezné oleje určené pro broušení.

Nečistoty, které vznikají v místě řezu a neusadí se na dně nádoby s kapalinou, mohou velmi negativně ovlivnit výslednou drsnost povrchu. Pro odstranění nečistot se využívají magnetické filtry a elektromagnetické rotační filtry doplněné filtry mechanickými, které zaručí odfiltrování i nemagnetických nečistot, jako jsou vylomená zrna brusného kotouče.

[2]

## 5 DRSNOST POVRCHU

Nejnovější trendy nekladou vysoké požadavky pouze na tvarovou a rozměrovou přesnost výrobků, ale také na drsnost povrchu strojně obrobených ploch součástí. Drsnost povrchu je důležitým parametrem zejména pro dynamicky namáhané součásti, které se důsledkem cyklické únavy začínají porušovat od povrchu. Vysoká drsnost působí velmi nepříznivě na únavovou pevnost součásti a na její odolnost proti otěru.

Obrobená plocha není v žádném případě dokonale hladká, vykazuje vždy určitý stupeň drsnosti povrchu, který je určen mikronerovnostmi vzniklými při obrábění.

Drsnost obrobené plochy je způsobena stopami, které na ni zanechá břit, nebo břity obráběcího nástroje. Druh a stupeň drsnosti závisí na způsobu obrábění, na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na jakosti, tvaru a geometrii břitu, na řezných podmínkách, zejména na velikosti posuvu a na řezné rychlosti. Dosahovaná drsnost povrchu může být dále ovlivňována tuhostí soustavy stroj - nástroj - obrobek, způsobem upínání obrobku, řeznou kapalinou, třením třísky a nástroje o obrobený povrch nebo opotřebením nástroje. [6]

### 5.1 Profil obrobeného povrchu

Drsnost povrchu obrobené plochy nástrojem s pevnou geometrií břitu nebo břitů je zpravidla různá v příčném a v podélném směru. Příčný směr je kolmý ke směru řezného pohybu, podélný je s řezným pohybem rovnoběžný. Při obráběcích operacích jako je soustružení, hoblování, vrtání nebo vyvrtávání je drsnost povrchu obrobené plochy větší v příčném směru, zato při frézování je drsnost větší ve směru podélném. Výjimku zde tvoří dokončovací operace jako je broušení, honování a lapování, výsledná drsnost povrchu obrobené plochy je v obou směrech téměř totožná. Stupeň drsnosti se určuje zásadně ve směru největší drsnosti. [6]



Tab. 6 Drsnost povrchu dosahovaná  
při různých typech obrábění [6]

Obrábění		Drsnost povrchu	
Druh	Způsob	R <sub>a</sub>	[μm]
Soustružení	jemné	1,6	(0,8)
	velmi jemné	0,4	(0,2)
Frézování	čelní jemné	3,2	(1,6)
	čelní velmi jemné	1,6	
	válcovou frézou - jemné	3,2	(1,6)
Vrtání děr	šroubovým vrtákem	12,5	(6,3)
	výhrubníkem	6,3	(3,2)
	zahlubování a zarovnávání	6,3	(3,2)
	vystružování	1,6	(0,8)
Vyvrtávání	jemné	1,6	(0,8)
	velmi jemné	0,4	(0,2)
Hoblování	jemné	3,2	(1,6)
	velmi jemné	1,6	(0,8)
Protahování	jemné	0,8	
Broušení	mezi hroty obvodové jemné	0,4	(0,2)
	zvlášť jemné speciálními kotouči	0,025	
	bezhruté	0,4	(0,2)
	vnitřní jemné	0,4	(0,2)
	zvlášť jemné	0,025	
	na plocho obvodové	0,4	(0,2)
	čelní – křížový výbrus	0,4	(0,2)
Lapování	jemné	0,1	
	velmi jemné	0,05 až 0,005	
Honování a superfinišování	jemné	0,1	
	velmi jemné	0,025	
Stupně drsnosti uvedené v závorkách lze dosáhnout jen za zvlášť příznivých podmínek obrábění			

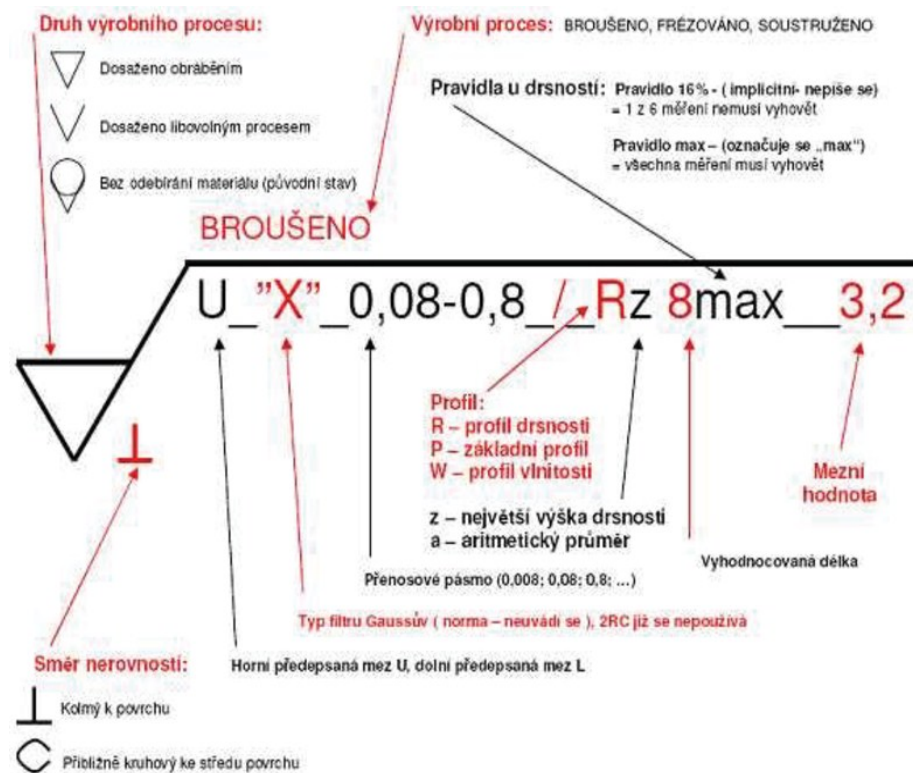
## 5.2 Předpis drsnosti povrchu na výkrese

Pro předpis drsnosti obrobené plochy na výkresech strojních součástí se nejčastěji využívají číselné hodnoty Ra, popřípadě Rz z řad uvedených v následující tabulce. Předepsaná drsnost na výkrese se uvažuje jako limitní hodnota drsnosti příslušné plochy. Je-li z nějakého funkčního důvodu důležité, aby drsnost povrchu byla dodržena v určitých mezích, předepisují se obě mezní hodnoty drsnosti. U ploch, u nichž není uveden žádný předpis drsnosti, se na drsnost nekladou žádné zvláštní požadavky, řídíme se buď hodnotou uvedenou nad popisovým polem součásti, nebo normou, dle které se výroba součásti řídí. [6]

Tab. 7 Hodnoty úchylek Ra a Rz v  $\mu\text{m}$  udávané  
ve výkresové dokumentaci[6]

Střední aritmetická úchylka		Výška nerovnosti R <sub>a</sub> [ $\mu\text{m}$ ]		Střední aritmetická úchylka		Výška nerovnosti R <sub>z</sub> [ $\mu\text{m}$ ]	
základní řada	praktická řada	základní řada	praktická řada	základní řada	praktická řada	základní řada	praktická řada
0,008		0,032		1		4	
0,01		0,04		1,25		5	
0,012	0,012	0,05	0,05	1,6	1,6	6,3	6,3
0,016		0,063		2		8	
0,02		0,08		2,5		10	
0,025	0,025	0,1	0,1	3,2	3,2	12,5	12,5
0,032		0,125		4		16	
0,04		0,16		5		20	
0,05	0,05	0,2	0,2	6,3	6,3	25	25
0,063		0,25		8		32	
0,08		0,32		10		40	
0,1	0,1	0,4	0,4	12,5	12,5	50	60
0,125		0,5		16		63	
0,16		0,63		20		80	
0,2	0,2	0,8	0,8	25	25	100	100
0,25		1		32		125	
0,32		1,25		40		160	
0,4	0,4	1,6	1,6	50	50	200	200
0,5		2		63		250	
0,63		2,5		80		320	
0,8	0,8	3,2	3,2	100	100	400	400

### 5.3 Popis značení drsnosti povrchu



Obr. 17 Kompletní značení drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 1302

### 5.4 Volba stupně drsnosti

Stupeň drsnosti dané obrobené či neobrobené plochy volí konstruktér navrhované součásti dle strojírenských tabulek, a svých zkušeností. Hlavními kritérii pro volbu drsnosti povrchu je funkce dané plochy a tvarové a rozměrové tolerance plochy. Stupeň zvolené drsnosti závisí na tom, zda se jedná o plochy dosedající na sebe ve spojení pevném, posuvném, otáčivém, nebo jsou-li to plochy se zvláštními požadavky (např. na těsnost), nebo plochy volné. [6]

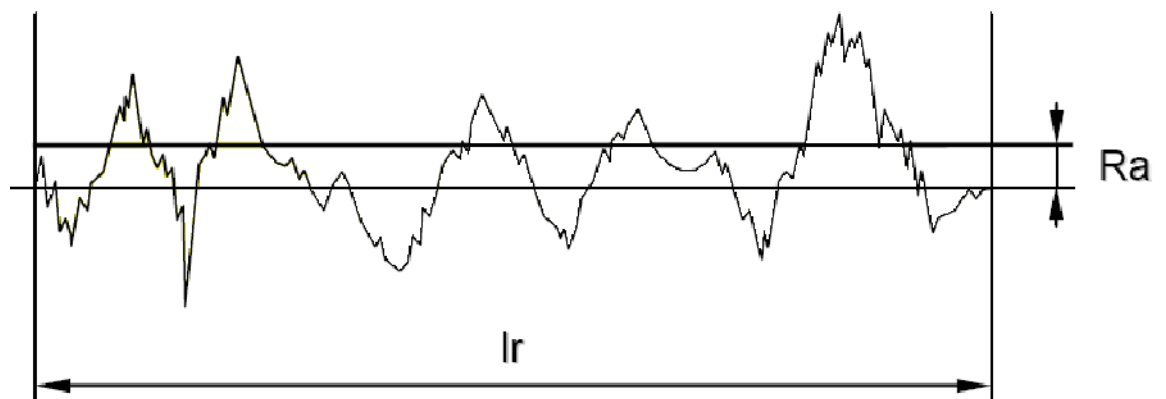
Tab. 8 Drsnost povrchu vztahena k rozměrům a rozměrovým přesnostem součástí [6]

Rozsah rozměrů (mm)	Stupeň přesnosti							
	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT 10	IT 11	IT 12
	Drsnost $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]							
1- 3	0,2	0,4	0,4	0,8	1,6	3,2	3,2	6,3
3- 6	0,2	0,4	0,8	0,8	1,6	3,2	6,3	6,3
6- 10	0,4	0,4	0,8	1,6	1,6	3,2	6,3	12,5
10- 18	0,4	0,8	0,8	1,6	3,2	3,2	6,3	12,5
18- 30	0,4	0,8	1,6	1,6	3,2	6,3	6,3	12,5
30- 50	0,8	0,8	1,6	3,2	3,2	6,3	12,5	12,5
50- 80	0,8	1,6	1,6	3,2	3,2	6,3	12,5	12,5
80-120	0,8	1,6	1,6	3,2	6,3	6,3	12,5	25
120-180	1,6	1,6	3,2	3,2	6,3	12,5	12,5	25
180-250	1,6	1,6	3,2	3,2	6,3	12,5	12,5	25

### 5.5 Výškové parametry udávané ve výkresové dokumentaci

Průměrná aritmetická úchylka profilu  $P_a$ ,  $R_a$ ,  $W_a$  – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky:

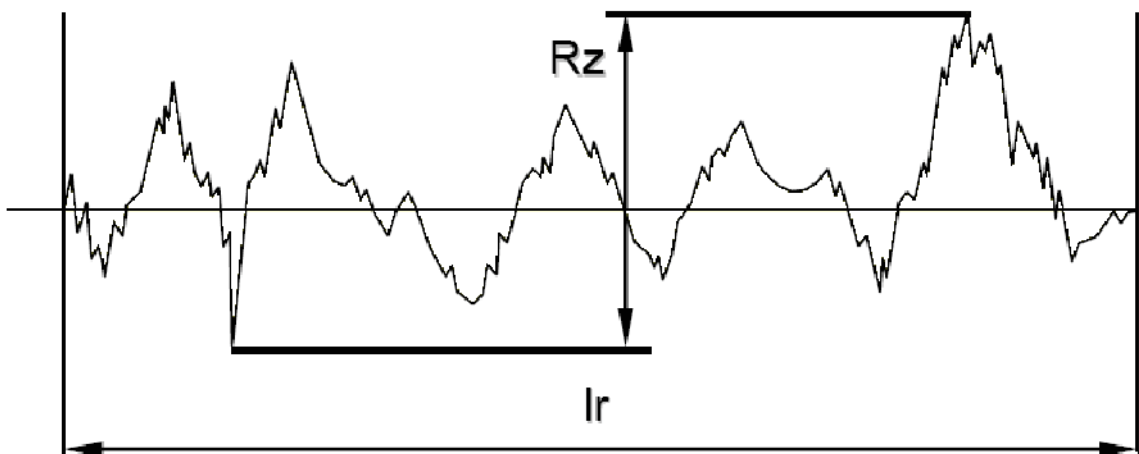
$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad [7]$$



Obr. 18 Průměrná aritmetická úchylka profilu [7]

Největší výška profilu  $P_z$ ,  $R_z$ ,  $W_z$  – součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky

$$P_z, R_z, W_z = Z_p + Z_v \quad [7]$$



Obr. 19 Největší výška profilu [7]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Stanoveným cílem bakalářské práce bylo porovnání jakosti obrobeného povrchu při různých zvolených technologiích výroby rotační součásti a určení vlivu materiálu na měřené parametry. Vzorky z oceli ČSN 11600 a ČSN 12050 byly ve středu rozděleny zápichem, první část požadovaného vzorku bude na finální rozměr osoustružena soustružnickým nožem s vyměnitelnými destičkami z SK a druhá část bude osoustružena s přídavkem 0,25 mm

a následně obroušena na finální rozměr. Následně proběhlo měření a zpracování naměřených hodnot jakosti povrchu. V ideálním případě by obě části vzorků vykazovaly nanejvýš totožnou drsnost povrchu, což není reálně možné.

Teoretická část bakalářské práce je především věnována teorii broušení, doprovodným jevům při broušení, řezným kapalinám a brousícím nástrojům. Dále je v teoretické části popsána drsnost povrchu, její předepisování na strojírenských výkresech a jistá pravidla pro volbu optimálního stupně drsnosti pro daný účel.

Praktická část byla věnována výrobě vzorků, obrábění součástí na jmenovitý rozměr a následnému zhodnocení naměřených výsledků. Vzorky z oceli ČSN 11600 a ČSN 12050 byly hodnoceny dle kvality dosažené jakosti povrchu měřené ve 12 místech rovnoměrně rozmístěných po obvodu jednotlivých vzorků.



## 7 POUŽITÉ STROJE, PŘÍSTROJE A TESTOVACÍ VZORKY

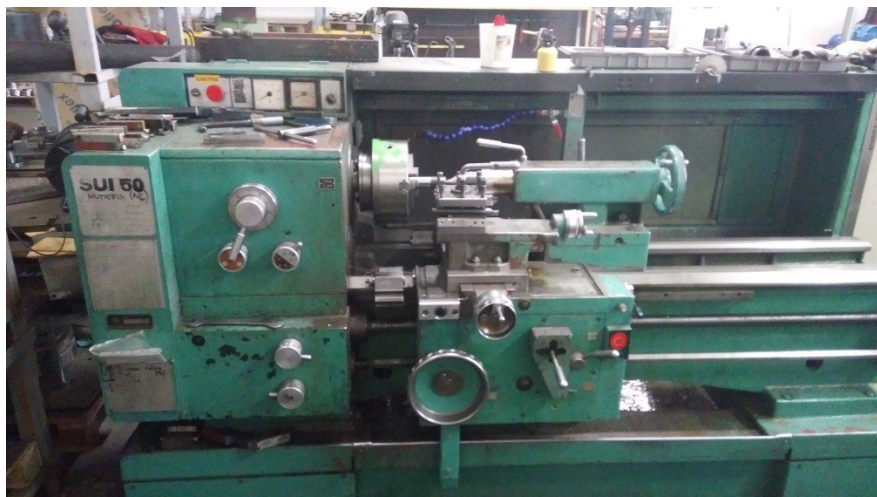
Primárně z finančních, ale také z kapacitních důvodů byl pro přípravné operace vzorků využit soustruh SUI 50. Mechatronický soustruh Chevalier FCL 2160 byl využit pouze pro dokončovací soustružnické operace a veškerá práce byla provedena zkušeným soustružníkem s mou asistencí. Pro následné broušení byla využita hrotová bruska TOS 2UD a veškeré měření drsnosti bylo provedeno pomocí měřicího přístroje Taylor Hobson Form Talysurf 5.

### 7.1 Hrotový soustruh SUI 50

Veškeré přípravné operace jako je zarovnání čel vzorků, osoustružení válcové části vzorků na předem stanovený průměr s přídávkem pro dokončovací operace, utvoření dělicího zářpichu a navrtání středících důlků byly provedeny na soustruhu SUI 50. Pro přípravné operace byl daný soustruh zvolen hlavně z finančních důvodů. Ovšem při využití otočné nožové hlavy na 4 nástroje a frekvenčního měniče pro plynulou změnu otáček byla produktivita práce při nejmenším srovnatelná s produktivitou práce mechatronického soustruhu při dodržení požadavků na kvalitu.

Tab. 9 Specifikace hrotového soustruhu SUI 50

SUI 50	
Oběžný průměr nad ložem	500 mm
Oběžný průměr nad suportem	320 mm
Délka soustružení	1000 mm
Vrtání vřetena	55 mm
Rozsah otáček vřetena	14 - 2240 min <sup>-1</sup>
Rozsah podélných posuvů	0,023 - 4,8 mm.ot <sup>-1</sup>
Rozsah příčných posuvů	0,011 - 2,4 mm.ot <sup>-1</sup>
Výkon motoru	7,5 kW
Rozměry	2580x1280x1450 mm
Hmotnost	2680 kg



*Obr. 20 Hrotový soustruh SUI 50*

## 7.2 Mechatronický soustruh Chevalier FCL 2160

Z finančních důvodů byly všechny přípravné operace provedeny na soustruhu SUI 50 a soustruh Chevalier FLC 2160 byl využit pouze k dokončení vzorků. Soustruh je řízen systémem Fagor 8055 T s mnoha cykly pro rychlé a efektivní programování stroje. Soustruh byl osazen univerzálním tříčelistovým sklíčidlem o průměru 220 mm, které bylo z hlediska upínacího průměru i házivosti pro náš účel více než dostačující.

*Tab. 10 Specifikace soustruhu Chevalier FCL 2160*

<b>Chevalier FCL 2160</b>	
Oběžný průměr nad ložem	540 mm
Oběžný průměr nad suportem	310 mm
Vzdálenost mezi hroty	1500 mm
Osa X	350 mm
Osa Z	1350 mm
Maximální otáčky vřetena	2250 min <sup>-1</sup>
Výkon motoru	15 kW
rozměry	3200x1950x2040 mm
hmotnost	3700 kg



*Obr. 21 Mechatronický soustruh Chevalier FCL 2160*



*Obr. 22 Detail sklíčidla a otočné nožové hlavy soustruhu*

### **7.3 Bruska TOS 2UD**

Bruska TOS 2UD je univerzální hrotová bruska s oběžným průměrem 290 mm a vzdáleností mezi hroty 700 mm. Bruska je určena pro velmi přesné broušení válcových i kuželových vnějších ploch zápichovým i podélným způsobem. Stroj má uplatnění jak při výkonném broušení ve velkosériové výrobě, tak i při kusové výrobě, kde je velkou výhodou jeho univerzálnost.

Tab. 11 Specifikace univerzální hrotové brusky TOS 2UD

TOS 2UD	
oběžný průměr	290 mm
vzdálenost mezi hroty	700 mm
rozměry brousícího kotouče (průměr x šířka)	350 x 50 mm
kužel koníku	MORSE 3
kužel pracovního vřeteníku	MORSE 3
průměr tříčelistového sklíčidla	125 mm
úhel natočení pracovního vřeteníku	90 °
úhel natočení vrchního stolu	± 7 °
úhel natočení brusného vřeteníku	45 °
otvor v držáku vřeten vnitřního broušení	127 mm
největší hmotnost obrobku broušeného v hrotech	30 kg
rozměry stroje (šířka x délka)	1520 x 3340 mm
hmotnost stroje s normálním příslušenstvím	2250 kg



Obr. 23 Hrotová bruska TOS 2UD



#### 7.4 Měřicí přístroj Taylor Hobson Form Talysurf 50

Drsnost povrchu byla měřena dotykovou metodou za pomoci přístroje Taylor Hobson Form Talysurf 50. Daný přístroj je využíván pro měření drsnosti povrchu méně a středně rozměrných součástí. S širokou škálou výměnných snímacích ramínek se přístroj stává velmi univerzálním měřicím zařízením pro téměř jakoukoli aplikaci, vyžadující mimořádnou přesnost měření. Přístroj je schopen měřit s vysokým rozlišením ve dvou osách, s využitím dotykové měřicí techniky.



*Obr. 24 Měřicí přístroj Taylor  
Hobson Form Talysurf 50 při měření  
drsnosti vzorku z oceli ČSN 12050*



*Obr. 25 Měřicí přístroj Taylor  
Hobson Form Talysurf 50 s monitorem  
zobrazujícím výsledky měření*

## 7.5 Zkoušený materiál

Pro daný Experiment byly zvoleny vzorky z 2 různých běžně užívaných konstrukčních materiálů, z oceli ČSN 11600 a ČSN 12050.

Oceli třídy 11 jsou uhlíkové konstrukční oceli se zaručenou čistotou, zaručeným obsahem fosforu a síry, zaručenou minimální pevností v tahu, mezi kluzu a tažností.

Oceli třídy 12 jsou ušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli, u nichž je zaručeno kompletní chemické složení. Oceli jsou uklidněné a neobsahují žádné legury. Mají široké uplatnění dle obsahu uhlíku v rozmezí 0,07 – 0,9%. Tepelným zpracováním lze získat velké množství užitečných vlastností ocele.

- Oceli třídy 12 určené k cementování mají 0,06 až 0,2 %C a dodávají se ve stavu přírodním (pouze válcované popř. kované)
- Oceli třídy 12 k zušlechťování mají 0,25 až 0,7 %C. Jsou prokalitelné až do průměru 40 mm

### 7.5.1 Ocel ČSN 11600

Ocel ČSN 11600 je neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti s vyšším obsahem uhlíku. Mez kluzu v tepelně nezpracovaném stavu  $R_e=325$  MPa a mez pevnosti v tahu  $R_m=590$  – 710 MPa. Ocel je vhodná na strojní součásti namáhané staticky i dynamicky, u nichž

se nevyžaduje svařitelnost a na součásti vystavené velkému měrnému tlaku. Hřídele, osy, ozubená kola, řetězová kola, páky, čepy, pístnice, kolíky, podpěry, držátka, objímky, šrouby a matice, klíny, pera, kluzné kameny, ozubené hřebeny, kladky, spojky, segmenty a vložky axiálních ložisek, distanční kroužky, různé upínací elementy, tělesa fréz apod. Pásky a pruhy ke tvarování ohybem.

Tab. 12 Značení oceli ČSN 11600

Značení dle ČSN	Značení dle EN nebo EN ISO	Číslo materiálu W.Nr.	DIN
11600	E335	1.0060	ST 60-2



Obr. 26 Materiál z ČSN 11600

### 7.5.2 Ocel ČSN 12050

Ocel ČSN 12050 je konstrukční nelegovaná ocel k zušlechťování, povrchovému kalení a pro velké výkovky. Již uklidněná ocel vhodná na hřídele těžních strojů, turbokompresorů, karuselů apod., na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kom-



presorů, ojnice, pístnice, vřetena, plunžry lisů, písty kompresorů, čepy, šrouby, stavěcí rouby, dopravní válečky, vodící čepy, lamely spojek, lůžka, páky, zarážky, kolíky, různé spojovací součásti, posouvací vidlice, držáky, unášeče satelitů, vahadla, západky, kované svorníky tlakových nádob, upínací a stavebnicové části nástrojů, vrtací tyče, frézovací trny. Ocel je obtížně svařitelná. Materiál je běžně dodáván ve formě válcovaného a žíhaného plechu, kovaného bloku a kruhové válcované tyče.

Tab. 13 Značení oceli ČSN 12050

Značení dle ČSN	Značení dle EN nebo EN ISO	Číslo materiálu W.Nr.	DIN
12050	C45	1.0503	C 45



Obr. 27 Materiál z ČSN 12050

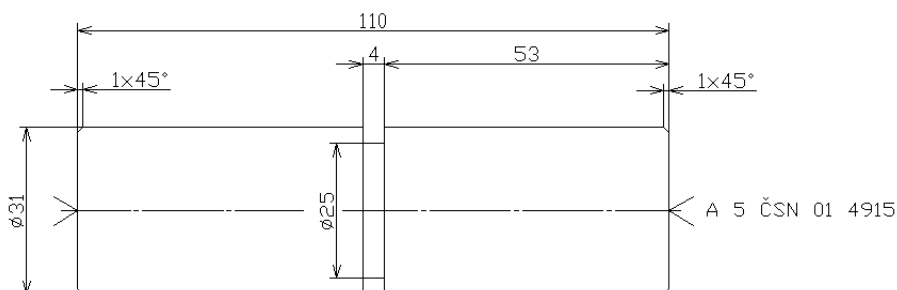
## 8 POSTUP PŘÍPRAVY VZORKŮ A MĚŘENÍ

### 8.1 Příprava vzorků

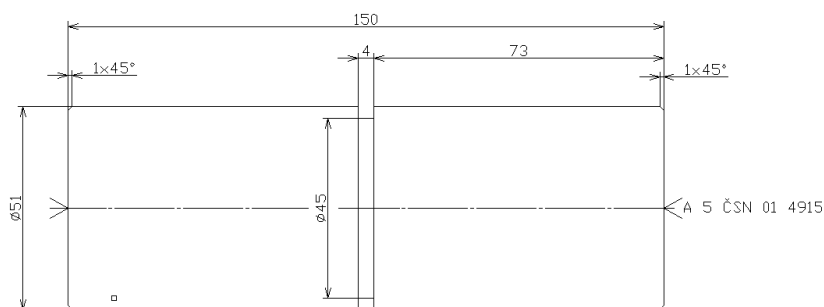
Jako zkušební vzorky byl firmou PP SYSTEM dodán ocelový tyčový materiál dle normy ČSN EN 10060 o průměru 35 mm a 55mm. Tyče o průměru 35 mm byly dodány v délce 114 mm a tyče o průměru 55mm v délce 155 mm. Řezy byly provedeny pásovou pilou s dostatečným délkovým přídavkem. Oba typy vzorků byly dodány z oceli ČSN 11600 (Obr. 26) i ČSN 12050(Obr. 27). Výrobky byly zhotoveny dle normy ČSN ISO 2768-1 s přesností ISO 2768c, která byla zvolena za nejvhodnější pro daný účel.

#### 8.1.1 Soustružení na soustruhu SUI 50

Za pomoci hrotového soustruhu SUI 50 byly dodané kusy materiálu obrobena dle předem připravených výkresů viz. Obr. 28 a 29 a následně označeny za pomoci rýsovací jehly na jednotlivá čela vzorků. Nebyla použita raznice z důvodu způsobení možné deformace v oblasti středících důlků.



Obr. 28 Výkres pro přípravu vzorků I. a II.



Obr. 29 Výkres pro přípravu vzorků III. a IV.

### 8.1.1.1 Označení vzorků

<b>I.</b>	Materiál:	ČSN 11600
	∅ obrobku:	30 mm
<b>II.</b>	Materiál:	ČSN 12050
	∅ obrobku:	30 mm
<b>III.</b>	Materiál:	ČSN 11600
	∅ obrobku:	50 mm
<b>IV.</b>	Materiál:	ČSN 12050
	∅ obrobku:	50 mm



Obr. 30 Značení vzorků z oceli ČSN 11600 a ČSN 12050

### 8.1.1.2 Postup přípravy vzorků:

#### ∅35 x 114 mm

- zarovnání čel na délku 110 mm
- navrtání středících důlků středícím vrtákem ∅ 5mm typ A
- upnutí za surový povrch, osoustružení minimálně 30 mm od čela  $\phi = 31$  mm, zkosení 1 x 45°

- upnutí za obrobený konec a podepření podpěrným koníkem s pinolou, soustružení  $\phi = 31$  mm, zkosení  $1 \times 45^\circ$

- ve vzdálenosti 53 mm od čela vytvoření 4mm zápichu do hloubky 2,5 mm ( $\phi = 25$  mm)

### **$\phi 55 \times 155$ mm**

- zarovnání čel na délku 150 mm

- navrtání středících důlků středícím vrtákem  $\phi 5$ mm typ A

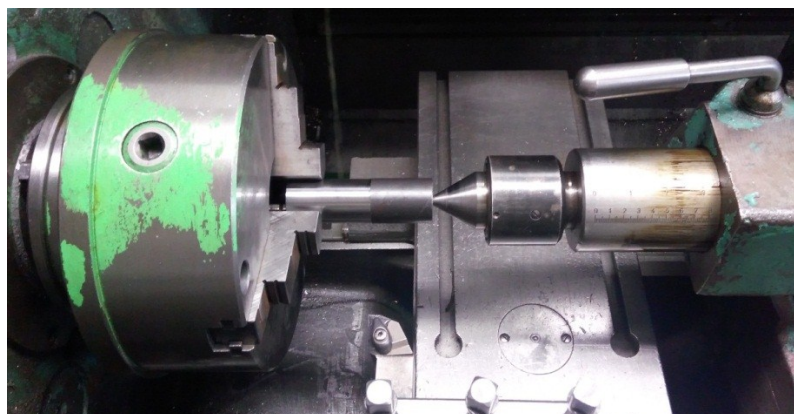
- upnutí za surový povrch, osoustružení minimálně 30 mm od čela  $\phi = 51$  mm, zkosení  $1 \times 45^\circ$

- upnutí za obrobený konec a podepření podpěrným koníkem s pinolou, soustružení  $\phi = 51$  mm, zkosení  $1 \times 45^\circ$

- ve vzdálenosti 73 mm od čela vytvoření 4mm zápichu do hloubky 2,5 mm ( $\phi = 45$  mm)



*Obr. 31 Vzorok soustružení na SUI 50*



*Obr. 32 Soustružení vzorku č. III. dle výkresové dokumentace*

### 8.1.1.3 Použité nástroje

Veškeré soustružnické operace byly provedeny za pomoci vyměnitelné břitové destičky Iscar WNMG 080408-GN IC830. Destička Iscar byla zvolena pro svou dlouhou životnost a velmi vysokou odolnost proti opotřebení. Za pomoci plynulé regulace otáček byla dodržena řezná rychlost cca  $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  dle doporučení výrobce. Posuvová rychlost byla zvolena totožná pro podélné i příčné obrábění  $0,225 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ .



Obr. 33 Vyměnitelné břitové destičky Iscar z SK

Středící důlky byly zhotoveny pomocí středícího navrtávacího vrtáku typu A z rychlořezné oceli. Důlky byly zhotovovány za konstantních otáček  $530 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$  a stálého chlazení emulzí na vodné bázi. Při zadaných otáčkách dosahovala maximální řezná rychlost doporučené hodnoty  $20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .



Obr. 34 Středící navrtávací  
vrták z HSS typu A

### 8.1.2 Dokončovací soustružení na soustruhu Chevalier

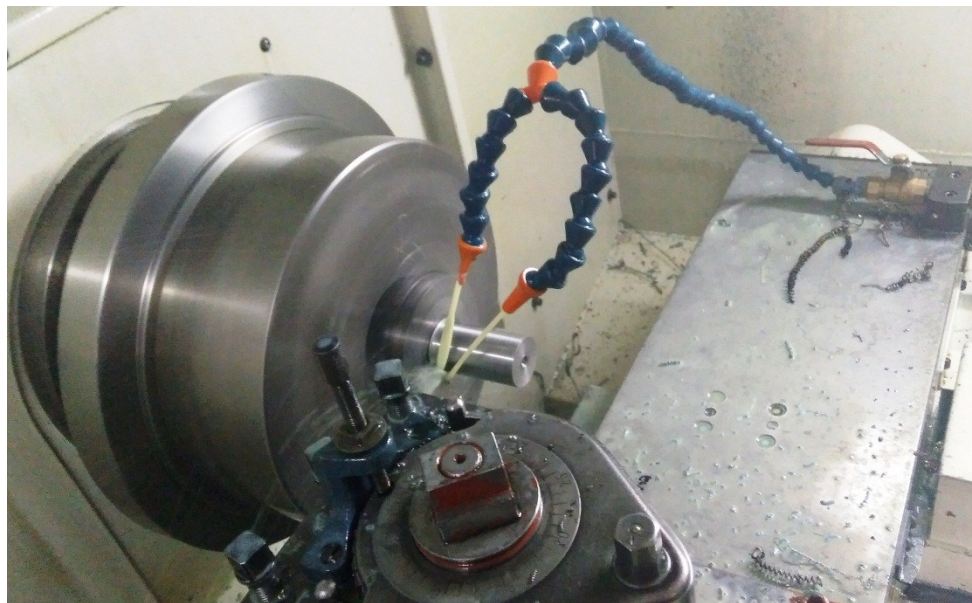
Již předpřipravené vzorky byly upnuty do tříčelistového univerzálního sklíčidla a následně byla osoustružena část s přídavkem  $0,25 \text{ mm}$  na brus. Toleranční stupeň IT 9 dle ČSN EN



ISO 286-1 byl zvolen pro zachování konstantního přídávku u jednotlivých vzorku. Dílec byl upnut za již osoustruženou část a následně byla dokončena část vzorku, kde byl hodnocený povrch soustružen.

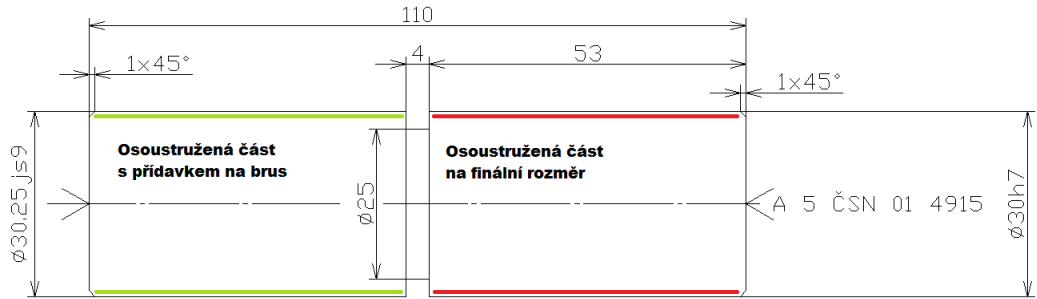


*Obr. 35 Příprava soustružení vzorku č. IV.*

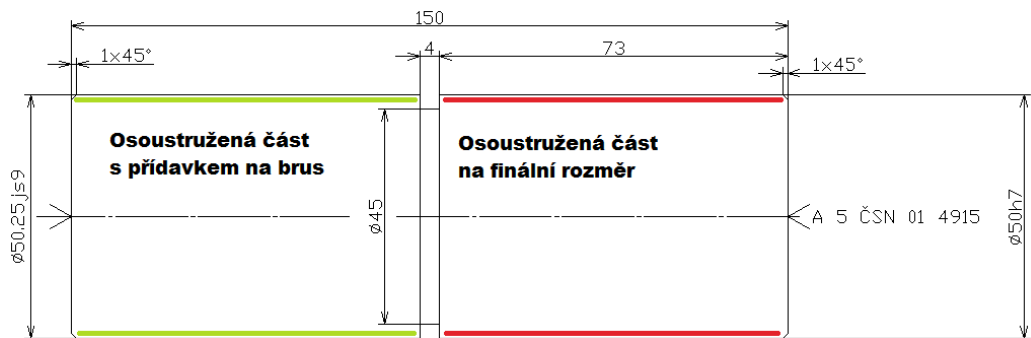


*Obr. 36 Soustružení vzorku č. IV.*

Soustružení bylo provedeno dle předem připravené výkresové dokumentace. Posuvová rychlost byla zvolena  $0,1 \text{ mm.ot}^{-1}$ . Při obrábění vzorků III a IV bylo nutné zvýšení posuvové rychlosti na hodnotu  $0,14 \text{ mm.ot}^{-1}$  kvůli namotávání třísky na obrobek. Řezná rychlost byla zvolena dle doporučení  $170 \text{ m.min}^{-1}$ .



Obr. 37 Výkres pro dokončení vzorků I. a II. s popisky



Obr. 38 Výkres pro dokončení vzorků III. a IV. s popisky

### 8.1.2.1 Použité vyměnitelné břitové destičky

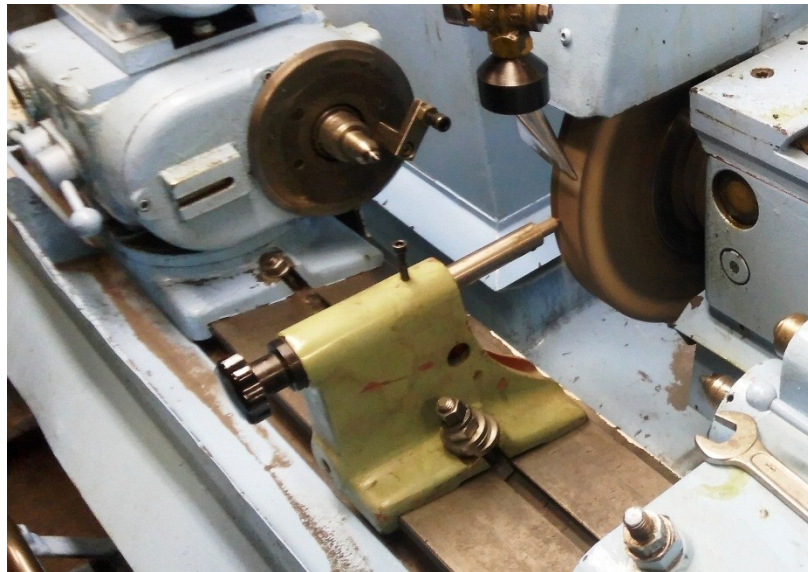
Pro dokončovací soustružení byla prvotně zvolena vyměnitelná břitová destička Walter DCMT11T304-PM s geometrií wiper. Geometrie wiper zaručuje zvýšení kvality povrchu až o 1 stupeň drsnosti při totožných řezných podmínkách. Z důvodu nedostupnosti daného produktu a vysoké vytiženosti soustruhu Chevalier byla jako nejvhodnější náhrada zvolena VBD Walter DCMT11T304-MP4, která byla aktuálně k dostání.



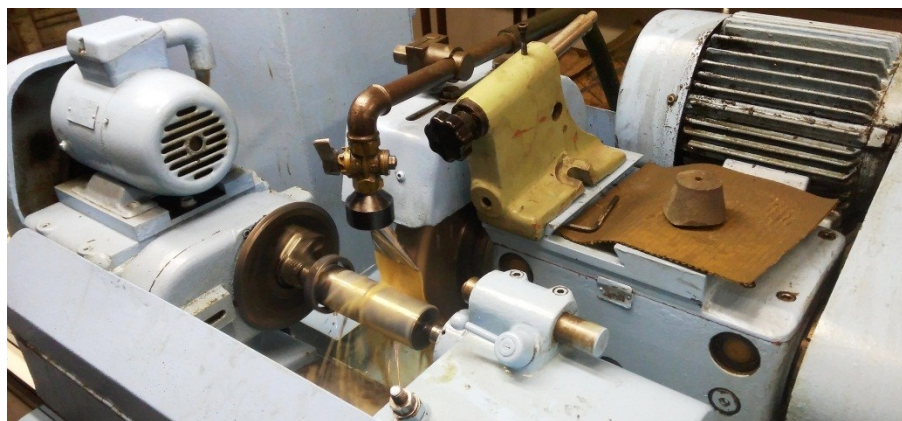
Obr. 39 VBD Walter  
DCMT11T304-MP4

### 8.1.3 Broušení plochy s přídavkem na brus

Všechny vzorky byly broušeny na univerzální hrotové brusce TOS 2UD brousícím kotoučem se sintrovaným korundem. Před samotným broušením proběhlo orovnění kotouče diamantovým orovnávačem, nastavení vhodného délkového rozsahu mezi upínacími hroty a následně vyrovnění stolu. Vzorky byly broušeny za konstantní řezné rychlosti  $35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a hloubce záběru  $0,02\text{mm}$  s následným vyjiskřením.



*Obr. 40 Orovňávání brousícího kotouče  
diamantovým orovnávačem*



*Obr. 41 Broušení vzorku č. III.*

#### 8.1.3.1 Použitý brousící kotouč

Dle doporučení brusiče byl použit brousící kotouč Tyrolit se sintrovaným korundem a keramickým pojivem. Kotouč se běžně využívá k broušení konstrukční oceli, kalené oce-



li a HSS do 67 HRC. Vysoká pórovitost kotouče zajišťuje snížení tepelného zatížení a specifikace zrna velikosti 60 zajišťuje optimální výsledky broušení zvláště při obrábění obzvláště tvrdých materiálů. Dosahovaná drsnost povrchu  $R_a$  udávaná výrobcem: 0,35 - 0,5  $\mu\text{m}$  při  $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Označení brousícího kotouče: 350x50x127 454A 60J10V3

*Tab. 14 Brousící kotouč Tyrolit*

<b>Brousící kotouč TYROLIT</b>	
Průměr kotouče	350 mm
Šířka	50 mm
Průměr díry	127 mm
Tvat	plochý široký
Velikost zrna	60
Typ zrna	30% samoostřící korund
Pojivo	keramické
Tvrдость	J

## 8.2 Měření

Veškeré měření výsledné drsnosti povrchu vzorků bylo provedeno za pomoci přístroje Taylor Hobson Form Talysurf 50. Přístroj umožňuje dvouosé měření dotykovou metodou s vysokým rozlišením, což bylo pro porovnání drsnosti vzorků zvoleno jako nejvhodnější metoda.

### 8.2.1 Postup přípravy vzorků a měření drsnosti povrchu

Před měřením proběhlo odstranění konzervační vrstvy a očištění ředidlem a látkou, která nepouští vlas. Již po vizuální zkoušce a následné odhadové zkoušce drsnosti, kde zkušební diamantové tělíčko nahradí nehet osoby, která provádí zkoušku, se struktura povrchu jevila jako homogenní. Dle doporučení byla kruhová čela vzorků rovnoměrně rozdělena na 12 dílů, které nám určily rovnoměrné rozložení 12 čar na válcové ploše, umístěných rovnoběžně s osou součásti. Čáry byly rýsovány tenkým permanentním popisovačem, aby bylo zabráněno zmizení důsledkem ohmatu a každá čára byla označena číslem. Před samotným měřením bylo zvoleno, že měření bude probíhat podél každé čáry vpravo. V náhodné vzdálenosti od čela vzorku byl zvolen 5,6 mm interval pro měření. Po výběru všech intervalů byla provedena vizuální kontrola, zda se v daném intervalu nenachází vryp nebo jiný de-

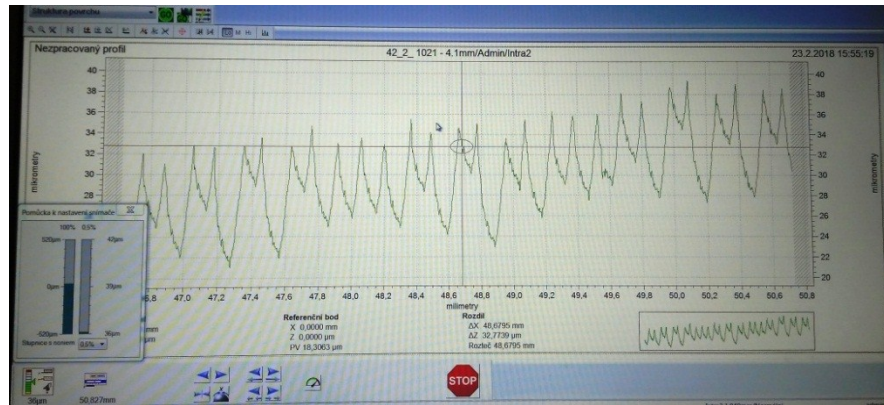
fekt, pokud ano, byl zvolen jiný interval podél téže čáry, aby nedošlo k ovlivnění měření. Následně byl vzorek pevně upevněn ke zkušebnímu stolu a v každém intervalu bylo provedeno měření. Jako výstupní parametry měření byly zvoleny parametry Rz, Ra a RSm. Měření bylo provedeno v příčném směru, kde soustružený povrch nabývá nejvyšších hodnot. Broušený povrch by měl být správně měřen ve 4 směrech vzájemně natočených o 45° a následně by měla být zvolena nejvyšší hodnota. Z důvodu urychlení pokusu a objektivnosti měření bylo i měření broušeného povrchu provedeno pouze v příčném směru.



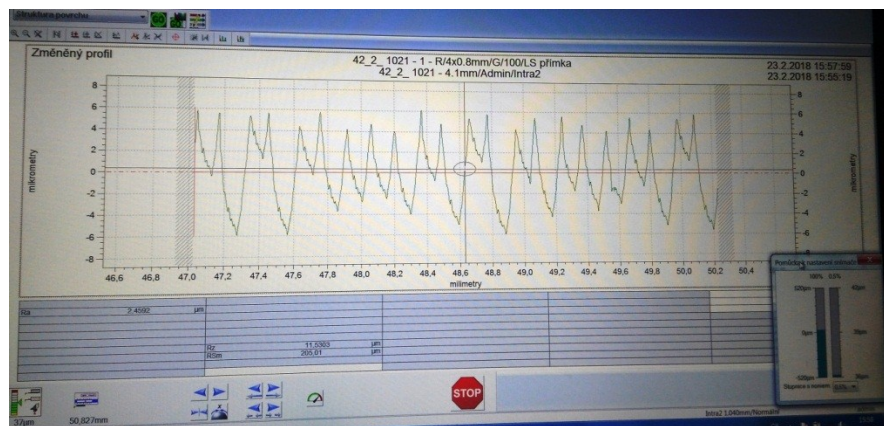
*Obr. 42 Připravený vzorek č. III. na měření drsnosti*



*Obr. 43 Upevnění vzorku k měřicímu stolu*



Obr. 44 Zobrazení nezpracovaného profilu



Obr. 45 Zobrazení zpracovaného profilu s parametry jakosti povrchu

## 9 ZPRACOVÁNÍ A ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Tab. 15 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku č. I.

Vzorek číslo: I						
	Soustružená část			Broušená část		
Číslo měření:	Ra [μm]	Rz [μm]	RSm [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	RSm [μm]
1	1,560	6,896	178,560	0,382	2,678	80,170
2	1,618	7,251	171,010	0,404	2,862	86,740
3	1,679	7,292	189,000	0,416	3,553	125,370
4	1,730	7,596	177,610	0,378	2,793	69,120
5	1,671	7,073	178,350	0,398	2,974	87,520
6	1,559	7,069	177,760	0,372	2,696	77,700
7	1,482	6,660	179,890	0,449	2,883	100,590
8	1,501	6,842	156,230	0,410	2,868	109,510
9	1,688	7,254	178,160	0,367	2,783	94,800
10	1,578	6,957	167,760	0,398	3,000	94,860
11	1,584	7,172	176,390	0,412	3,290	91,530
12	1,617	6,998	177,710	0,401	3,115	92,850
Ar. průměr	1,606	7,088	175,700	0,399	2,958	92,560
Sm. Odchylka	0,073	0,236	7,595	0,022	0,245	14,209
Standard. nej. měř.	0,021	0,068	2,192	0,006	0,071	4,102

Tab. 16 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku č. II.

Vzorek číslo: II						
	Soustružená část			Broušená část		
Číslo měření:	Ra [μm]	Rz [μm]	RSm [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	RSm [μm]
1	1,503	7,081	162,060	0,362	2,817	119,050
2	1,535	7,033	159,550	0,379	2,728	111,840
3	1,490	6,951	161,640	0,388	2,783	120,410
4	1,536	7,039	168,440	0,360	2,632	88,520
5	1,597	7,746	159,540	0,347	2,520	75,920
6	1,598	7,767	168,950	0,380	2,674	90,320
7	1,489	6,850	173,370	0,419	2,739	82,200
8	1,554	7,140	159,490	0,365	3,138	110,610
9	1,500	6,786	151,250	0,348	2,593	86,330
10	1,513	7,110	164,830	0,364	2,527	76,940
11	1,556	6,676	167,910	0,347	2,389	83,150
12	1,541	6,852	164,420	0,398	2,766	88,250
Ar. průměr	1,534	7,086	163,450	0,371	2,692	94,460
Sm. Odchylka	0,036	0,328	5,601	0,021	0,181	15,618
Standard. nej. měř.	0,010	0,095	1,617	0,006	0,052	4,509

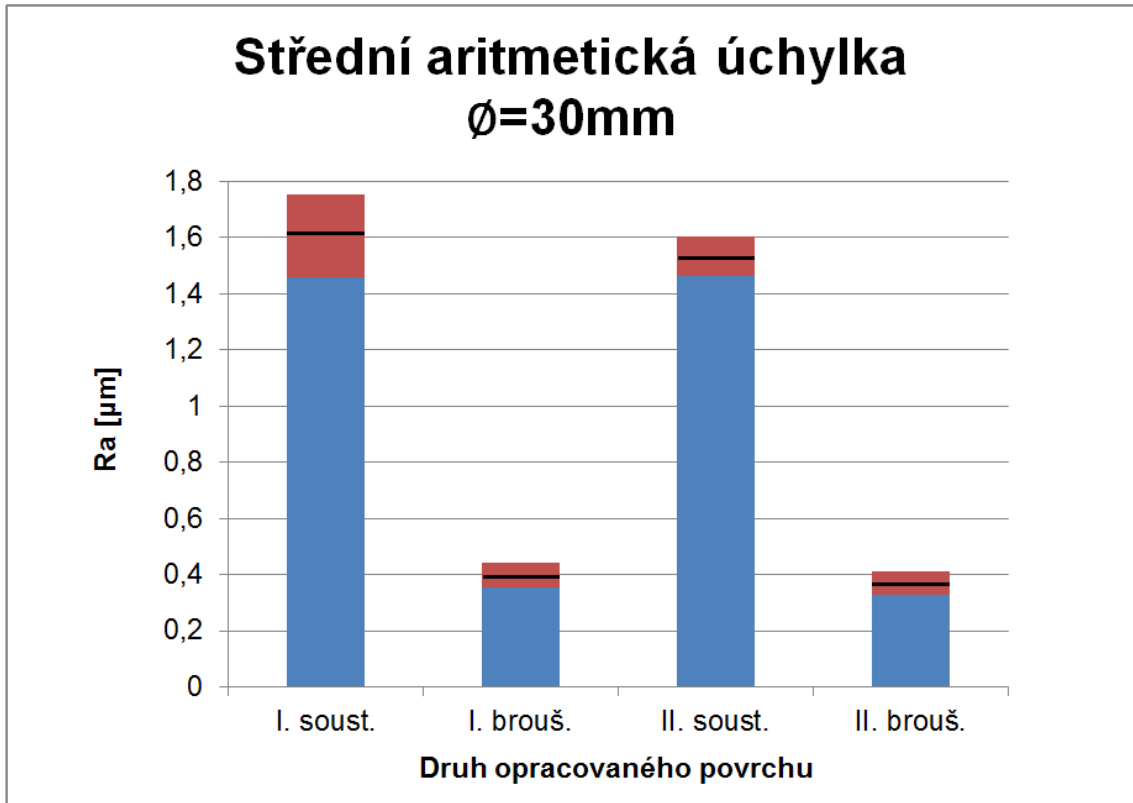


Tab. 17 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku č. III.

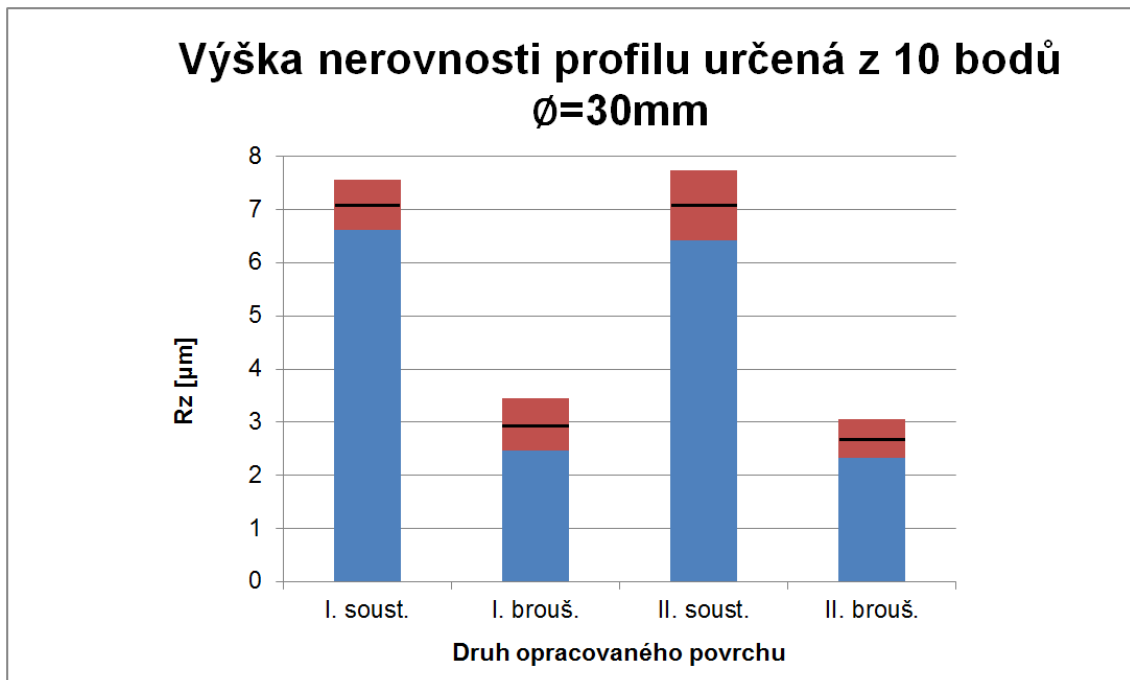
Vzorek číslo: III						
	Soustružená část			Broušená část		
Číslo měření:	Ra [μm]	Rz [μm]	RSm [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	RSm [μm]
1	2,245	10,754	221,960	0,389	2,650	82,040
2	2,172	10,171	220,190	0,429	3,232	95,820
3	2,324	10,434	218,520	0,380	2,838	96,740
4	2,385	11,390	236,850	0,427	3,144	133,280
5	2,398	10,870	208,760	0,428	2,870	92,370
6	2,338	10,992	225,310	0,366	2,825	107,980
7	2,463	11,760	244,140	0,425	3,264	96,410
8	2,213	10,080	238,510	0,385	2,478	84,150
9	2,165	10,095	208,740	0,442	3,237	131,800
10	2,200	10,234	205,850	0,473	3,126	106,880
11	2,317	11,459	226,900	0,406	2,755	94,960
12	2,203	10,954	205,050	0,409	2,549	134,520
Ar. průměr	2,285	10,766	221,730	0,413	2,914	104,746
Sm. Odchylka	0,095	0,549	12,689	0,029	0,268	17,911
Standard. nej. měř.	0,027	0,158	3,663	0,008	0,077	5,170

Tab. 18 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku č. IV.

Vzorek číslo: IV						
	Soustružená část			Broušená část		
Číslo měření:	Ra [μm]	Rz [μm]	RSm [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	RSm [μm]
1	2,459	11,530	205,010	0,439	2,960	82,410
2	2,386	11,145	195,250	0,446	2,808	108,940
3	2,337	10,672	206,270	0,394	2,953	112,630
4	2,290	10,699	205,560	0,465	3,038	87,820
5	2,261	10,906	242,560	0,426	2,913	121,810
6	2,333	10,921	209,090	0,499	3,278	115,400
7	2,262	10,566	220,200	0,459	2,867	99,240
8	2,377	10,651	209,240	0,393	2,778	91,650
9	2,413	11,075	225,180	0,389	2,554	101,730
10	2,347	11,219	198,900	0,395	2,660	95,550
11	2,372	10,921	220,440	0,416	2,952	121,400
12	2,315	11,223	204,770	0,411	2,774	95,070
Ar. průměr	2,346	10,961	211,870	0,428	2,878	102,800
Sm. Odchylka	0,057	0,276	12,549	0,033	0,179	12,553
Standard. nej. měř.	0,016	0,080	3,623	0,010	0,052	3,624

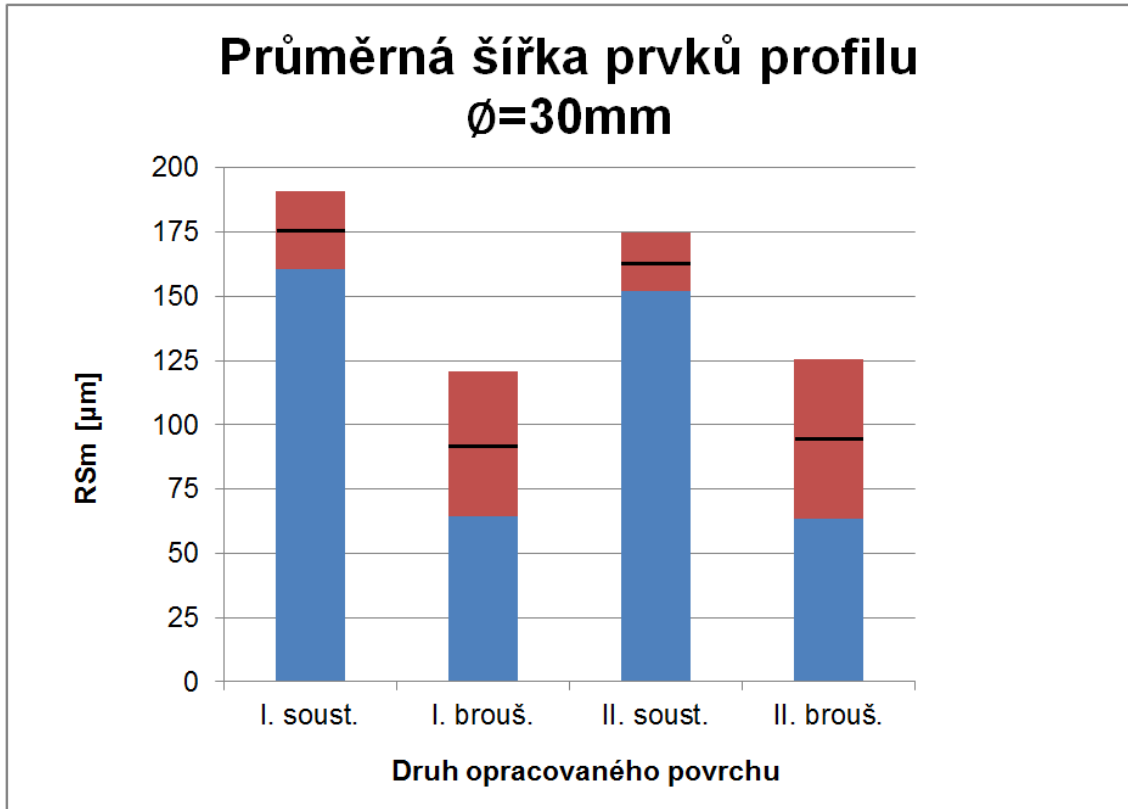


Obr. 46 Porovnání Ra vzorků č. I. a II.

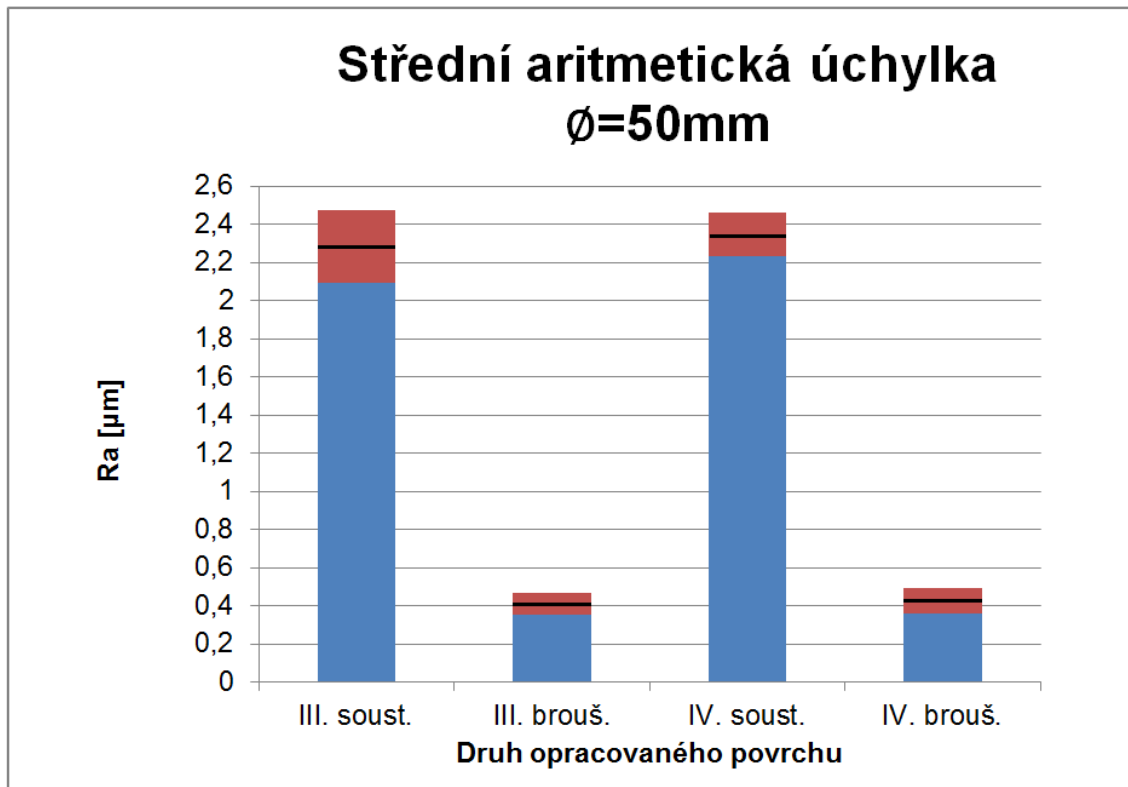


Obr. 47 Porovnání Rz vzorků č. I. a II.

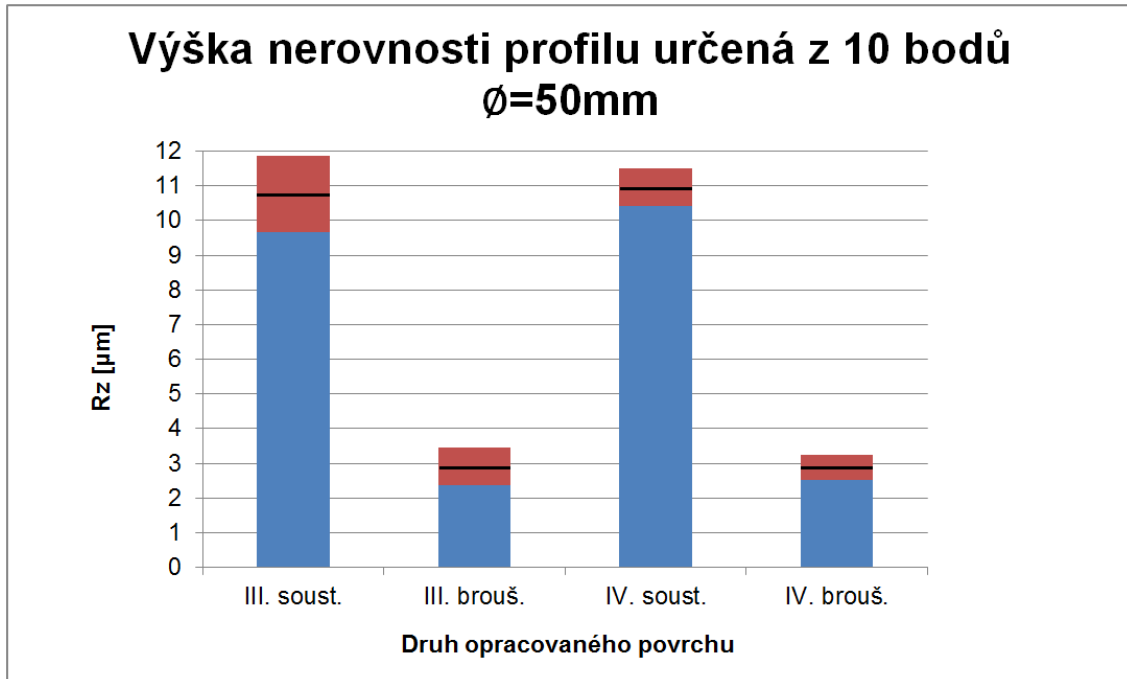




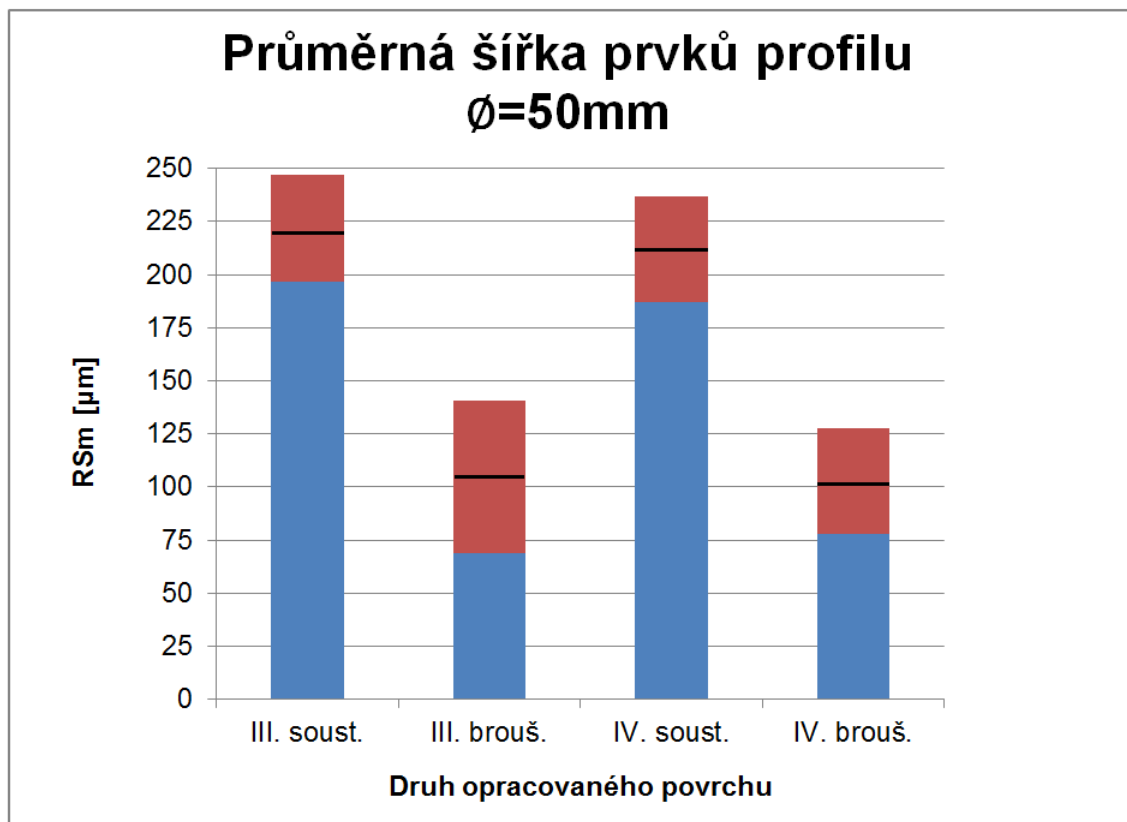
Obr. 48 Porovnání RSm vzorků č. I. a II.



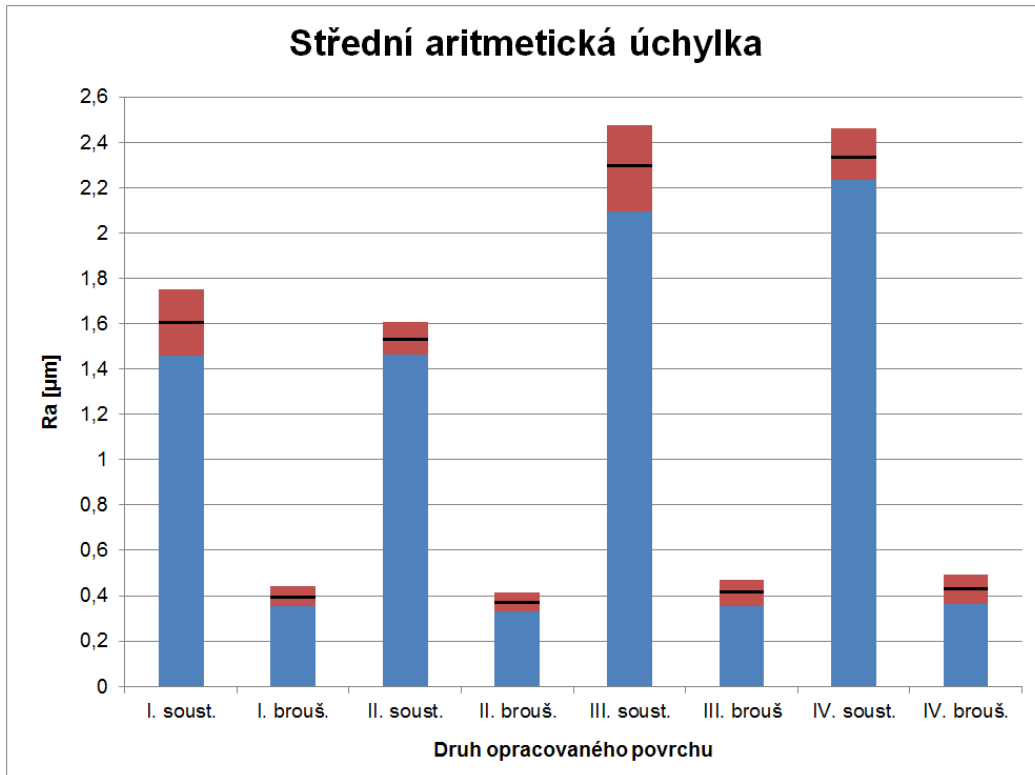
Obr. 49 Porovnání Ra vzorků č. III. a IV.



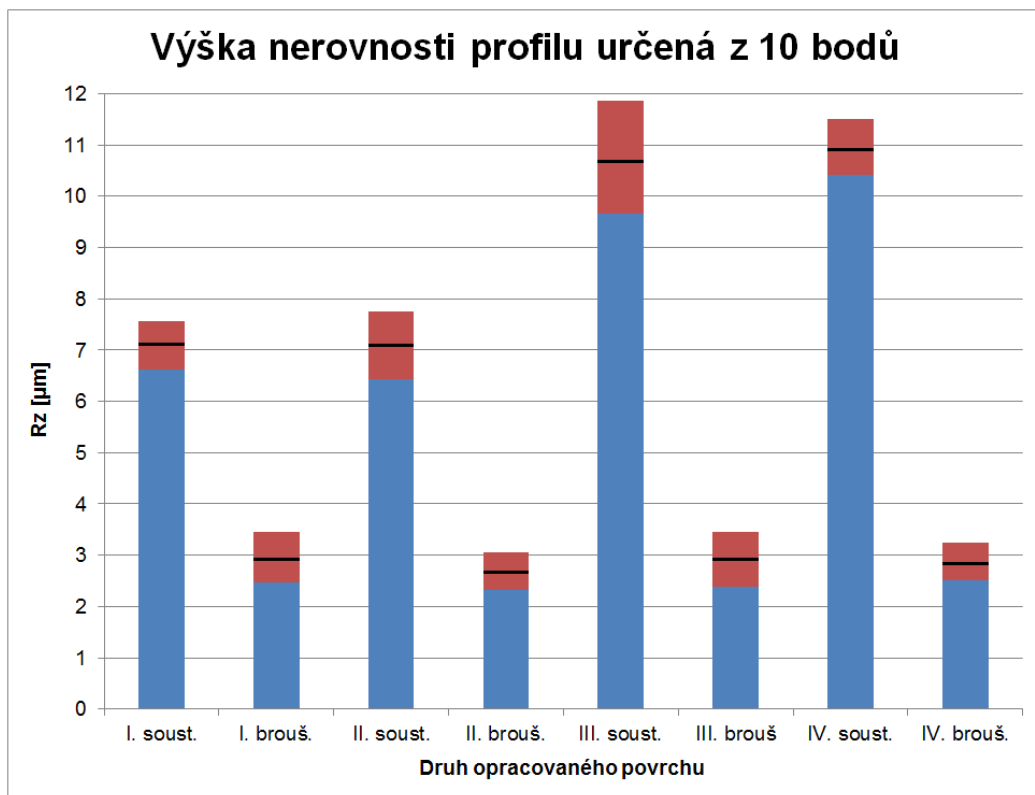
Obr. 50 Porovnání Rz vzorků č. III. a IV.



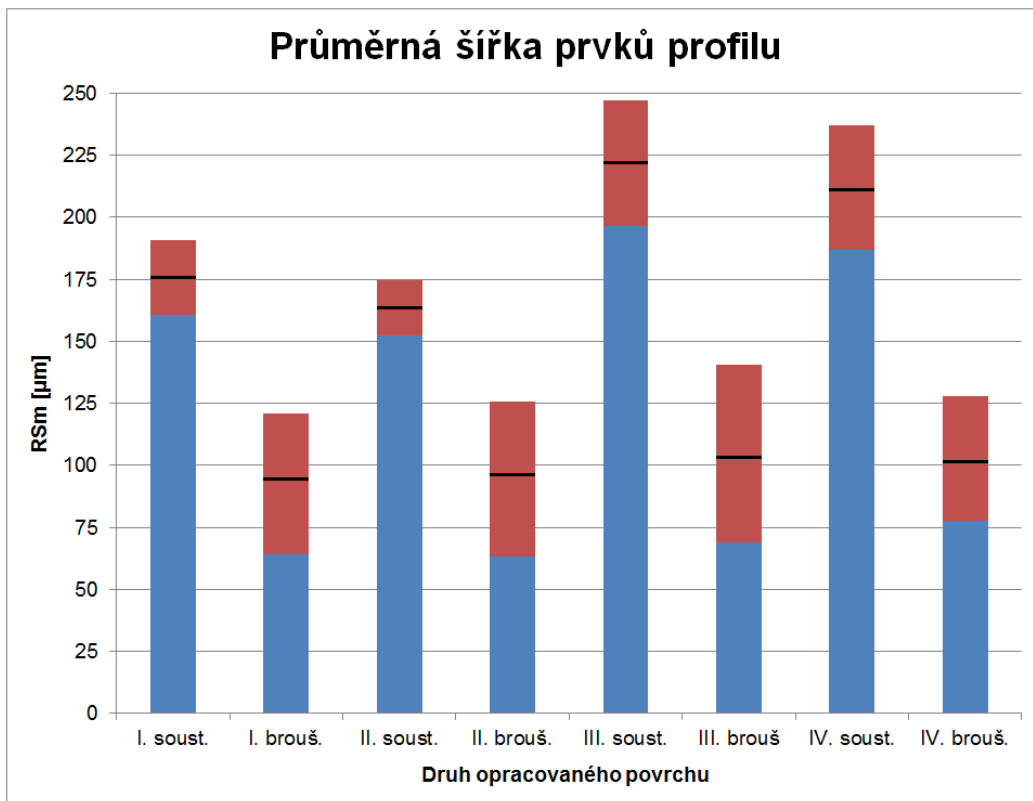
Obr. 51 Porovnání RSm vzorků č. III. a IV.



Obr. 52 Porovnání Ra všech vzorků



Obr. 53 Porovnání Rz všech vzorků



*Obr. 54 Porovnání R<sub>Sm</sub> všech vzorků*

## 9.1 Ekonomické zhodnocení

Jelikož zpracované výsledky určily značnou rozdílnost výsledné drsnosti povrchu, ekonomické zhodnocení nebylo dále prováděno. Pouze pro představu nákladnosti práce je níže uveden orientační ceník práce na daných strojích.

Soustruh SUI 50 : 300 – 400 Kč/hod' bez DPH

Soustruh Chevalier FCL 2160 : 500 – 650 Kč/hod' bez DPH

Bruska TOS 2UD : 600 – 800 Kč/hod' bez DPH

## ZÁVĚR

Obrábění rotačních součástí tvoří velkou část produkce současných průmyslových podniků. Se zdokonalujícími se technologiemi výroby, měření a tepelného zpracování jsou kladeny stále vyšší požadavky na dodržování rozměrových, geometrických ale i drsnostních parametrů. V dnešní době i zde udává z velké části trendy automobilový průmysl. S příchodem CNC obráběcích strojů se razantně zvýšila produktivita práce a výdělečnost strojírenských zakázek je z velké části ovlivněna technologií výroby. Žádná technologie není univerzální, a proto je na základě kladů a záporů vhodnou technologií výroby zvažovat s dostatečným předstihem. Hlavní výhodou soustružení je rychlost úběru materiálu a tím pádem i vysoká produktivita práce za běžně dostačující kvality součástí. Nové technologie v soustružnické praxi převážně urychlují práci zdokonalením softwarů a zvyšuje se odolnost opotřebení u řezných nástrojů. Vhodnou volbou nástrojů je možné výrazně ovlivnit jakost obrobené plochy, ovšem jak již bylo zjištěno, za běžných podmínek není možné se přiblížit jakosti broušeného povrchu. Broušení, které bylo dříve považováno za výhradně dokončovací operaci, se stává nejen dokončovací, ale i produkční metodou výroby součástí. V dnešní strojírenské praxi se broušení stalo nenahraditelnou a hojně rozšířenou operací i přes svou vysokou nákladnost.

Teoretická část je převážně věnována technologii broušení a různým vlivům, které mohou mít vliv na výslednou kvalitu obrobeného povrchu. Dále je zde popsána drsnost povrchu, jako hodnotící parametr.

Praktická část je věnována výrobě vzorků, popisu využitých zařízení a měření kvalitativních parametrů. Vzorky vyrobeny na soustruhu SUI 50, následně dokončeny na soustruhu Chevalier FCL 2160 a jedna část vzorů byla broušena na univerzální hrotové brusce TOS 2 UD. Celkem byly vyrobeny 4 vzorky, 2 o průměru 50mm a 2 o průměru 30mm. Vzorky byly vyrobeny z Materiálu ČSN 11600 a ČSN 12050. Při měření drsnosti povrchu jednotlivých vzorků bylo zjištěno, že broušený povrch si zachovává téměř konstantní hodnoty parametrů Ra a Rz. Nepatrný rozdíl parametrů byl zaznamenán při změně průměru obráběné součásti. Se zvyšující se průměrem součástí se kvalita opracovaného povrchu mírně zhoršuje, ovšem rozdíl mezi průměry součástí byl pouze 20mm, přesnější výsledky bychom získali až po doplňujících měřeních. Obecně lepší parametry Ra a Rz vykazují vzorky z materiálu ČSN 12050. U soustružené části není možné jednoznačně určit, který materiál vykazuje lepší jakost povrchu. Značný rozdíl parametrů Ra a Rz zaznamenáváme

při změně průměru obrobku. Příčinou zhoršení jakosti povrchu je rovněž zvýšení rychlosti posuvu. Parament RMs u broušených povrchů si zachoval téměř konstantní hodnoty, u soustružených povrchů byl rovněž ovlivněn změnou rychlosti posuvu.

Jako hlavní parametr ovlivňující kvalitu povrchu při soustružení lze označit rychlost posuvu nástroje. Pomocí experimentálního řešení by bylo možné zkvalitnit jakost povrchu jednotlivých vzorků, ovšem ani povrch vytvořený danou experimentální metodou by nedosažoval kvalitativních parametrů broušeného povrchu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOCMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. 1.vyd.. Brno, CERM s.r.o., 2011, ISBN 978- 80-7204-722-2
- [2] KOCMAN, Karel. *Speciální technologie: obrábění*. 3. přeprac. v dopl. vyd., V Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8.
- [3] MASLOV, J. N.: *Teorie broušení kovů*. 1st ed. SNTL Praha, 1979.
- [4] ŘASA, J., GABRIEL, V.: *Strojírenská technologie 3, 1. díl, Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha. Grafikon 2000. ISBN 80-7183-207-3
- [5] ČSN ISO 3002-5. *Základné veličiny pri rezaní a brúsení Časť 5: Základná terminológia brúsnych operácií používajúcich brúsiace kotúče*. [s.l.] : [s.n.], 1994.
- [6] *Tumlikovo.cz : Metal Cutting Technologies* [online]. 24.3.2011 [cit. 2017-04-21]. Drsnost obrobeneho povrchu. Dostupné z WWW: <<http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>>.
- [7] ČSN EN ISO 4287, *Geometrické požadavky na výrobku (GPS) - struktura povrchu. Profilová metoda - termíny, definice a parametry struktury povrchu.*, Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [8] HOLEŠOVSKÝ, F.: *Broušení a jeho vliv na vlastnosti povrchu*. VŠB-TU Ostrava, 2007, ISBN 978-80-248-1644-9.
- [9] HUMÁR, A.; *Technologie I, Technologie obrábění – 3. část, Interaktivní multimediaální text pro bakalářský a magisterský studijní program*, vyd.. Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2005
- [10] Doc. Anna Kotlanová, „Drsnost povrchu“.
- [11] KOCMAN, Karel; PROKOP, Jaroslava. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Vysoké učení technické v Brně : Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s.
- [12] GRZESIK, W. *Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications*. 2008. ISBN 978-0-08-044534-2.

[13] ČSN EN ISO 4288, Geometrické požadavky na výrobku (GPS) - struktura povrchu. Profilová metoda - pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu., Praha: Český normalizační institut, 1999.



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$a_e$	radiální záběr [mm]
$Al_2O_3$	oxid hlinitý [-]
$b_D$	šířka brousícího kotouče [mm]
$C_m$	konstanta charakterizující broušený materiál [-]
$D$	vnější průměr kotouče [mm]
$D_{max}$	maximální průměr brousícího kotouče [mm]
$d_{S1}$	vstupní průměr brousícího kotouče [mm]
$D_w$	průměr obrobku [mm]
$F$	celková řezná síla [N]
$f_a$	axiální posuv [mm.zdvih <sup>-1</sup> ]
$F_c$	síla působící mezi kotoučem a obrobkem ve směru řezné rychlosti [N]
$F_f$	síla působící mezi kotoučem a obrobkem ve směru podélného posuvu [N]
$F_p$	síla působící mezi kotoučem a obrobkem kolmá k broušené ploše [N]
$H$	průměr upínací díry kotouče [mm]
HSS	rychlořezná ocel [-]
$h_{eq}$	ekvivalentní tloušťka broušení [mm]
Mg	magnezit [-]
$n_s$	frekvence otáčení brousícího kotouče [ot.s <sup>-1</sup> ]
$n_w$	frekvence otáčení obrobku [ot.s <sup>-1</sup> ]
$Q_s$	rychlost opotřebení brousícího kotouče [mm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
Ra,Pa,Wa	průměrná aritmetická úchylka profilu [μm]
Re	mez kluzu [MPa]
Rm	mez pevnosti [MPa]
Rz,Pz,Wz	největší výška profilu [μm]

---

R <sub>Sm</sub>	průměrná šířka profilu [ $\mu\text{m}$ ]
SiC	karbid křemíku [-]
t	čas broušení [s]
T	šířka kotouče [mm]
VBD	vyměnitelná břitová destička [-]
$v_c$	řezná rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$v_f$	posuvová rychlost [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
$v_{fa}$	axiální rychlost posuvu stolu [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
$v_{fr}$	radiální rychlost posuvu [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
$v_{ft}$	tangenciální rychlost posuvu stolu [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
$V_S$	objemové opotřebení brusného kotouče [ $\text{mm}^3\text{s}^{-1}$ ]
$v_w$	rychlost obrobku [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
$Z_p$	výška nejvyššího výstupku [ $\mu\text{m}$ ]
$Z_v$	hloubka nejnižší prohlubně [ $\mu\text{m}$ ]
$\alpha_n$	normálový úhel hřbetu [rad]
$\Delta r_S$	tloušťka opotřebení brousícího kotouče [mm]
$\gamma_n$	normálový úhel čela [rad]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Model záběru brousícího zrna [1].....	14
Obr. 2 Rozložení řezných sil při obvodovém axiálním broušení do kulata [11] .....	15
Obr. 3 Způsoby obvodového broušení [2] .....	20
Obr. 4 Způsoby čelního broušení [2] .....	20
Obr. 5 Broušení do kulata axiálním broušením [4] .....	21
Obr. 6 Broušení do kulata axiálním hloubkovým broušením [4] .....	22
Obr. 7 Broušení do kulata zápichovým způsobem [4].....	22
Obr. 8 Broušení do kulata bezhrotým zápichovým způsobem [4] .....	22
Obr. 9 Broušení do kulata bezhrotým axiálním způsobem [4] .....	23
Obr. 10 Vnitřní broušení do kulata podélným způsobem [4] .....	23
Obr. 11 Vnitřní broušení do kulata zápichovým způsobem [4].....	23
Obr. 12 Broušení vnitřní drážky zápichovým způsobem[4].....	24
Obr. 13. Vnitřní broušení do kulata planetovým způsobem[4] .....	24
Obr. 14 Vnitřní broušení do kulata bezhrotým způsobem.....	24
Obr. 15 Rovinné broušení a) obvodem kotouče, b) čelem kotouče, c) brousícím pásem [4] .....	25
Obr. 16 Požadavky na chlazení a mazání z hlediska metod obrábění [2] .....	40
Obr. 17 Kompletní značení drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 1302.....	45
Obr. 18 Průměrná aritmetická úchylka profilu [7] .....	46
Obr. 19 Největší výška profilu [7] .....	47
Obr. 20 Hrotový soustruh SUI 50 .....	51
Obr. 21 Mechatronický soustruh Chevalier FCL 2160.....	52
Obr. 22 Detail sklíčidla a otočné nožové hlavy soustruhu .....	52
Obr. 23 Hrotová bruska TOS 2UD .....	53
Obr. 24 Měřicí přístroj Taylor Hobson Form Talysurf 50 při měření drsnosti vzorku oceli ČSN 12050 .....	54
Obr. 25 Měřicí přístroj Taylor Hobson Form Talysurf 50 s monitorem zobrazujícím výsledky měření .....	55
Obr. 26 Materiál z ČSN 11600 .....	56
Obr. 27 Materiál z ČSN 12050 .....	57
Obr. 28 Výkres pro přípravu vzorků I. a II. ....	58
Obr. 29 Výkres pro přípravu vzorků III. a IV. ....	58

Obr. 30 Značení vzorků z oceli ČSN 11600 a ČSN 12050 .....	59
Obr. 31 Vzorky soustružení na SUI 50.....	60
Obr. 32 Soustružení vzorku č. III. dle výkresové dokumentace.....	60
Obr. 33 Vyměnitelné břitové destičky Iscar z SK .....	61
Obr. 34 Středící navrtávací vrták z HSS typu A.....	61
Obr. 35 Příprava soustružení vzorku č. IV. ....	62
Obr. 36 Soustružení vzorku č. IV. ....	62
Obr. 37 Výkres pro dokončení vzorků I. a II. s popisky.....	63
Obr. 38 Výkres pro dokončení vzorků III. a IV. s popisky .....	63
Obr. 39 VBD Walter DCMT11T304-MP4.....	63
Obr. 40 Orovnávání brousícího kotouče diamantovým orovnávačem .....	64
Obr. 41 Broušení vzorku č. III. ....	64
Obr. 42 Připravený vzorek č. III. na měření drsnosti .....	66
Obr. 43 Upevnění vzorku k měřicímu stolu .....	66
Obr. 44 Zobrazení nezpracovaného profilu .....	67
Obr. 45 Zobrazení zpracovaného profil s parametry jakosti povrchu .....	67
Obr. 46 Porovnání Ra vzorků č. I. a II.....	72
Obr. 47 Porovnání Rz vzorků č. I. a II.....	72
Obr. 48 Porovnání RSm vzorků č. I. a II. ....	73
Obr. 49 Porovnání Ra vzorků č. III. a IV. ....	73
Obr. 50 Porovnání Rz vzorků č. III. a IV. ....	74
Obr. 51 Porovnání RSm vzorků č. III. a IV.....	74
Obr. 52 Porovnání Ra všech vzorků .....	75
Obr. 53 Porovnání Rz všech vzorků .....	75
Obr. 54 Porovnání RSm všech vzorků.....	76

**SEZNAM TABULEK**

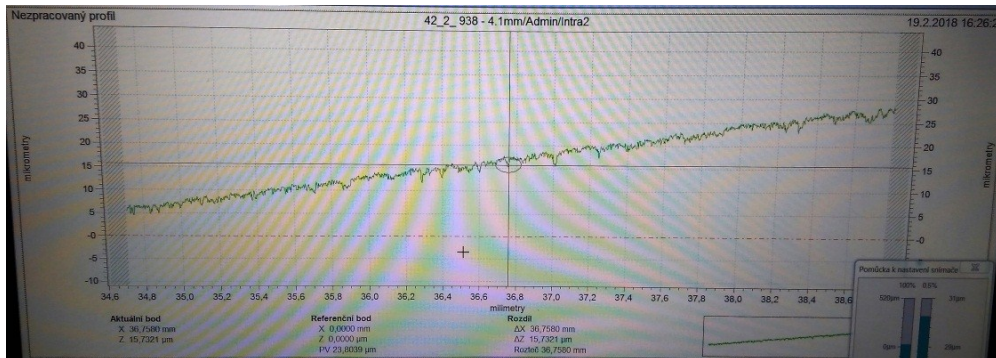
Tab. 1 Značení brousících kotoučů[11] .....	26
Tab. 2 Specifikace brousících materiálů Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> a SiC dle ČSN 22 4501 a podle ČSN ISO 525 (22 4503) [11] .....	27
Tab. 3 Značení tvarů a rozměrů brousících kotoučů [11].....	29
Tab. 4 Doporučené řezné kapaliny pro různé metody obrábění[2] .....	37
Tab. 5 Doporučené množství řezné kapaliny pro různé metody obrábění [2].....	40
Tab. 6 Drsnost povrchu dosahovaná při různých typech obrábění [6] .....	43
Tab. 7 Hodnoty úchylek Ra a Rz v μm udávané ve výkresové dokumentaci .....	44
Tab. 8 Drsnost povrchu vztažena k rozměrům a rozměrovým přesnostem součásti [6] .....	46
Tab. 9 Specifikace hrotového soustruhu SUI 50 .....	50
Tab. 10 Specifikace soustruhu Chevalier FCL 2160 .....	51
Tab. 11 Specifikace univerzální hrotové brusky TOS 2UD .....	53
Tab. 12 Značení oceli ČSN 11600 .....	56
Tab. 13 Značení oceli ČSN 12050 .....	57
Tab. 14 Brousící kotouč Tyrolit.....	65
Tab. 15 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku č. I.....	68
Tab. 16 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku č. II. ....	69
Tab. 17 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku č. III. ....	70
Tab. 18 Naměřené hodnoty drsnosti vzorku č. IV.....	71

## SEZNAM PŘÍLOH

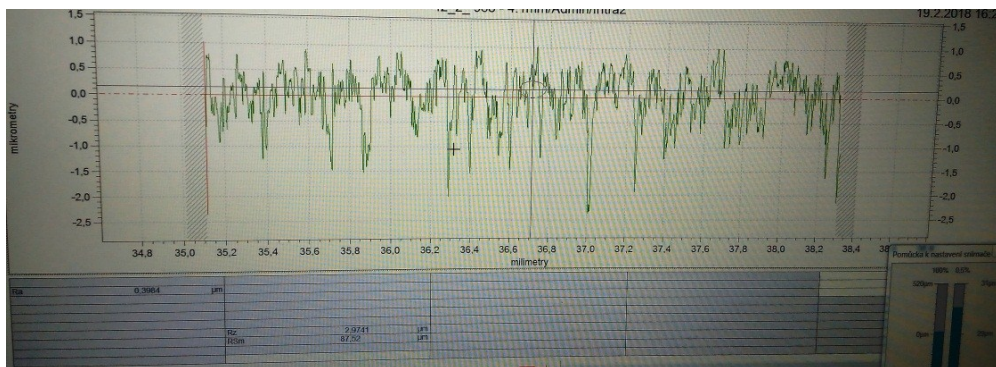
P I – Reprezentativní grafické zobrazení struktury povrchu jednotlivých vzorků

# PŘÍLOHA P I: REPREZENTATIVNÍ GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ STRUKTURY POVRCHU JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ

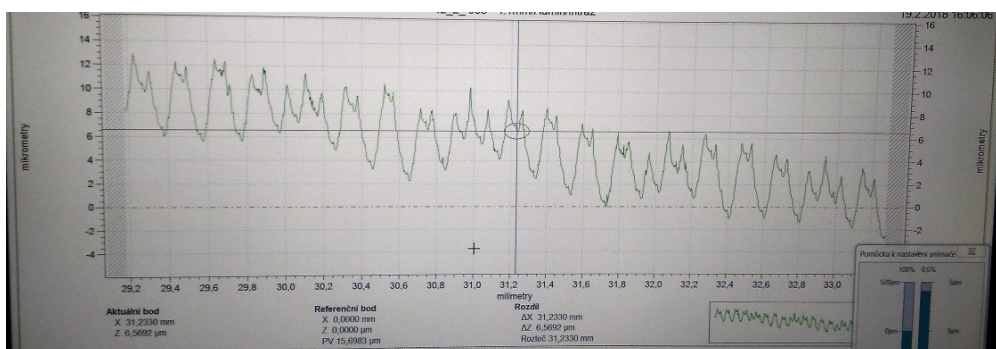
Vzorek č. I\_broušená část\_nezpracovaný profil



Vzorek č. I\_broušená část\_zpracovaný profil

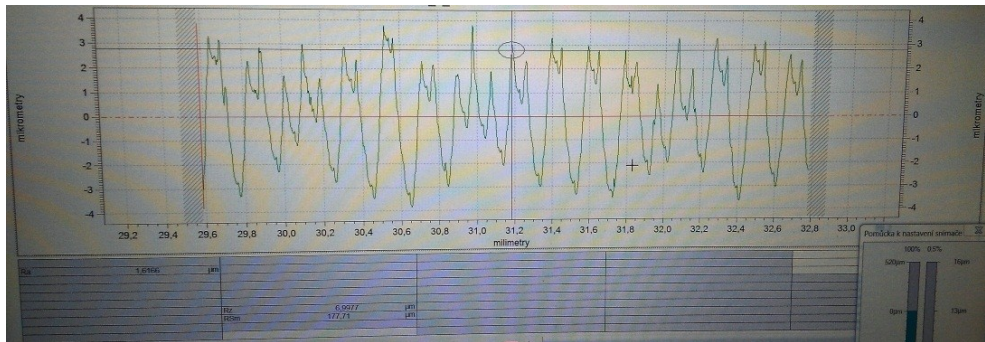


Vzorek č. I\_soustružená část\_nezpracovaný profil

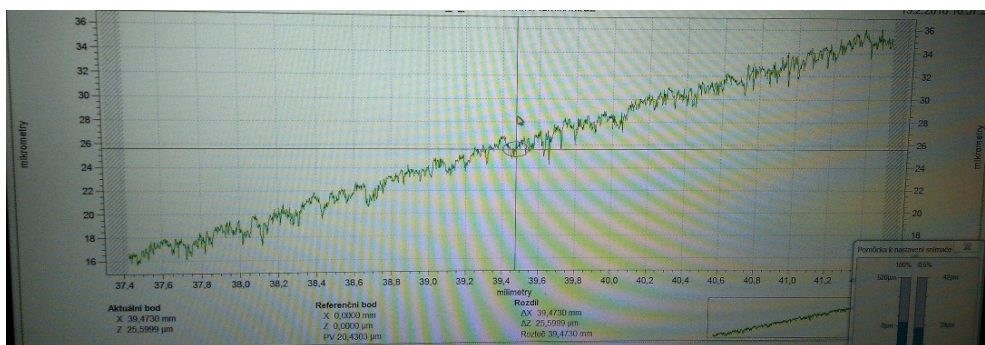




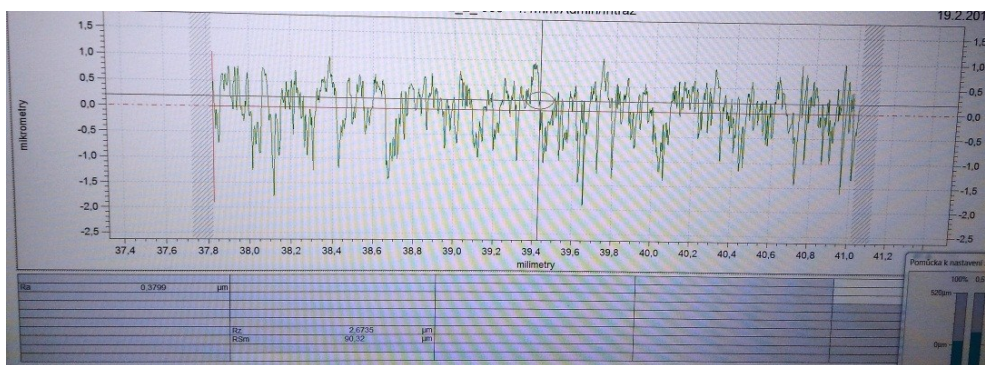
Vzorek č. I\_soustružená část\_zpracovaný profil



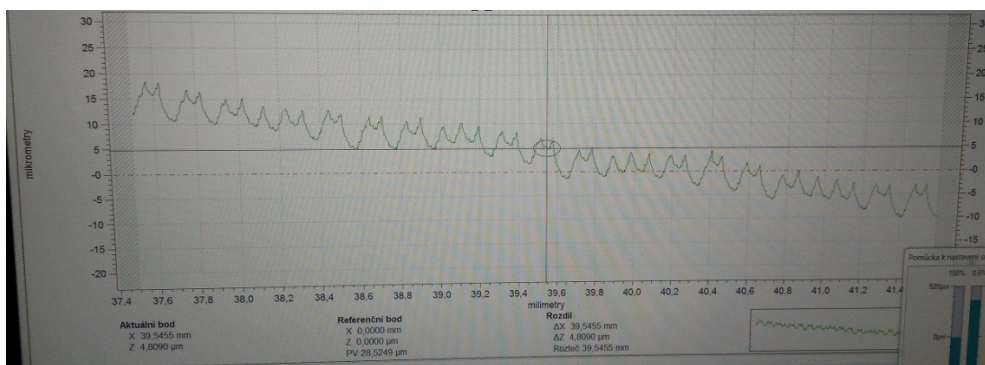
Vzorek č. II\_broušená část\_nezpracovaný profil



Vzorek č. II\_broušená část\_zpracovaný profil

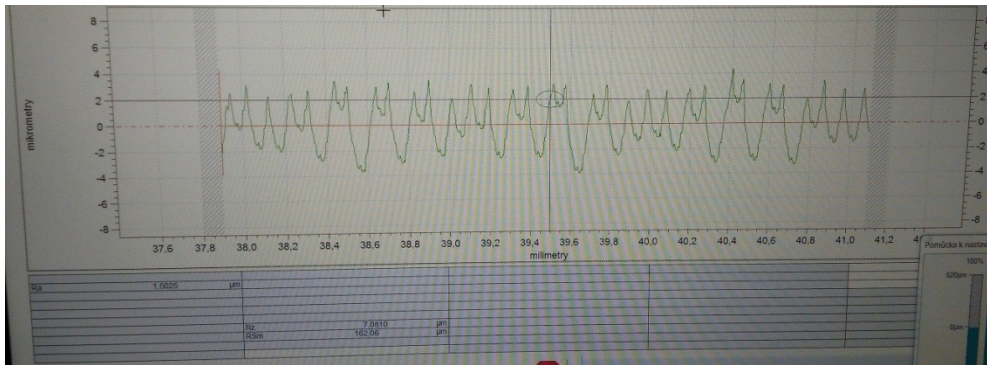


Vzorek č. II\_soustružená část\_nezpracovaný profil

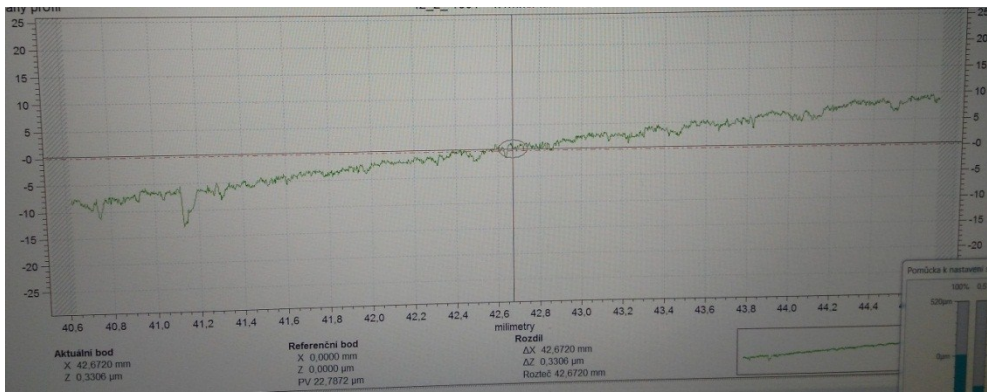




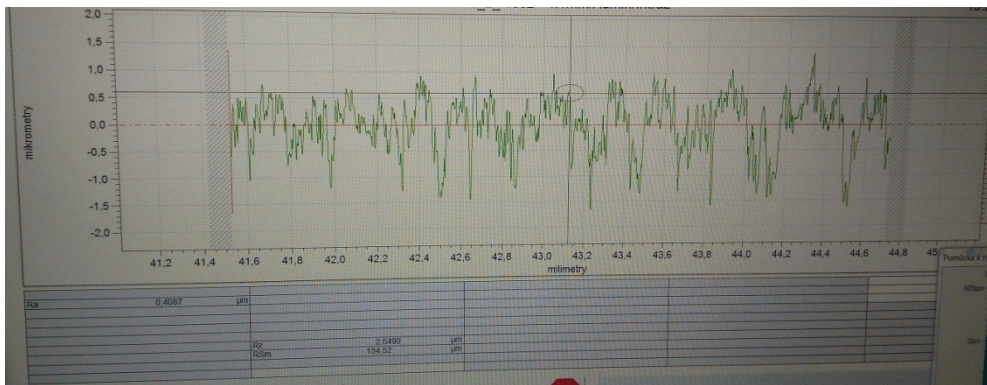
Vzorek č. II\_soustružená část\_zpracovaný profil



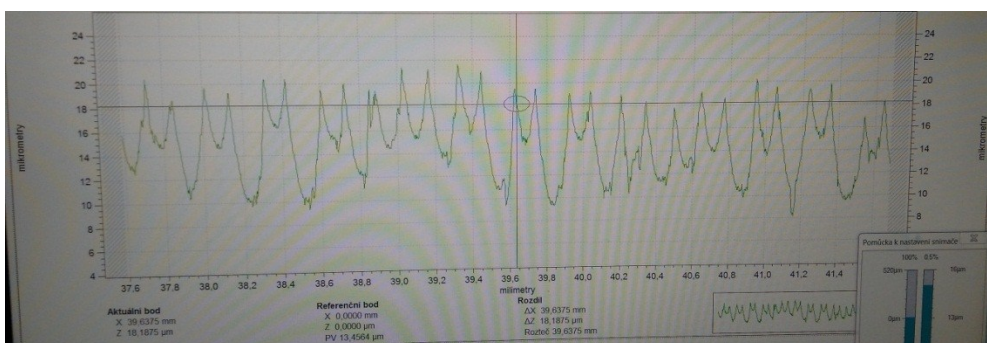
Vzorek č. III\_broušená část\_nezpracovaný profil



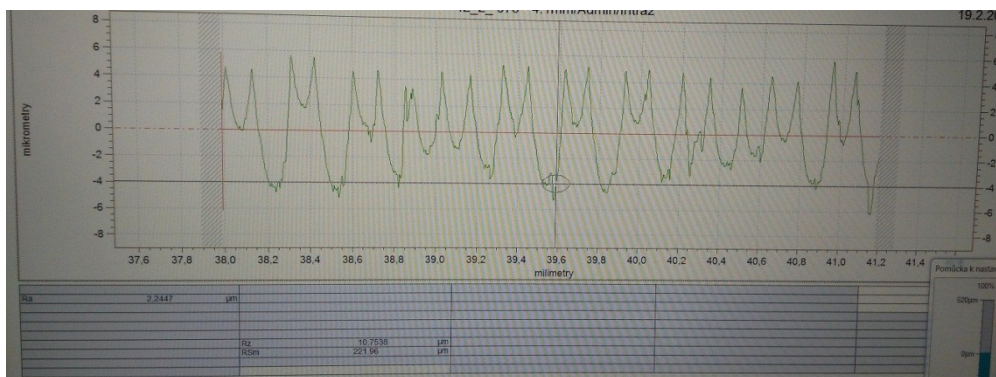
Vzorek č. III\_broušená část\_zpracovaný profil



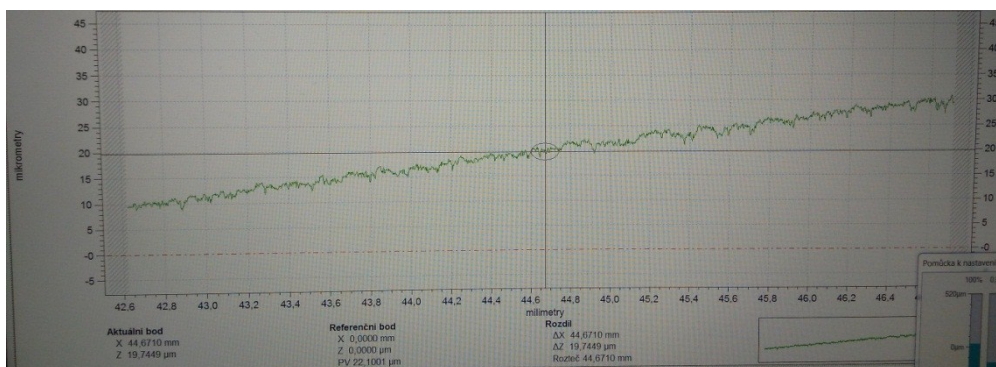
Vzorek č. III\_soustružená část\_nezpracovaný profil



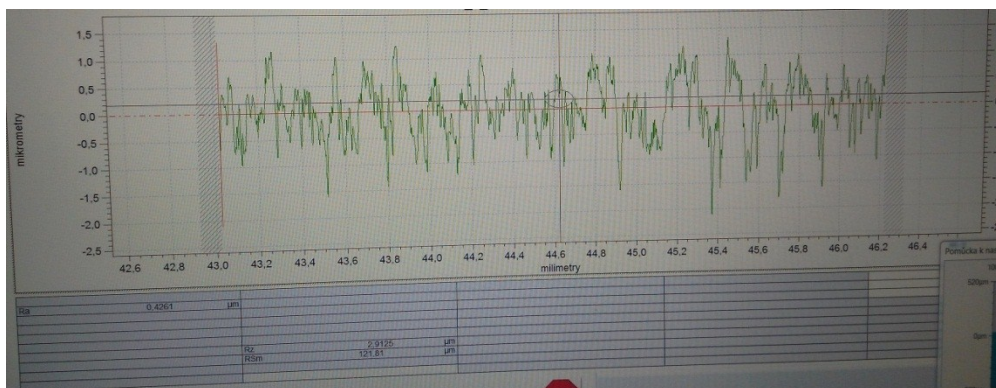
Vzorek č. III\_soustružená část\_zpracovaný profil



Vzorek č. IV\_broušená část\_nezpracovaný profil

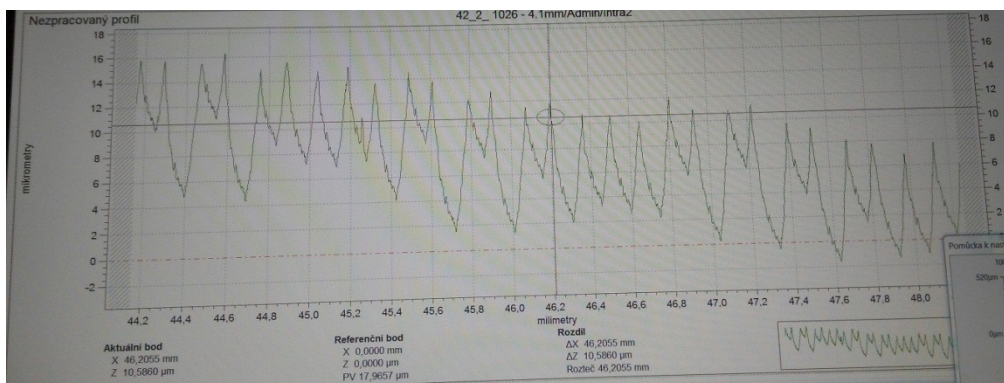


Vzorek č. IV\_broušená část\_zpracovaný profil





Vzorek č. IV\_soustružená část\_nezpracovaný profil



Vzorek č. IV\_soustružená část\_zpracovaný profil

