

# DYNAMICKÁ OBROBITELNOST KOVŮ A PLASTŮ PŘI VRTÁNÍ

Ondřej Mikeska

---

Bakalářská práce  
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej MIKESKA**  
Osobní číslo: **T08629**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Dynamická obrobiteľnosť kovů a polymerů při vrtání**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte studium literatury z oblasti obrobiteľnosti materiálů
2. Hodnoťte teorii a technologii vrtání
3. Určete vliv technologických podmínek na síly při vrtání

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Buda,J.;Souček,J.;Vasilko,K.: Teoria obrábania. Alfa Bratislava. 1988

Kocman,K.;Prokop,J.: Technologie obrábění. CERM Brno. 2006

Jurko,J.;Lukovics,I.: Vrtanie. UTB ve Zlíně. 2007

Václavovič,A.: Vrtání kovů. SNTL Praha. 1966

Lukovics,I.: Konstrukční materiály a technologie. ES VUT Brno. 1986

Vedoucí bakalářské práce:

**prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**14. února 2011**

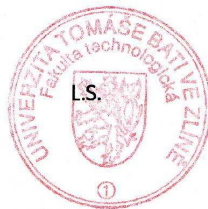
Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2011**

Ve Zlíně dne 7. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: MIKESKA ONDŘEŠ

Obor: TECHNOLOGICKÁ ZARÍZENÍ

## 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, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 14. 7. 2011

Mikeska Ondřej

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

<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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá dynamickou obrábitelností kovů a plastů při vrtání. Vrtání probíhalo na dílenské školní převodové vrtačce B40 GSM. Vrtalo se do třech různých materiálů a to oceli 11 600, PA66 a PMMA. Měnily se průměry a materiály vrtáků, posuv a technologické podmínky. Během vrtání se měřily posuvové síly. Poté se zjišťovala drsnost a určoval se vliv technologických podmínek na charakteristiky povrchů.

Klíčová slova: vrták, vrtání, posuv, posuvová síla

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis with accuracy of dynamic workability metals and plastic of drilling. Drilling were proceeded on school drilling machine B40 GSM. Drilled into the free different materials, steel 11 600, PA66 and PMMA. During drilling were chnaged diameters and materials drills and technological conditions. During drilling feed forces were measured. Then was examined roughness surface and an influence of technological conditions on surfaces characteristics has been determined.

Keywords: drill, drilling, feed, feed force

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu prof. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za odborné vedení a cenné připomínky během vypracování.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Šálkovi za pomoc poskytnutou v laboratořích a panu Ing. Luboši Rokytovi za seznámení s přístrojem pro měření drsnosti a programem pro měření posuvových sil.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY .....	12
1.1.1 Zóna řezání .....	13
1.1.2 Obráběcí stroje .....	13
1.1.2.1 Druhy obráběcích strojů.....	13
1.1.3 Řezné nástroje .....	16
1.1.3.1 Nástrojové materiály .....	17
1.1.4 Obrobek.....	17
1.2 INTERAKCE NÁSTROJ – OBROBEK.....	18
1.2.1 Parametry řezání.....	18
1.3 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY PROCESU ŘEZÁNÍ .....	19
1.3.1 Třísky a jejich technologické charakteristiky .....	20
1.3.1.1 Nárůstek a jeho vliv na řezný proces .....	22
<b>2 VRTÁNÍ</b> .....	<b>24</b>
2.1 HISTORIE VRTÁNÍ A PROCESU ŘEZÁNÍ.....	24
2.2 TECHNOLOGICKÝ SYSTÉM PRO VRTÁNÍ.....	25
2.3 TECHNOLOGICKÁ METODA VRTÁNÍ.....	26
2.3.1 Jevy procesu řezání .....	27
2.3.1.1 Kinematické charakteristiky při vrtání.....	27
2.3.1.2 Dynamické charakteristiky při vrtání.....	29
2.3.2 Vrtací nástroje .....	31
2.3.3 Vrtací stroje .....	35
2.3.4 Tvoření a tvarování třísky při vrtání.....	35
2.4 TECHNOLOGIE VÝROBY DĚR .....	36
<b>3 ŘEZNÁ SÍLA A JEJÍ MĚŘENÍ</b> .....	<b>38</b>
3.1 ŘEZNÁ SÍLA .....	38
3.2 MĚŘENÍ ŘEZNÉ SÍLY .....	39
3.2.1 Nepřímé měření sil a momentů .....	40
3.2.1.1 Stanovení tangenciální složky z výkonu .....	40
3.2.1.2 Stanovení tangenciální složky síly obrábění z kroutícího momentu....	40
3.2.2 Přímé měření sil a momentů .....	41
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>44</b>
<b>4 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>45</b>
<b>5 VRTÁNÍ, MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU, MĚŘENÍ ŘEZNÝCH SIL POMOCÍ DYNAMOMETRU</b> .....	<b>46</b>



5.1	VRTÁNÍ .....	46
5.2	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU .....	47
5.3	MĚŘENÍ ŘEZNÝCH SIL POMOCÍ DYNAMOMETRU .....	48
<b>6</b>	<b>VRTANÝ MATERIÁL .....</b>	<b>49</b>
6.1	OCEL 11 600 .....	49
6.2	PA66.....	49
6.3	PMMA.....	49
<b>7</b>	<b>ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT .....</b>	<b>50</b>
7.1	VLIV POSUVU NA DRSNOST VRTANÝCH DĚR .....	50
7.1.1	Materiál - Polymethylmethakrylát – PMMA.....	50
7.1.2	Materiál – Polyamid – PA66.....	55
7.1.3	Materiál – Ocel 11 600.....	60
7.1.4	Porovnání drsností povrchu se změnou řezné rychlosti $v_c$ u oceli 11600, PA66 a PMMA.....	65
7.2	VLIV POSUVU NA POSUVOVOU SÍLU VRTANÝCH DĚR.....	66
7.2.1	Materiál – Polymethylmethakrylát – PMMA.....	66
7.2.2	Materiál – Polyamid – PA66.....	69
7.2.3	Materiál – ocel 11 600.....	73
7.2.4	Porovnání posuvových sil se změnou řezné rychlosti pro ocel 11 600, PA66 a PMMA.....	78
7.2.5	Porovnání drsností $R_a$ povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku.....	78
7.2.6	Porovnání posuvových sil povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku.....	80
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>82</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>92</b>

## ÚVOD

Technologie obrábění, kam se řadí spousta technologických procesů jako jsou soustružení, frézování, vrtání atd. je vědní obor, který měl a bude mít své uplatnění při zpracování polotovarů na hotové výrobky. Je to proces, který je starý celá tisíciletí, ale až v posledních několika desítkách let došlo k obrovskému rozvoji, což přispělo ke zvýšení přesnosti obrobků a snížení nákladů související s výrobou. V dnešní době je novinkou, že řada obráběcích strojů je propojena a řízena počítačem, čím došlo ke zvýšení produktivity práce a hospodárnosti výroby.

K dalšímu rozmachu došlo v oblasti materiálů využívaných pro konstrukce výrobků. Zejména se začaly hodně využívat plasty (polymery) díky jejich výborným vlastnostem, mezi které patří například jejich obrobiteľnosť, nízká hmotnosť, odolnosť proti korozi a hlavně nižší zpracovatelské náklady ve srovnání s kovy. Plasty během krátké doby našly své uplatnění v mnoha odvětvích průmyslu jako jsou automobilový průmysl, potravinářský průmysl atd.

Proto ve své bakalářské práci zkoumám dynamickou obrobiteľnosť kovů a plastů při vrtání. První část, kterou je část teoretická jsem rozdělil do třech bodů. První bod popisuje obrábění jako celek - základní pojmy v obrábění, obráběcí stroje a nástroje. Druhá část je zaměřena na konkrétní metodu obrábění, kterou je vrtání. A ve třetí části je popis posuvových sil vzniklých při vrtání a metody využívané pro jejich měření.

Druhou částí je část praktická, ve které jsou zobrazeny a porovnávány naměřené hodnoty pro jednotlivé materiály.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 OBRÁBĚNÍ

Technologie obrábění je vědní obor, který zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu jako integrální složky výrobního procesu strojírenských součástí.

[1]

## 1.1 Základní pojmy

Obrábění kovů popř. plastů je technologický proces, kterým se vytváří požadovaný tvar obráběného předmětu (obrobku), v daných rozměrech a v daném stupni přesnosti těmito způsoby:

- **tradiční**
  - třískové mechanické obrábění
  - řezání
- **netradiční** nazývané též jako nekonvenční obrábění
  - elektrickými výboji
  - chemické
  - světelnými paprsky – laserem

Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Oddělování materiálu obrobku se specifikuje jako řezání respektive řezný proces. Dle způsobu oddělování můžeme řezný proces rozdělit na:

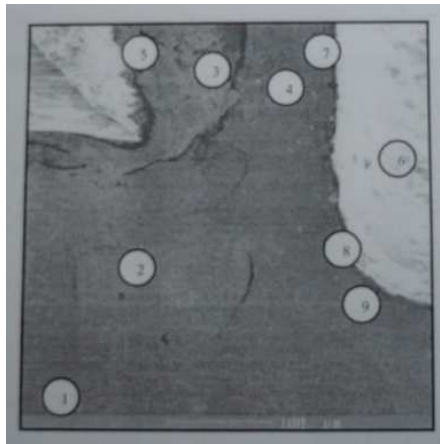
- kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání)
- diskontinuální (hoblování, obrážení)
- cyklický (frézování, broušení) [1]

Technologie obrábění se realizuje v soustavě *stroj* → *přípravek* → *nástroj* → *obrobek*

(tzv. soustava SPID – dle normy ČSN 22 0010). Stroje zařazené do této soustavy se nazývají **obráběcí stroje**, přípravky a nástroje – **řezné nástroje** a objekty technologického zpracování nesou název **obrobky**. [2]

### 1.1.1 Zóna řezání

Proces řezání se koncentruje do oblasti kontaktu řezné hrany nástroje s obráběným materiálem. Tuto část tvoří tzv. zóna řezání. V této zóně se uskutečňují přeměny obrobku, který na začátku procesu změn má jiný tvar jako po jejich skončení. [2]



Obr. 1. zóna řezání [4]

1 – nedeformovaná struktura materiálu; 2 – oblast plastické deformace definované šířky; 3 – střední část třísky s vysokým stupněm zpevnění; 4 – oblast třísky deformovaná účinkem třecích sil; 5 – volná plocha třísky nepravidelného tvaru; 6 – břit nástroje; 7 – kontaktní kluzná plocha mezi třískou a nástrojem určující mechanismy opotřebenosti čelní plochy řezné části nástroje; 8 – nárůstek na hrotě řezné části nástroje resp. kinematically neutrální vrstva; 9 - kontaktní kluzná plocha mezi povrchem po řezu a hřbetovou plochou řezné části nástroje [4]

### 1.1.2 Obráběcí stroje

Obráběcí stroj se řadí mezi základní prvky soustavy SPID. Realizuje se v něm vlastní obráběcí proces. Jeho technologické vlastnosti ovlivňují výsledný efekt obráběcího procesu z hlediska jeho hospodárnosti a parametrů obrobenej plochy.

#### 1.1.2.1 Druhy obráběcích strojů

Obráběcí stroj lze charakterizovat z různých technologických hledisek, jako např. způsob obrábění, konstrukčně – technologického provedení, stupně mechanizace a automatizace apod.

Podle způsobu obrábění rozlišujeme stroje na:

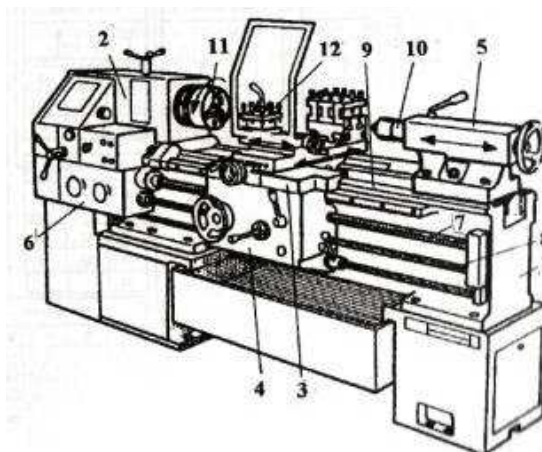
- soustružnické
- vyvrtávací
- frézovací
- hoblovací
- protahovací

Podle konstrukčně – technologického provedení máme stroje:

- univerzální (univerzální soustruhy, frézky, brusky)
- speciální (podtáčecí soustruh, závitové frézky, závitové brusky)
- jednoúčelové (stroje pro jednu operaci)

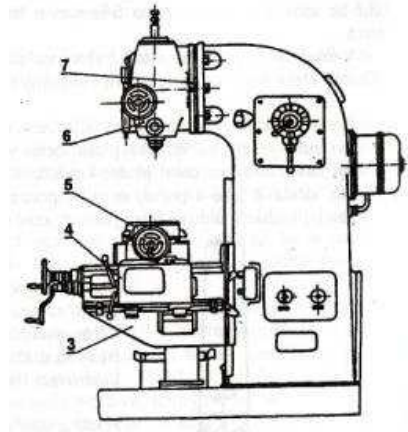
Podle stupně automatizace se používají stroje:

- ručně ovládané (řízení pomocí tlačítek, pák)
- poloautomatické (veškerá činnost obráběcího stroje je automatická, obsluha zasahuje pouze do upnutí polotovaru)
- automatické (automatizováno je i upnutí polotovaru a odebrání obrobenej součásti) [1]



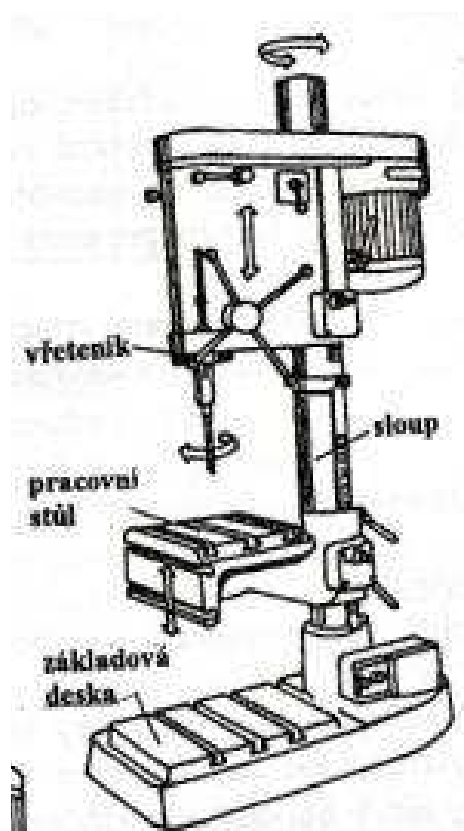
Obr. 2. Univerzální hrotový soustruh [1]

1 – lože; 2 – vřeteník; 3 – suport; 4 – suportová skříň; 5 – koník; 6 – posuvová převodovka; 7 – vodící šroub; 8 – vodící tyč; 9 – vodící plochy; 10 – hrotová objímka; 11 – sklíčidlo; 12 – otočná nožová hlava



Obr. 3. konzolová frézka svislá [1]

1 – základna; 2 – stojan; 3 – konzola; 4 – příčné saně; 5 – podélný pracovní stůl;  
6 – naklápěcí vřeteník; 7 – kruhová základna vřeteníku



Obr. 4. sloupová vrtačka [1]

### 1.1.3 Řezné nástroje

Nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, ostřími a rozměry ostří.

Při konstrukci nástroje se analyzuje a projektuje nástroj z více aspektů. Z hlediska regulace procesu řezání jevů nebo dějů, které probíhají v zóně řezání, je nejdůležitější řezná část.

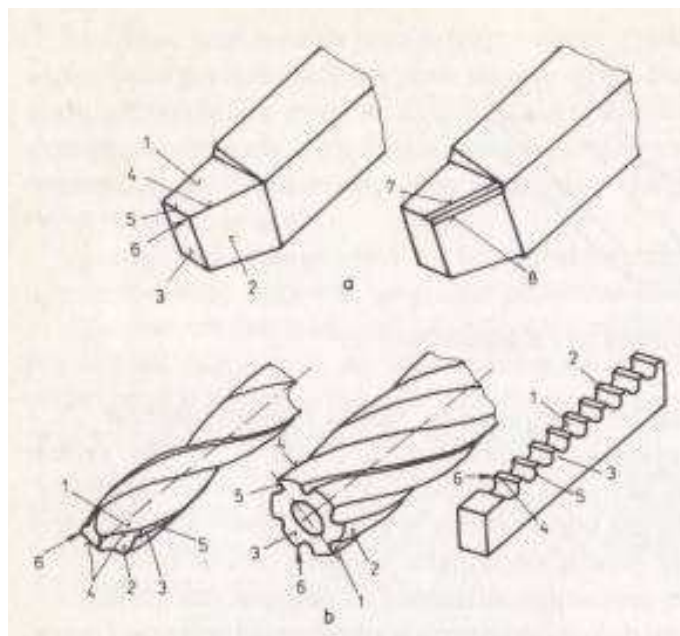
Řezná část je představována **řezným břitem**. Tvar tohoto břitu je charakterizován tvořícími plochami (čelní a hřbetní).

Čelní plocha – je plocha, po které jezdí tříska

Hřbetní plocha – se dotýká řezné plochy (hlavní), nebo je obrácená směrem k obrobené ploše (vedlejší).

Průsečnicí čelní a hřbetní plochy je řezná hrana. Tvar hřbetních a čelních ploch je dán typem nástroje. Na konci řezná hrana přechází v hrot.

Poloha ploch, které tvoří řezné hrany vychází z úhlů. Tyto se určují v rovinách vztažených na základní rovinu nástroje. [1] [2]



Obr. 5. plochy a hrany řezných nástrojů [2]

1 – čelo; 2 – hlavní hřbet; 3 – vedlejší hřbet; 4 – hlavní řezná hrana; 5 – vedlejší řezná hrana; 6 – hrot; 7 – fazetka na čele; 8 – fazetka na hřbetu



### 1.1.3.1 Nástrojové materiály

Na zvoleném materiálu nástroje závisí průběh a výstupy řezného procesu. K základním požadavkům na nástrojový materiál patří jeho:

- tvrdost
- odolnost proti opotřebení
- tepelná vodivost
- pevnost v ohybu
- houževnatost

Do nástrojových materiálů se řadí nástrojové oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, supertvrdé řezné materiály.

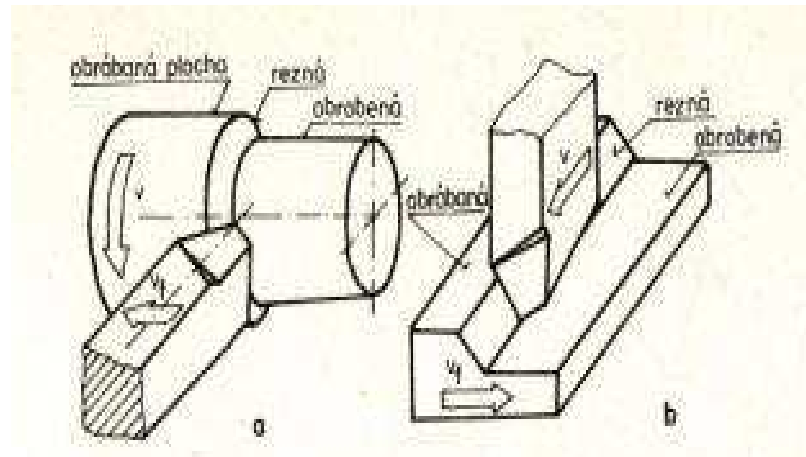
Avšak mezi nejpoužívanější patří nástrojová ocel. Značí se NO – jsou řazeny ve třídě 19 a jejich dělení je uvedeno v následující tabulce. [1]

Tab. 1. rozdělení a označování nástrojových ocelí [1]

Základní číselná značka	Význam třetí číslice v základní značce oceli	
19 0xx	Dvojčíslí ze 3. a 4. číslice vyjadřuje střední obsah uhlíku	Nástrojové oceli nelegované
19 1xx		
19 2xx		
19 3xx	oceli manganové, křemíkové, vanadové	Nástrojové oceli legované
19 4xx	oceli chromové	
19 5xx	oceli chrommolybdenové	
19 6xx	oceli niklové	
19 7xx	oceli wolframové	
19 8xx	oceli rychlořezné	
19 9xx	oceli volné	

### 1.1.4 Obrobek

Obrobek je výsledek řezného procesu. Z geometrického hlediska je charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou. [1]



Obr. 6. plochy obrobku při a) soustružení b) hoblování [2]

Obráběná plocha je plocha polovýrobku, kterou je třeba v procesu obrábění odstranit a nahradit novou plochou.

Přechodová plocha se vytváří bezprostředně za řeznou hranou nástroje.

Obrobená plocha je pak výsledkem obrábění zbytku řezné plochy. Tvar obráběné plochy závisí od tvaru polovýrobku. Dále tvar řezné plochy odpovídá trajektorii jednotlivých bodů řezné hrany v záběru v souřadnicové soustavě „obrobek“. Obrobená plocha vzniká jako obalová plocha částí řezné plochy. [2]

## 1.2 Interakce nástroj – obrobek

Důsledkem vzájemného působení nástroje a obrobku je vznik obrobeného povrchu a třísky. Charakteristiky této interakce závisí na parametrech řezání. [2]

### 1.2.1 Parametry řezání

Jsou to základní vstupní údaje v práci technologické soustavy

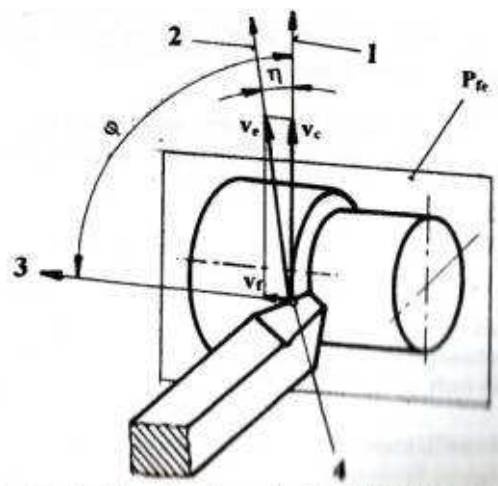
Patří sem:

- údaje o řezném pohybu
- velikost průřezu odebírané vrstvy

Vzájemný pohyb obrobku a nástroje tzv. **řezný pohyb** se skládá z:

- hlavního pohybu – je vždy stejný jako pohyb stroje, na který se spotřebuje převážná část výkonu motoru stroje. Při soustružení je to rotační pohyb obrobku, při vrtání a frézování je to rotační pohyb nástroje, při hoblování je to přímočarý pohyb obrobku.
- posuvu – je to relativní pohyb obrobku a nástroje, který umožňuje postupné odřezávání třísek. Posuv může být:
  - plynulý
  - přerušovaný
- přířuv – je to pohyb, který určuje hloubku odřezávané vrstvy materiálu

[1] [2]



Obr. 7. pohyb nástroje a obrobku při podélném soustružení [1]

1 - směr hlavního pohybu; 2 – směr řezného pohybu; 3 – směr posuvového pohybu;

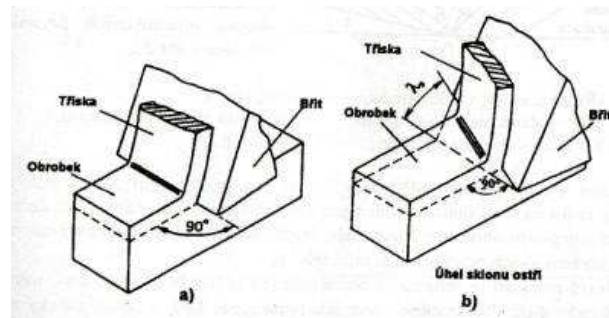
4 – uvažovaný bod ostří;  $P_{fe}$  – pracovní boční rovina;  $v_c$  – řezná rychlost;  $v_f$  – posuvová rychlost;  $v_e$  – rychlost řezného pohybu;  $\varphi$  – úhel posuvového pohybu;  $\eta$  – úhel řezného pohybu

### 1.3 Fyzikální základy procesu řezání

Řezný proces můžeme provádět jako řezání:

- ortogonální

- obecné



Obr. 8. realizace řezného procesu a) ortogonální řezání  
b) obecné řezání [1]

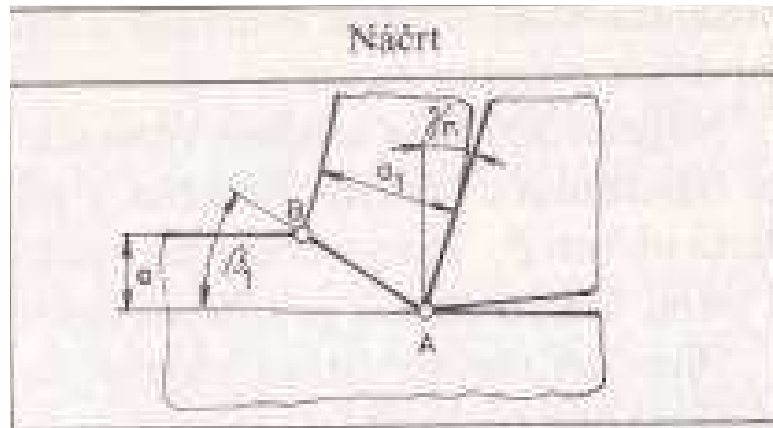
Ortogonální řezání – při tomto řezání je ostří nástroje kolmé na směr řezného pohybu a vzniklá problematika se řeší v rovině (zapichování, frézování nástrojem s přímými zuby)

Obecné řezání – u tohoto řezání se daná problematika řeší v prostoru (podélné soustružení, vrtání, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici) [1]

### 1.3.1 Třísky a jejich technologické charakteristiky

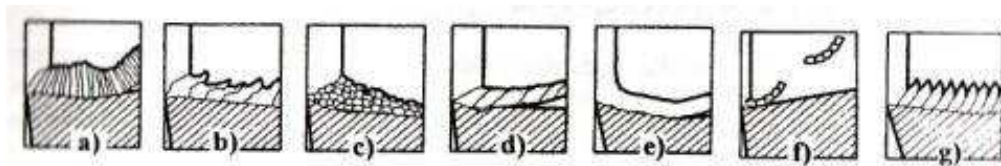
Třísky jsou části materiálu, které se řadí mezi vedlejší produkty řezného procesu. Ovšem jejich technologické charakteristiky nám dávají poznatky o průběhu procesu řezání jak z energetického hlediska, tak i z hlediska jejich řízeného odchodu z řezné zóny.

Nejjednodušší model tvoření třísky předpokládá, že odříznutí třísky probíhá v jedné tzv. **střížné rovině**. Její poloha je dána úhlem  $\beta_1$ . Tento model předpokládá tvorbu plynulé třísky bez nárůstku s velmi úzkou zónou primární deformace, která se zjednodušuje na rovinu (viz. obr. 8.) [1] [2]



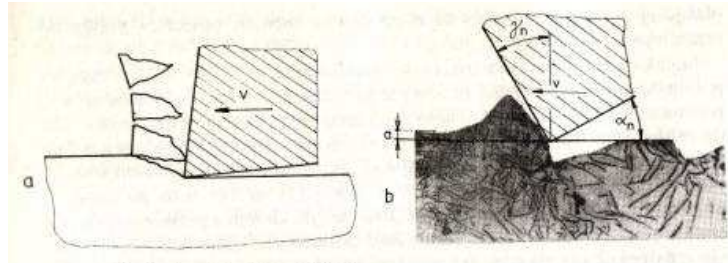
Obr. 9. model tvorby třísky s rovinou skluzu [2]

Následující obrázky zobrazují tvary třísek v závislosti na průběhu řezného procesu

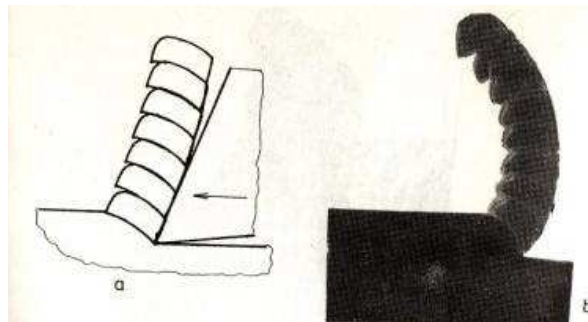


Obr. 10. základní druhy tvářených třísek při obrábění kovů [1]

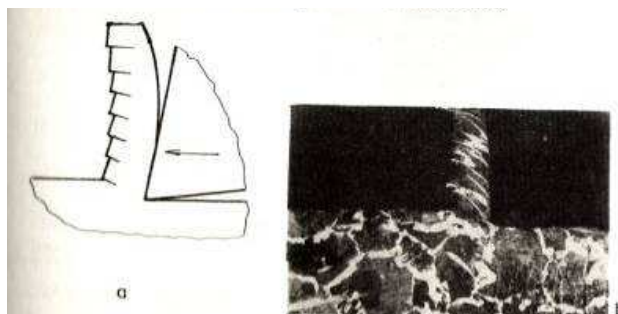
- a) – plynulá článkovitá soudržná tříska, vzniká u většiny ocelí
- b) – plynulá soudržná lamelová tříska, vzniká u většiny korozivzdorných ocelí
- c) – tvářená elementární tříska, vzniká u většiny litin
- d) – nepravidelně článkovitá plynulá tříska, vzniká u vysoce legovaných mat.
- e) – tvářená plynulá soudržná tříska, vzniká při malých řezných silách
- f) – dělená segmentová tříska, vzniká při velkých řezných silách
- g) – plynulá segmentová tříska, vzniká při obrábění titanu



Obr. 11. vznik elementární tvářené třísky a) – náčrt b)- fotografie zóny řezání (obrábění šedé litiny) [2]



Obr. 12. vznik článkovité třísky a) – náčrt b) – tvoření třísky při obrábění oceli 12 050.1 [2]



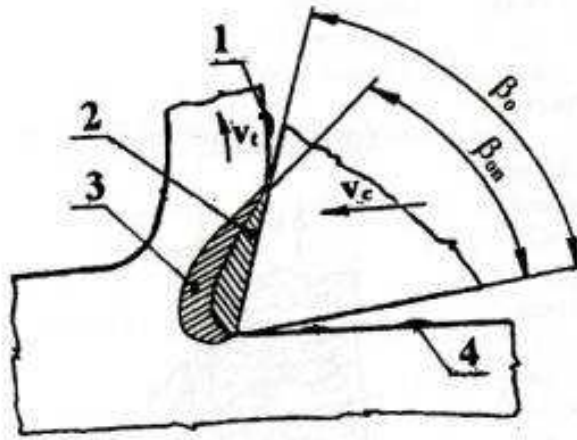
Obr. 13. vznik plynulé třísky a) náčrt b) tvoření třísky při obrábění oceli 14 220 [2]

### 1.3.1.1 Nárůstek a jeho vliv na řezný proces

Odřezávaný materiál je z větší části spojený s hmotou třísky, ale část materiálu neodchází se vznikající třiskou, ale zůstává na břitu nástroje.

Nárůstek je nestabilní, vzniká a zaniká s proměnlivou frekvencí. Při zániku částice nárůstku ulpívají na třisce => způsobují vyšší opotřebení čela nástroje. Jiné částice nárůstku zase ulpívají na obrobene ploše => poškozují ji a zhoršují její jakost.

Zabránění vzniku nárůstku je možné změnou řezných podmínek, použitím vhodné řezné kapaliny, lapováním čelní plochy nástroje apod. [2]



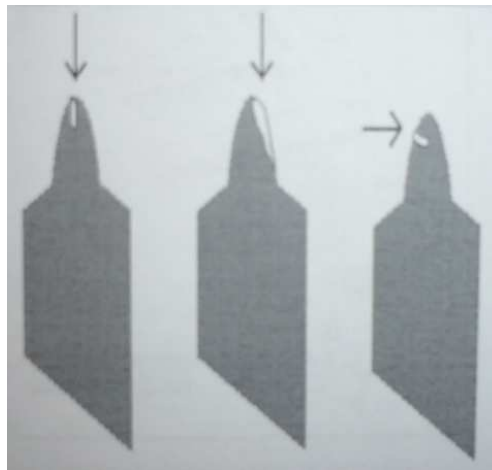
Obr. 14. tvorba a rozpad nárůstku [1]

- 1 – částice nárůstku odcházejí s třískou
- 2 – stabilní část nárůstku
- 3 – nestabilní část nárůstku
- 4 – částice nárůstku ulpívající na obrobené ploše
- $\beta_{on}$  – ortogonální úhel břitu vytvořený nárůstkem

## 2 VRTÁNÍ

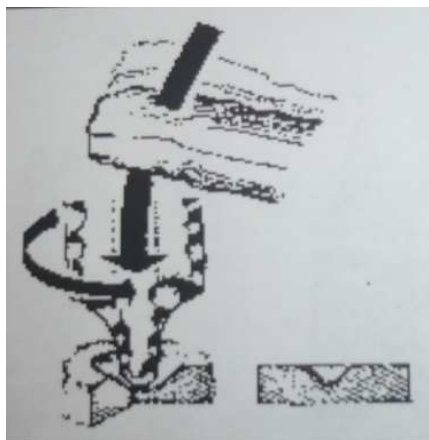
### 2.1 Historie vrtání a procesu řezání

Vrtání a tudíž výroba děr má dlouhou historii. Vrtání vzniklo někdy v době paleolitu. Materiál na výrobu řezných nástrojů byl primitivní, používaly se kosti zvířat a kameny.



Obr. 15. první základní tvary řezných břitů z kamene pro výrobu děr [3]

Z počátku bylo vrtání velmi obtížné, protože obrobek se při práci přidržoval ručně, popřípadě mechanickým suportem. Z toho vyplývá, že práce při vrtání vyžadovala nejen velké umění, ale i velkou fyzickou sílu lidí.



Obr. 16. základní princip vrtání [3]



Výrazný pokrok bylo vymyšlení tzv. **lukového principu** asi 2500 let před naším letopočtem, který přinesl rozvoj pro technologickou metodu vrtání.



Obr. 17. lukový princip vrtání [3]

Postupem času se tvar vrtáků zlepšil, ale geometrie byla stále primitivní a pracovní činnost nedostatečná. Velký krok vpřed ve vývoji procesu řezání bylo použití parního stroje jako zdroje energie pro pohyb předmětu. Dále byly vynalezeny nové druhy nástrojů jako např. šroubovitě vrtáky, vrtací tyče, závitníky, závitové čelisti atd.

S vývojem procesu se vyžadovaly nové teoretické poznatky. Bylo potřeba znalostí fyzikálních a tepelných jevů při řezání. Vyžadovaly se i znalosti o vlastnostech a opotřebování řezných částí nástrojů. První experimentální a teoretické práce z procesu vrtání se objevily v první polovině 19. století. Zásahu na tom měli vědci Coquilhat (1848-1849, proces vrtání), Wiebe (1858, řezné tlaky), Brown (1861, zavedl do výroby frézovací stroje a urychlil tak výrobu drážek šroubových vrtáků), Clarinval (1862, vrtání bronzu), Morse (1863, patentoval spirálový typ vrtáku, kterým se zlepšil odvod třísky, ale z důvodu nízké odolnosti proti opotřebením měl malou životnost). [3]

## 2.2 Technologický systém pro vrtání

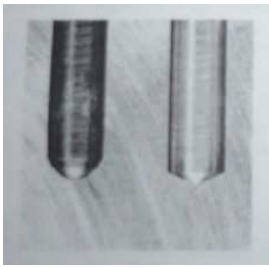
Technologický proces řezání – vrtání tvoří stroj (vrtačka) => vrták => objekt => přípravek



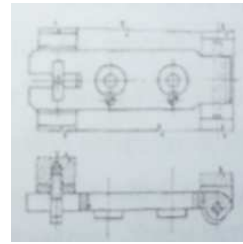
Obr. 18. stroj – vrtačka [3]



Obr. 19. vrták [3]



Obr. 20. objekt [3]



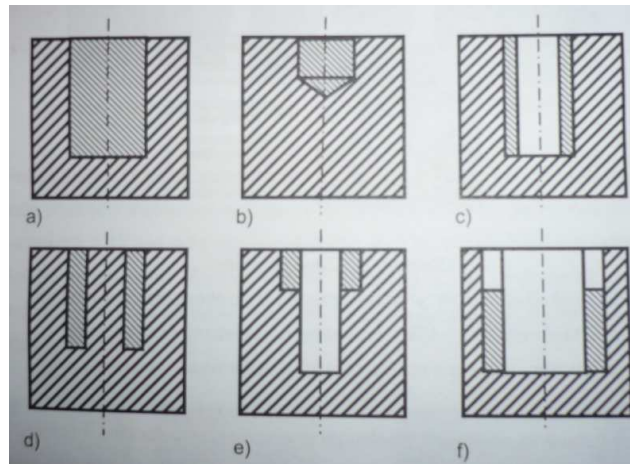
Obr. 21. přípravek [3]

### 2.3 Technologická metoda vrtání

Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují nebo zvětšují již předvrtané díry. Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho většinou nástroj, méně často obrobek. Osa vrtáku je obvykle kolmá k ploše, ve které vstupuje vrták do obráběného materiálu. Posuv vrtáku probíhá potom ve směru jeho osy. [1]

V současné době základní operace vrtání klasifikujeme:

- Vrtání do plna, obr. 22a – je to operace, kde se díra vrtá do plného materiálu v jedné operaci přes celou tloušťku materiálu
- Vrtání na hřbetovou plochu, obr. 22b – je to operace, při které se díra vrtá do plného materiálu v jedné operaci do dané hloubky (hloubka materiálu je menší jako je tloušťka materiálu)
- Vrtání na jádro (vyvrtávání), obr. 22c – je to operace, kdy se aplikuje postupné vrtání. Používá se hlavně při vrtání děr větších průměrů, protože má menší nároky na příkon stroje jako vrtání do plna
- Vrtání na věnec, obr. 22d – je to operace pro vrtání mezikružít. Tento způsob je vhodný jen pro průchozí díry
- Zahlubování (vrtání ponorem), obr. 22e – je to operace pro zvětšování průměru předvrtané díry speciálně upraveným nástrojem.
- Vystružování a vyhrubování, obr. 22f – operace, které se používají pro zlepšení kvality vyvrtaných děr



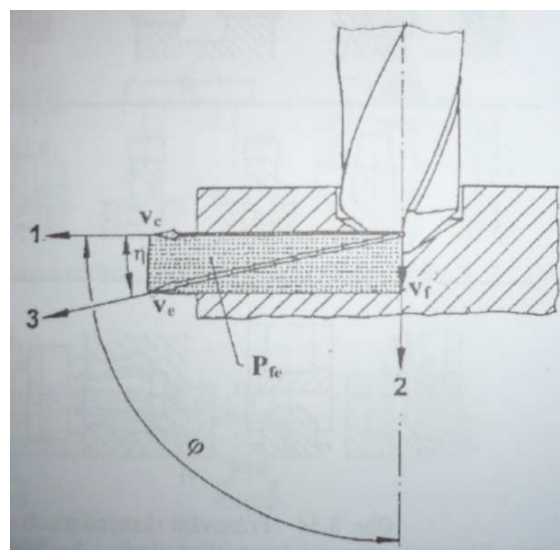
Obr. 22. základní operace vrtání [3]

### 2.3.1 Jevy procesu řezání

Každá technologická metoda je charakterizována svým uspořádáním technologického systému a podmínkami procesu řezání. Jevy provázející proces řezání jsou charakterizované kinematikou, dynamikou, tvořením třísky a povrchem po řezu. [3]

#### 2.3.1.1 Kinematické charakteristiky při vrtání

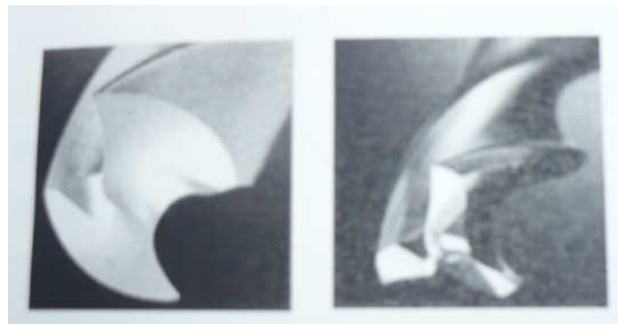
Při vrtání vykonává hlavní rotační pohyb řezný nástroj, a současně i vedlejší pohyb (posuv) ve směru osy. Při vrtání na soustruhu je řezný nástroj upnutý v přípravku, řezný nástroj vykonává jen vedlejší pohyb (posuv) ve směru osy.



Obr. 23. kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem [1]

1 – směr hlavního pohybu, 2 – směr posuvového pohybu, 3 – směr řezného pohybu,  $v_c$  – řezná rychlost,  $v_f$  – posuvová rychlost,  $v_e$  – rychlost řezného pohybu,  $P_{fe}$  - pracovní boční rovina,  $\varphi$  – úhel posuvového pohybu,  $\eta$  – úhel řezného pohybu

Pohyb vrtáku při vrtání ve směru jeho osy se nazývá posuv  $f$  a jednotkou je 1mm. Vrták je konstrukčně řešený dvěma řeznými břity (mohou být i tři), takže má dvě řezné hrany a každá z nich pracuje s polovičním posuvem.



Obr. 24. příklady konstrukce řezné části šroubovitých vrtáků [3]

Řezná rychlost  $v_c$  je při vrtání definovaná průměrem nástroje a frekvencí otáček rovnice (1) a rychlost posuvu se vypočítá podle rovnice (2)

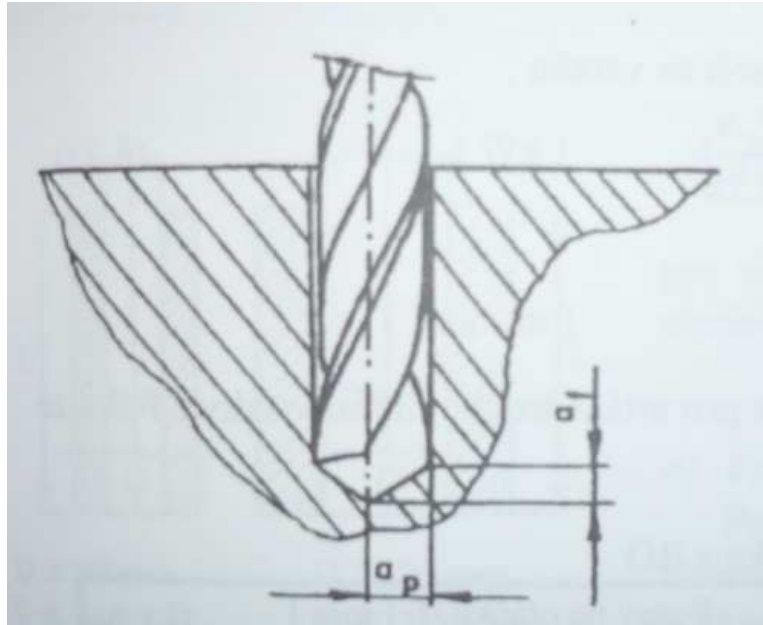
$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n_c}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (1)$$

$$v_f = f \cdot n_c \quad [\text{mm/min}] \quad (2)$$

Šířka záběru ostří šroubovitého vrtáku při vrtání díry je dána rovnicí (3) a šířka záběru ostří ve směru posuvu je dána rovnicí (4)

$$a_p = \frac{D}{2} \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

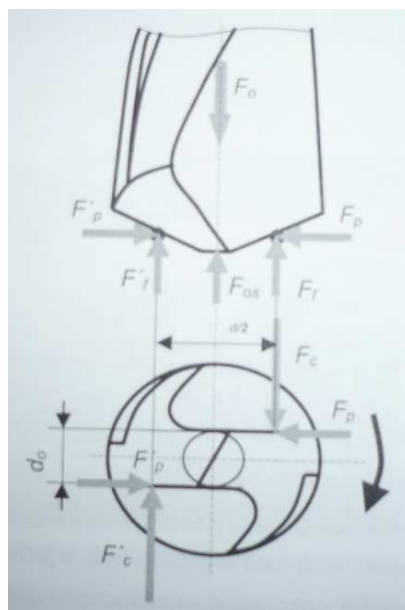
$$a_f = \frac{f}{2} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$



Obr. 25. šířka záběru ostří při vrtání šroubovým vrtákem [1]

### 2.3.1.2 Dynamické charakteristiky při vrtání

Odpor materiálu obrobku proti odřezávání je překonávaný řeznými silami působícími na řezných hranách nástroje. Během vrtání jsou řezné síly rozloženy na řezných hranách vrtáku. Složky řezné síly se koncentrují v definovaném bodě na řezných hranách šroubovitého vrtáku a rozkládají se do směrů souřadnicového systému  $x, y, z$ .



Obr. 26. řezné síly při vrtání [3]

Když má šroubovitý vrták symetrické řezné hrany, radiální síly  $F_p$  a  $F'_p$  se navzájem ruší. Řezné síly  $F_c$  a  $F'_c$  působí přibližně na rameně  $d/4$  a vytvářejí kroutící moment  $M_k$ , který se přenáší na vřeteno stroje. Složky řezné síly  $F_f$  a  $F'_f$  se skládají a tvoří osovou sílu  $F_o$  která překonává posuvový mechanismus.

Řezné síly  $F_c$  a  $F_f$  dostaneme z empirických vztahů (5) a (6) a kroutící moment z rovnice (7)

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad (5)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad (6)$$

$C_{Fc}$   $C_{Ff}$  - konstanta určena druhem a vlastnostmi materiálu a geometrií nástroje

$x^{Fc}$   $y^{Fc}$   $x^{Ff}$   $y^{Ff}$  - exponenty určeny řeznými podmínkami, materiálem a nástrojem

$$M_k = 2 \cdot F_c \cdot \frac{d}{4} - 2 \cdot F_p \cdot \frac{d_0}{2} \quad [\text{Nm}] \quad (7)$$

Všeobecně platí, že se zvětšováním posuvu roste  $M_k$  i  $F_o$ . Vliv posuvu na kroutící moment je větší jako na osovou sílu. Řezná síla je dynamická, není konstantní, s časem se mění. Její změna souvisí s oddělováním třísky od základního materiálu. Celková mechanická energie vynaložená na oddělení třísky se přemění na teplo. Řezná část nástroje se pohybuje vůči obrobku určitou řeznou rychlostí  $v_c$  a působením řezné síly  $F_c$  odřezává z obrobku určitou vrstvu o tloušťce  $a_p$ , která je úměrná posuvu. V zóně řezání dochází k přetvoření odřezávané vrstvy na třísku. V této oblasti dochází k primární plastické deformaci v celém průřezu odřezávané vrstvy. Tloušťka třísky  $h_c$  je větší jako tloušťka odřezávané vrstvy  $h$ . Dochází ke stlačování třísky a je to jedna z charakteristických veličin plastické deformace materiálu obrobku. Určuje se z rovnice (8)

$$K = \frac{h_c}{h} \quad (8)$$

Čím větší je hodnota  $K$ , tím více je tříska deformovaná a tím jsou větší řezné síly.

Dále se tříška deformuje třením o čelní plochu řezné části nástroje v tzv. **sekundární oblasti plastické deformace**. Pro oddělení třísky je potřeba vyvinout výkon, který nám dává rovnice (9)

$$P = \frac{F_c \cdot v_c}{60} \quad [\text{W}] \quad (9)$$

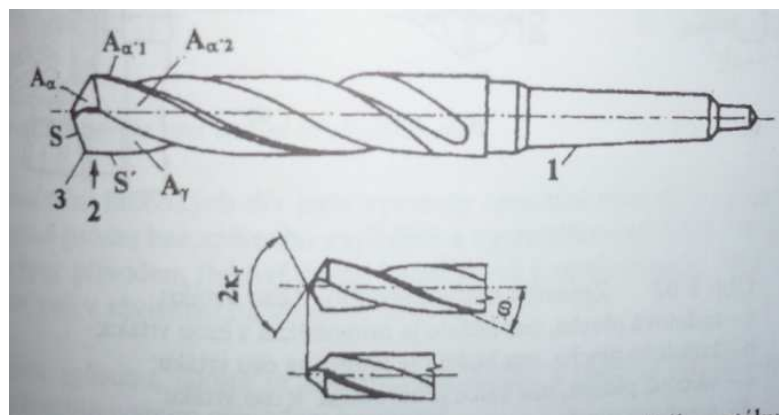
### 2.3.2 Vrtací nástroje

Vrtací nástroje – vrtáky je možné rozdělit na nástroje pro výrobu krátkých děr a nástroje pro obrábění hlubokých otvorů. [1]

#### 1) Vrtací nástroje pro vrtání krátkých děr

Pro vrtání krátkých děr se používají různé druhy vrtáků, z nichž jsou nejpoužívanější vrtáky šroubovitě, kopinaté a frézovací.

- Šroubovitě vrtáky – nejpoužívanější vrtáky pro výrobu krátkých děr.



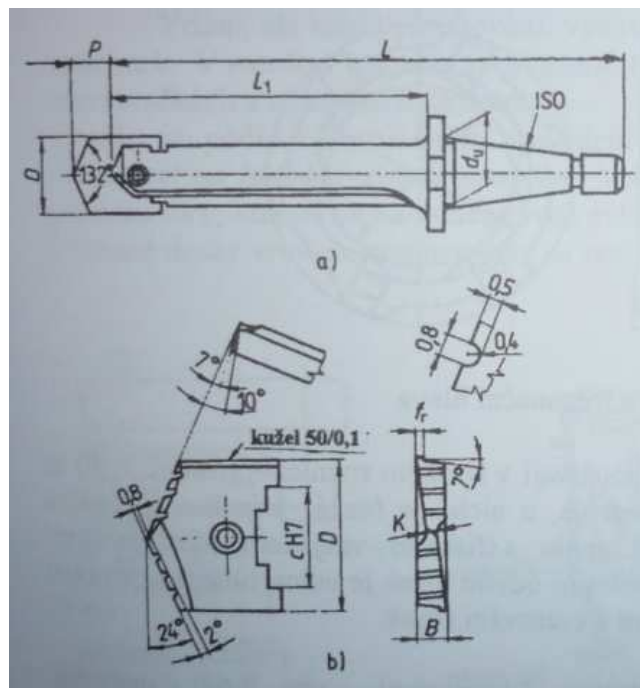
Obr. 27. ostří a plochy na řezné části šroubovitěho vrtáku [1]

1 – stopka, 2 – řezná část, 3 – špička,  $A_\gamma$  – čelo,  $A_\alpha$  – hlavní hřbet,  $A_{\alpha1}$  – první vedlejší hřbet,  $A_{\alpha2}$  – druhý vedlejší hřbet, S – ostří, S' – vedlejší ostří,  $k_r$  – úhel nastavení hlavního ostří,  $\omega$  – úhel stoupání šroubovice

Do průměru  $D = 20$  mm mají válcovou stopku. Pro průměr  $D = 20 - 100$  mm mají stopku Morse. Vrtáky pro běžné použití mají úhel  $\omega = 27^\circ$ . Vrtáky s úhlem  $\omega = 12^\circ$  se používají

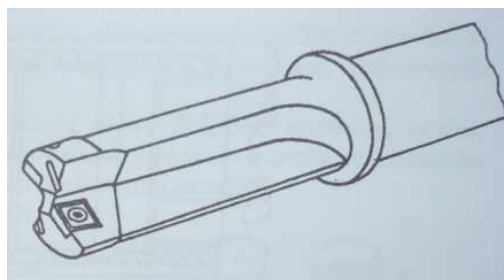
pro vrtání tvrdších materiálů, dávajících drobenou třísku (bronz, mosaz, slitiny hořčíku...) Vysoce výkonné vrtáky se vyrábějí z ocelí 19 857 a 19 861.

- Kopinaté vrtáky – jsou velmi tuhé a umožňují vrtat díry průměru 28 – 128 mm bez navrtávání. Drsnost povrchu díry je horší než po šroubovitém vrtáku. Břítová destička může být z RO nebo SK a zapadá do vybrání vrtáku.



Obr. 28. kopinatý vrták, a) celkový pohled; b) geometrie břitu [1]

- Frézovací vrtáky – mají 2 až 3 vyměnitelné břítové destičky ze SK a pozitivní geometrií. Třísky se odvádějí přímými drážkami, řezná kapalina je dírami v tělese vrtáku přiváděna do místa řezu. Umožňují 5x – 10x vyšší úběr materiálu než šroubovitý vrták z RO. Používají se pro vrtání krátkých děr průměru  $D = 16 - 60$  mm.



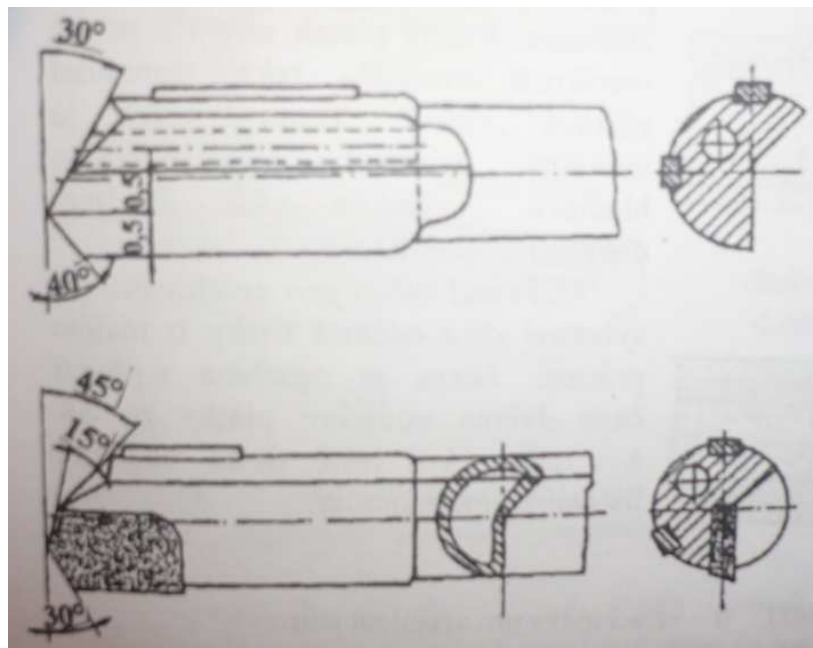
Obr. 29. frézovací vrták [1]



## 2) Vrtací nástroje pro vrtání hlubokých děr

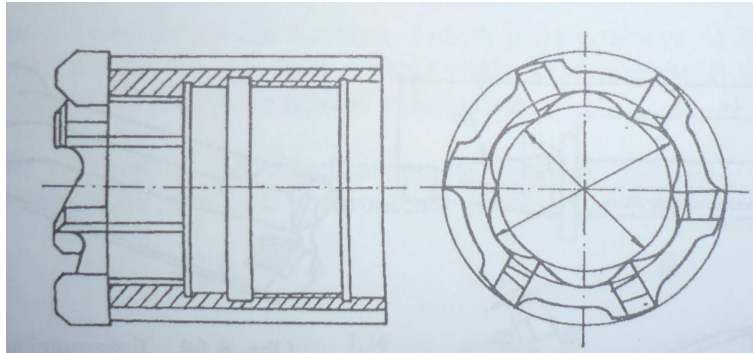
Pro vrtání hlubokých děr jsou vyvinuty speciální metody a nástroje, které zaručují plynulý vrtací proces bez zpětného vyjždění a vyprazdňování třísek. Příslušné vrtací stroje jsou vybaveny přívodem tlakové řezné kapaliny až k ostří nástroje. Podle způsobu, jakým je kapalina přiváděna k ostří se rozlišují nástroje na nástroje s vnitřním, vnějším a kombinovaným přívodem kapaliny. Typické nástroje pro vrtání hlubokých děr jsou hlavňové vrtáky, korunové trepanační hlavy a nástroje BTA. [1]

- Hlavňové vrtáky – jsou připájeny na trubky potřebné délky. Řezná kapalina je přiváděna pod tlakem otvorem v tělese vrtáku a vyplavuje třísky. Hlavním znakem je, že má kromě řezného plátku ještě dva vodící plátky. Plátky jsou většinou vyrobeny z RO nebo SK.



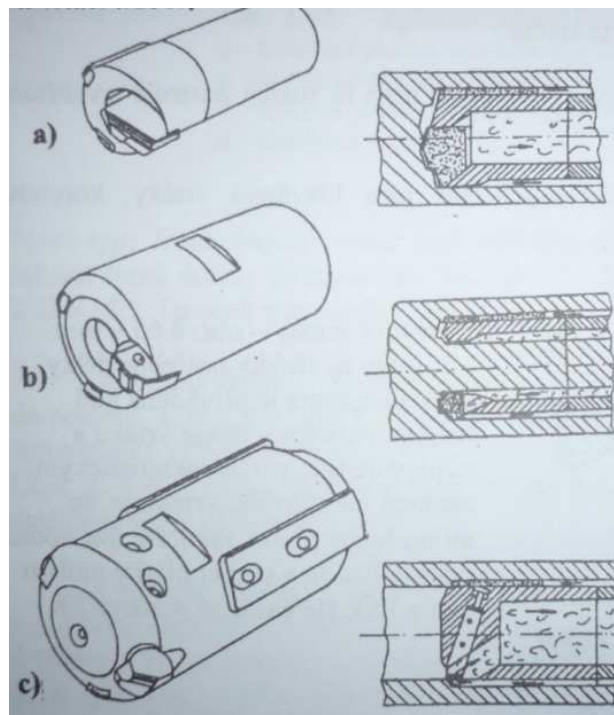
Obr. 30. Hlavňový vrták [1]

- Korunové trepanační hlavy – používají se v širokém rozmezí průměrů 30 – 500mm. Jsou to několikabřité vrtací nástroje, u nichž je řezná kapalina přiváděna k místu řezu vnitřkem nástroje a odchází spolu s třískami vnějškem nástroje mezi jednotlivými břity ven z otvoru. [1]



Obr. 31. korunová trepanační hlava [1]

- Nástroje BTA (Bohring and Trepanning Association) – umožňují nejproduktivnější vrtání hlubokých děr. Vrtat lze do plného materiálu, na jádro, nebo zvětšovat předvrtanou díru. [1]



Obr. 32. Nástroje BTA [1]

- a) – vrtací hlava pro vrtání do plného materiálu; b) – vrtací hlava pro vrtání na jádro; c) – vrtací hlava pro zvětšování předvrtané díry

### 2.3.3 Vrtací stroje

Vrtání se nejčastěji realizuje na vrtačkách. Méně využívané stroje mohou být soustruhy, vodorovné vyvrtávačky a obráběcí centra.

Vrtačky dělíme dle konstrukčního provedení na:

- stolní – mají nejjednodušší konstrukci, posuv nástroje je obvykle ruční
- sloupové – jejich pracovní vřeteník i stůl je posuvný ve vertikálním směru po sloupu, posuv vřetena je mechanický
- stojanové – mají stůl i vřeteník posuvný po vedení stojanu
- otočné – pro vrtání otvorů do těžších a rozměrnějších obrobků. Charakterizuje je rameno, na němž se po vedení pohybuje ve vodorovném směru pracovní vřeteník
- montážní – jsou zvláštním provedením otočné vrtačky, jsou přenosné a využívají se v montážních dílnách
- speciální – používají se pro specializované vrtací operace, řadí se sem např. vrtačky souřadnicové, vícevřetenové, atd. [1]

### 2.3.4 Tvoření a tvarování třísky při vrtání

Tvorba třísky, její lámání a kontrolovaný odvod ze zóny řezání je základním předpokladem moderní automatizované výroby. Nejsou-li tyto podmínky splněny, jakýkoliv vrták v krátkém čase přestane plnit svoji funkci. Tříška vzniká vlivem plastické deformace materiálu, která nastane po překročení hranice pevnosti materiálu, v důsledku působícího zatížení. Deformace třísky je vyjádřena veličinou stlačení třísky. [3]

Charakteristický tvar třísek při vrtání je zobrazený na obr. 33.



Obr. 33. tvar třísek při vrtání [3]

Tvar vznikající třísky závisí na materiálu obrobku, jeho pevnosti, tvrdosti, geometrii nástroje, řezných podmínkách a taky procesním médiu.

Procesní média mají vliv na mechanismus vzniku třísky, na silové jevy a tření mezi nástrojem a obrobkem, na tvorbu nárůstku, na vlastnosti povrchové vrstvy obrobku atd. Výběr procesního média závisí na zvolené technologické metodě, materiálu obrobku, zvoleném řezném nástroji atd.

Mezi hlavní požadavky, které jsou kladené na procesní médium patří:

- chladicí a mastící účinek
- čistící účinek
- ochranný účinek
- zdravotní nezávadnost
- ekologické požadavky
- ekonomické požadavky

## 2.4 Technologie výroby děr

Díry se vrtají buď na jeden přechod, nebo s následnou další dokončovací metodou procesu řezání. Mezi faktory, kterými jsou díry popsány patří:

- přesnost rozměru a tvaru
- drsnost povrchu díry po řezu
- materiál obrobku
- funkce děr

Při výběru řezných nástrojů a následné pořadí operací je potřeba zohlednit aspekty ekonomiky a spolehlivost výroby.

Progresivní vrtáky vyrobené ze spékaných karbidů jsou postupně efektivnější jak konvenční šroubovitý vrták → výrazně snižují náklady na výrobu jedné díry. Vrtáky z houževnatého spékaného karbidu má přibližně 20x větší životnost jako vrtáky z HSS a může využívat při stejném posuvu několikanásobnou řeznou rychlost. [3]

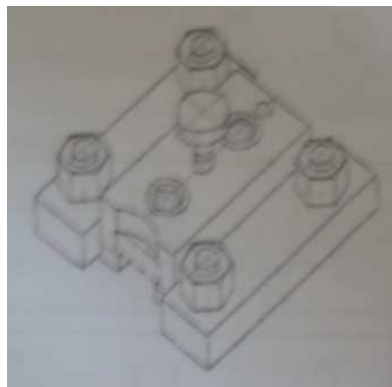
Hlavním faktorem při volbě vrtáku je průměr díry. Rozeznáváme tři oblasti zařazení vrtáků podle průměru díry, a to:

- díry o malém průměru
- díry o středním průměru
- díry o velkém průměru

Přesnost výroby děr ve strojírenské praxi závisí na:

- stroji pro proces řezání – vrtačka
- nástroj pro proces řezání – vrták. Největší vliv na přesnost má asi počet řezných břitů, kvalita geometrie řezné části a materiál nástroje

Při vrtání vznikající kroutící moment se snaží otočit obrobkem okolo osy a osová síla buď tlačí na obrobek tak, že ten je přitlačovaný k upínací základně, nebo je obrobek nadnášený směrem k vřetenu → obrobek musí být upnutý tak, aby se upínáním nedeformoval a zamezilo se posunutí. Obrázek 34. ukazuje využití přípravku proti pootočení



Obr. 34. přípravek proti pootočení [3]

### 3 ŘEZNÁ SÍLA A JEJÍ MĚŘENÍ

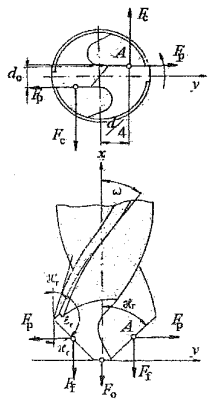
#### 3.1 Řezná síla

Při vrtání, kde je více řezných hran je řezná síla dána vektorovým součtem dílčích složek působících na průřezu odřezávané vrstvy. Řezná síla musí být konstantní, stejně jako odřezávaná vrstva má konstantní průřez.

Na velikost řezné síly působí řada faktorů. Tyto faktory můžeme rozdělit do dvou skupin:

- 1) faktory, které mohou být vůči velikosti řezné síly lehko korigovatelné a určují velikost řezné síly přímo
  - materiál obrobku (mez pevnosti, mikrostruktura, tepelné zpracování)
  - průřez odřezávané vrstvy (posuv, posuv na zub, hloubka řezu)
- 2) faktory, které jdou obtížně korigovat
  - nástrojový materiál (druh, otěruvzdorná vrstva)
  - břit nástroje (geometrie, poloměry, fazety)
  - řezná rychlost
  - řezné prostředí (za sucha, chladicí látka, mazací látka)
  - opotřebení (hlavní řezné hrany, vedlejší řezné hrany, na čelní ploše)

U vrtání jsou řezné síly rozloženy na řezných hranách vrtáku. Výsledné řezné síly si představme zkoncentrované v bodě A na řezných hranách šroubovitého vrtáku a rozkládají se do směrů  $x$ ,  $y$  a  $z$  viz. obr. 35.



Obr. 35. řezné síly  
při vrtání  
šroubovitém  
vrtákem [5]

Když má vrták symetrické řezné hrany, radiální síly  $F_p$  se rovnají a navzájem se ruší.

Řezné síly  $F_c$  působí přibližně na rameni  $\frac{d}{4}$  a vytvářejí kroutící moment  $M_k$ , který se přenáší na vřeteno stroje.

Řezné síly  $F_f$  se složí a spolu s osovou silou  $F_o$  tvoří součet sil, které zabezpečují posuvový mechanismus stroje. [5]

### 3.2 Měření řezné síly

Koeficienty a exponenty převzaté z literatury nezaručují nikdy potřebnou přesnost výsledků. Chceme-li proto stanovit složky řezné síly s vyšší přesností nebo postihnout i dynamiku procesu obrábění, musíme přistoupit k měření řezných sil.

Řeznou sílu resp. její složky můžeme měřit dvěma způsoby:

- nepřímým měřením sil – měříme příkon, nebo kroutící moment na vřeteni a z něho řeznou sílu vypočítáme
- přímým měřením sil – dynamometry [6]

### 3.2.1 Nepřímé měření sil a momentů

Metody pro nepřímé měření sil vycházejí převážně z výkonu elektromotoru obráběcího stroje. Ze známého vztahu pro užitečný výkon při obrábění rovnice (10)

$$P_{už} = F_c \cdot v_c \quad [\text{W}] \quad (10)$$

$P_{už}$  – užitečný výkon (W)

$F_c$  – tangenciální (řezná) složka síly obrábění (řezání) (N)

$v_c$  – řezná složka rychlosti obrábění ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

plyne, že nepřímým měřením lze z výkonu hnací jednotky stanovit pouze tangenciální složku síly řezání. Tuto složku lze rovněž stanovit nepřímým měřením z točivého (krouticího) momentu. [7]

#### 3.2.1.1 Stanovení tangenciální složky z výkonu

Při měření výkonu elektromotoru obráběcího stroje se převážně používá wattmetrů. Dle požadavků na přesnost se pro měření výkonů používá i různých zapojení wattmetrů např. WATTREG 10 a WATTREG 20.

Při stanovení tangenciální složky síly obrábění se vychází z užitečného výkonu, potřebného k vlastnímu řezání. Nejprve se proto změří výkon nezatíženého obráběcího stroje, tj. výkon chodu naprázdno  $P_o$ , potom se proměří celkový výkon obráběcího stroje při obrábění  $P_c$ . Pro užitečný výkon  $P_{už}$  pak platí: [7]

$$P_{už} = P_c - P_o \quad [\text{W}] \quad (11)$$

$P_c$  – celkový výkon obráběcího stroje (W)

$P_o$  – výkon při chodu naprázdno (W)

Pro tangenciální složku síly řezání se vychází z rovnice (10) a z toho plyne: [7]

$$F_c = \frac{P_{už}}{v_c} \quad [\text{N}] \quad (12)$$

#### 3.2.1.2 Stanovení tangenciální složky síly obrábění z krouticího momentu

Využívá se při vrtání. Vychází se z měření celkového výkonu pomocí přenosného univerzálního zapisovacího přístroje. Po změření výkonu se vysune nástroje ze záběru a při stej-



ných otáčkách se vřetenem obráběcího stroje zatěžuje vhodnou mechanickou brzdou tak, až se dosáhne stejného údaje na registračním přístroji jako při předchozím obrábění.

Z podmínky rovnováhy točivého momentu od tangenciální složky síly řezání a točivého momentu vyvolaného mechanickou brzdou plyne: [7]

$$M_k = \frac{F_c \cdot D}{2} = M_{kb} \quad [\text{N.m}] \quad (13)$$

### 3.2.2 Přímé měření sil a momentů

Pro přímé měření řezných sil se používá dynamometrů, umožňujících měřit jednu, dvě nebo tři složky řezné síly, popř. kroutící moment.

Základní součástí je pružný element, který se deformuje působením měřené síly. Deformaci tohoto elementu měříme snímačem a převádíme na jinou veličinu, kterou jsme schopni měřit nebo registrovat. [6]

#### Základní požadavky kladené na dynamometry

- tuhost dynamometrů
- citlivost dynamometrů
- stálost údajů dynamometrů
- reprodukovatelnost údajů

#### Aparatura na měření složek řezné síly se zpravidla skládá ze tří částí

- 1) Pružný člen – přebírá vnější zatížení a překonává jisté změny
- 2) Snímač – mění mechanickou veličinu změny pružného členu na hodnotu analogického parametru měřicí aparatury
- 3) Přijímač – zesiluje a zpracovává signál snímače, případně zapisuje velikost zatížení [7]

#### Rozdělení dynamometrů

Podle toho na jakou veličinu převádí snímač měřenou sílu lze dynamometry rozdělit na:

- mechanické – deformace pružného elementu je měřena mechanicky např. číselníkovým úchylkoměrem

- hydraulické – průhyb nástroje má za následek změnu tlaku v hydraulickém systému. Tato změna je snímána manometrem
- pneumatické – průhyb deformačního členu je měřen množstvím vzduchu protékajícího tryskou
- elektrické – síla se podle různých fyzikálních principů mění na elektrickou veličinu, jejíž měření je poměrně snadné a dobře zpracovatelné i výpočetní technikou. Podle druhu použitého snímače se dělí elektrické dynamometry na:
  - odporové (tenzometrické)
  - piezoelektrické
  - indukčnostní
  - kapacitní
  - ostatní [6]

#### Cejchování dynamometrů

Cejchováním se rozumí porovnání údajů dynamometru se skutečnou hodnotou sledované veličiny.

Dynamometr se postupně zatěžuje měnící se silou předem známé velikosti a na měřidle (číselníkovém úchylkoměru) se odečítá odpovídající výchylka. Výsledky se zaznamenávají tak, že se přímo vyjadřuje vztah mezi skutečným zatížením dynamometru v místě působení složky síly řezání a údajem na měřícím zařízení. Výsledkem cejchování je sestrojení cejchovní křivky, která je grafickým vyjádřením závislosti mezi danou složkou síly řezání a odpovídající veličinou.

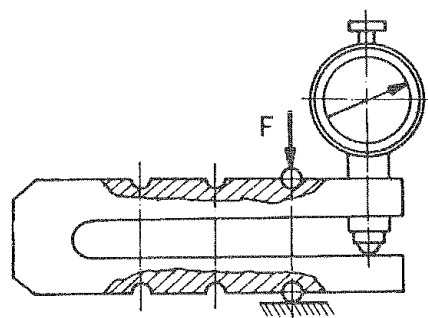
Cejchování se obvykle provádí přímo na obráběcích strojích nebo na upravených pracovištích. [7]

#### Požadavky na konstrukci dynamometru

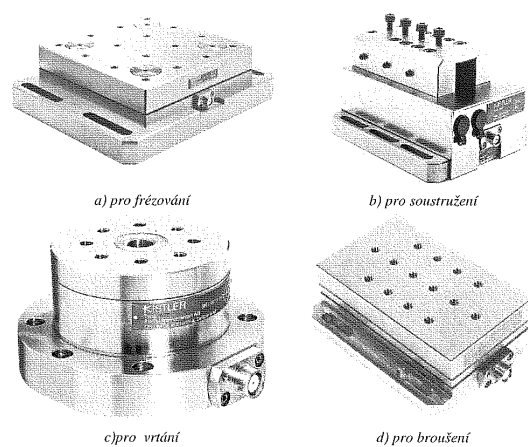
Dynamometr jako měřící zařízení musí splňovat určité požadavky jak ve vztahu k soustavě stroj – nástroj – obrobek, do které je jako cizí element vložen, tak ve vztahu k výsledkům měření, které od něho očekáváme. Jsou to:

- tuhost – tuhost dynamometru by měla být vyšší, než tuhost soustavy
- vysoká vlastní frekvence
- přesnost měření – je dána tzv. relativní nepřesností
- citlivost – je dána nejmenší měřitelnou změnou řezné síly
- rozsah měření – je rozdíl mezi min. a max. měřitelnou silou
- časová stálost cejchování
- min. závislost na parazitních vlivech (teplota, vlhkost)
- spolehlivost [6]

### ukázky dynamometrů



Obr. 36. mechanický dynamometr  
třmenový [7]



Obr. 37. dynamometry KISTLER pro měření složek řezné síly [7]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI

1. Volba otáček, aby řezná rychlost byla cca 25 m/min
2. Každý vrták otestovat ( $\varnothing$  5 mm,  $\varnothing$  6 mm,  $\varnothing$  8 mm,  $\varnothing$  8,8 mm) povlakované i nepovlakované při posuvu 0,1 a 0,2
3. Změřit sílu pomocí dynamometru
4. Změřit drsnost povrchu díry pomocí měřicího přístroje Mitutoyo SJ - 301

## 5 VRTÁNÍ, MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU, MĚŘENÍ ŘEZNÝCH SIL POMOCÍ DYNAMOMETRU

### 5.1 Vrtání

Vrtání probíhalo na dílenské vrtačce B40 GSM. Jedná se o převodovou sloupovou vrtačku, jejíž technická data najdeme v tab. 2.

Tab. 2. technická data převodové vrtačky B40 GSM [8]

<b>Elektrická přípojka</b>	
Celkový příkon	3 x 400; 1,5 kW
Povolená tolerance napětí	380 V - 400 V
Stupeň krytí	IP 54
<b>Vrtný výkon</b>	
Vrtný výkon v oceli (mm)	35
Řezání závitů v oceli (mm)	M 24
Vyložení (mm)	350
Zdvih pinoly (mm)	180
<b>Uložení vřetene</b>	
Uložení vřetene	MK 4
posuv pinoly (mm/ot.)	2 stupně; 0,1 a 0,2 m/min
<b>Pracovní stůl</b>	
Velikost stolu (mm)	560 x 560
max. vzdálenost (mm) vřeteno - stůl	780
max. vzdálenost (mm) vřeteno - patka	1320
<b>Rozměry</b>	
Výška (mm)	2220
Hloubka (mm)	730
Šířka (mm)	560
Celková hmotnost (kg)	460
<b>Otáčky</b>	
Otáčky vřetene ( $\text{min}^{-1}$ )	50 - 1450
Počet stupňů	18

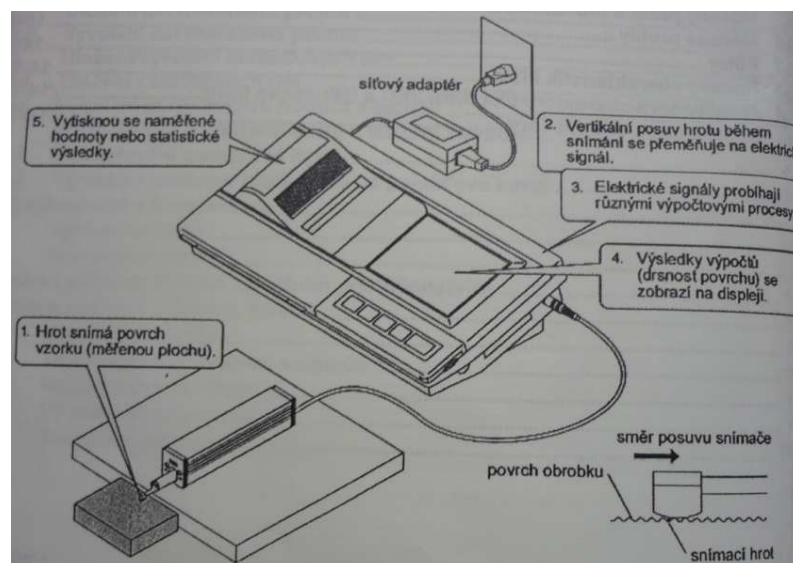


Obr. 38. převodová  
vrtačka B40 GSM

## 5.2 Měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchu bylo děláno na dílenském měřicím přístroji Mitutoyo SJ – 301. Přístroj se skládá ze dvou částí. První část tvoří zařízení jehož součástí je dotykový display a zabudovaná tiskárna pro tisk naměřených hodnot. Druhou částí je zařízení, ve kterém je zabudovaný hrot, pomocí kterého měříme nerovnosti povrchu.

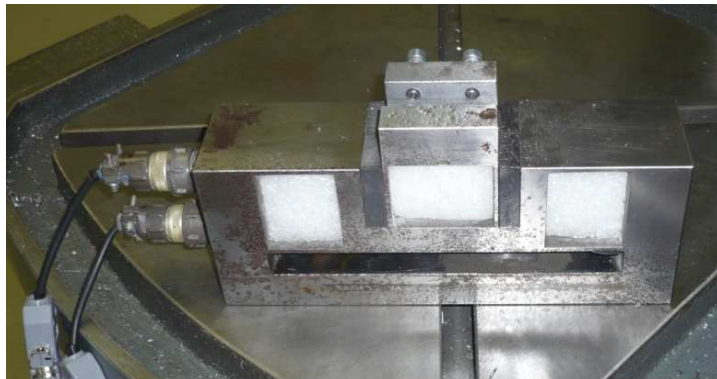
Z počátku se musí provést na přístroji kalibrace podle daných platných norem. Po provedení kalibrace je přístroj připravený k měření.



Obr. 39. drsnoměr Mitutoyo SJ-301 [9]

### 5.3 Měření řezných sil pomocí dynamometru

Měření a vyhodnocování řezných sil bylo prováděno na dílenském dynamometru. Dynamometr se připevnil do svěráku na pracovní stůl vrtačky a byl připojený k počítači, kde se zobrazovaly naměřené hodnoty.



Obr. 40 dílenský dynamometr



## 6 VRTANÝ MATERIÁL

### 6.1 Ocel 11 600



Obr. 41. ocel 11 600

### 6.2 PA66



Obr. 42. PA66

### 6.3 PMMA



Obr. 43. PMMA

## 7 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Během vrtání se měnil materiál vrtáku (vrták z rychlořezné oceli a vrták s povlakem titanu), průměr vrtáku ( $\varnothing 4$  mm,  $\varnothing 5$  mm,  $\varnothing 6$  mm,  $\varnothing 8$  mm,  $\varnothing 8,8$  mm) a posuvy vrtačky (0,1 mm a 0,2 mm). Při vrtání se měřila posuvová síla pro jednotlivé průměry vrtáků a posuvy vrtačky. Pro vrták  $\varnothing 8,8$  mm se měnily otáčky tzn. měnila se řezná rychlost  $v_c$ . Dále se ve vyvrtaných děrách měřila drsnost a to na dvou místech.

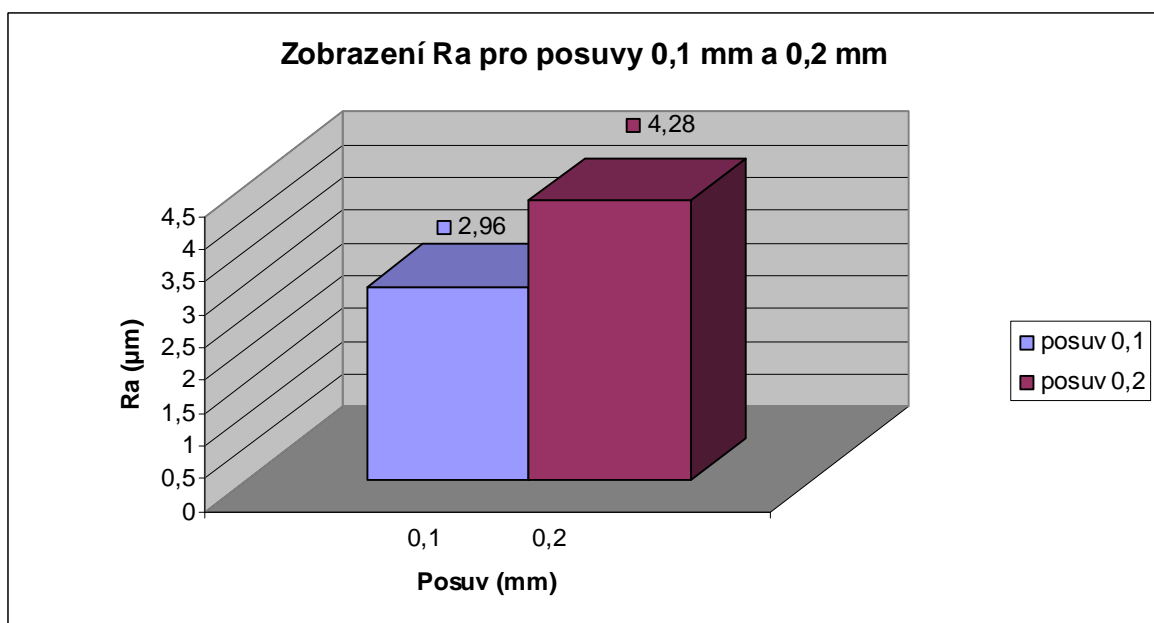
### 7.1 Vliv posuvu na drsnost vrtaných děr

#### 7.1.1 Materiál - Polymethylmethakrylát – PMMA

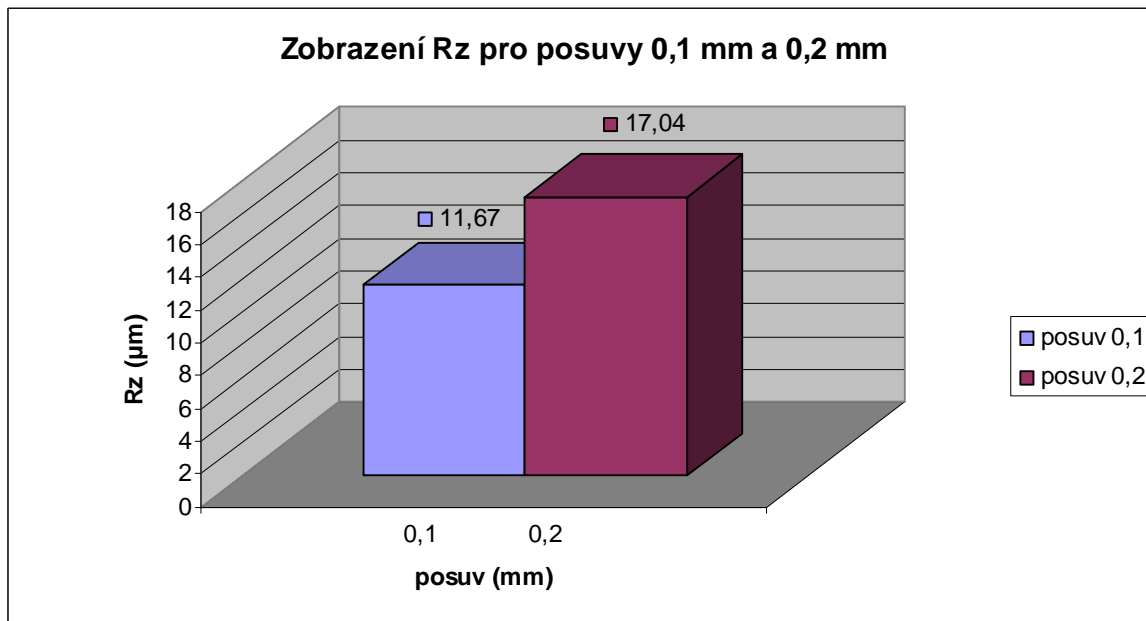
##### Drsnost Ra a Rz pro vrtáky z rychlořezné oceli

Tab. 3. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PMMA

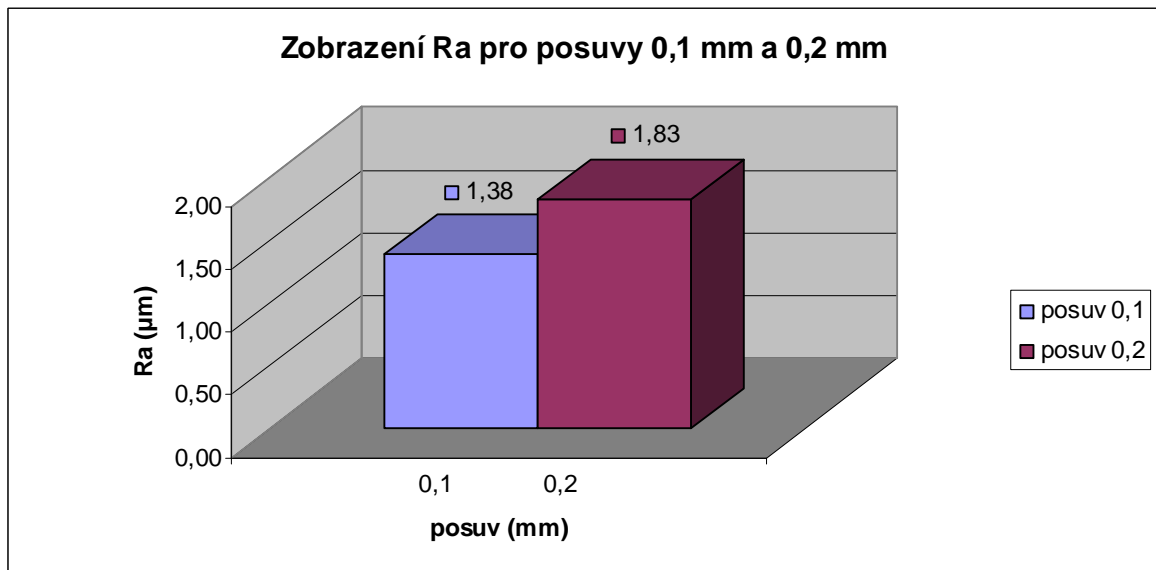
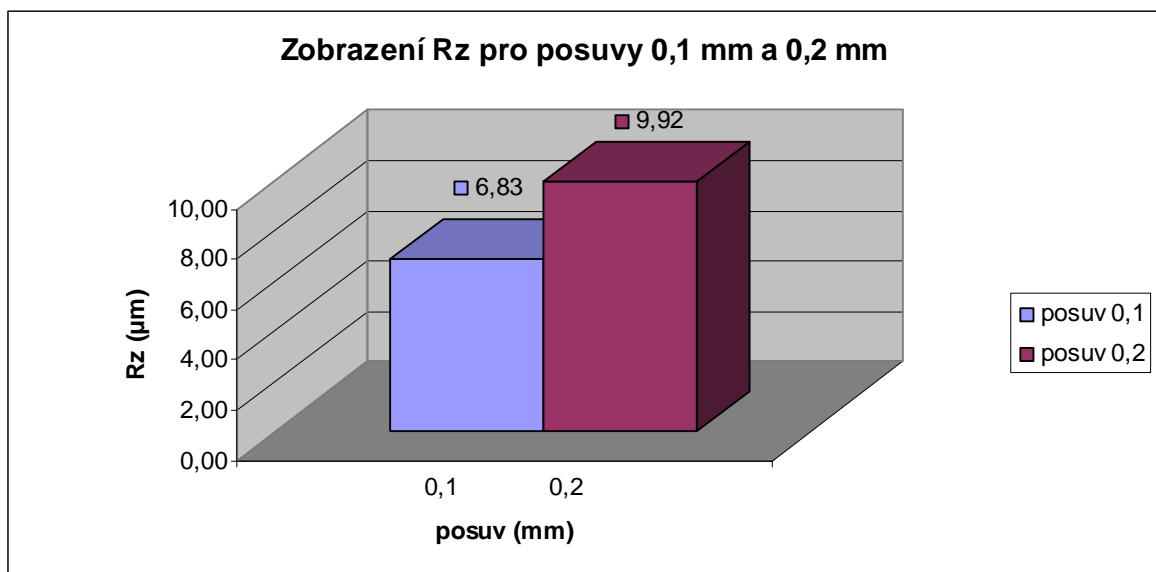
vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 27,4$ m/min					vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,2 mm; $v_c = 27,4$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	2,98	2,95	12,72	11,76	1	4,09	4,56	16,43	19,76
2	2,93	2,93	11,22	10,55	2	4,11	4,07	15,1	15,28
3	2,92	2,95	11,65	12,43	3	4,05	4,8	14,76	21,76
4	2,93	3,05	11,14	11,91	4	4,28	4,26	15,71	17,54
arit. průměr	<b>2,94</b>	<b>2,97</b>	<b>11,68</b>	<b>11,66</b>	arit. průměr	<b>4,13</b>	<b>4,42</b>	<b>15,50</b>	<b>18,59</b>
celk. průměr	<b>2,96</b>		<b>11,67</b>		celk. průměr	<b>4,28</b>		<b>17,04</b>	



Obr. 44. grafické zobrazení Ra vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PMMA

Obr. 45. grafické zobrazení Rz vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PMMATab. 4. naměřená data vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro PMMA

vrták $\varnothing 6$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 25,5$ m/min					vrták $\varnothing 6$ mm; posuv 0,2 mm; $v_c = 25,5$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	1,41	1,32	7,17	6,75	1	1,29	2,26	7,88	11,66
2	1,37	1,26	6,45	6,56	2	1,47	1,8	8,81	9,77
3	1,4	1,42	6,82	6,7	3	1,76	1,71	9,57	9,1
4	1,3	1,41	6,51	6,89	4	1,85	1,66	9,98	9,51
5	1,53	1,36	7,56	6,9	5	2,39	2,07	10,73	12,18
arit. průměr	<b>1,40</b>	<b>1,35</b>	<b>6,90</b>	<b>6,76</b>	arit. průměr	<b>1,75</b>	<b>1,90</b>	<b>9,39</b>	<b>10,44</b>
celk. průměr	<b>1,38</b>		<b>6,83</b>		celk. průměr	<b>1,83</b>		<b>9,92</b>	

Obr. 46. grafické zobrazení Ra vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro PMMAObr. 47. grafické zobrazení Rz vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro PMMA

pro vrták  $\varnothing 8,8$  mm byl posuv stejný (0,1 mm), ale měnily se otáčky => měnila se řezná rychlost  $v_c$

výpočet řezné rychlosti  $v_c$ :

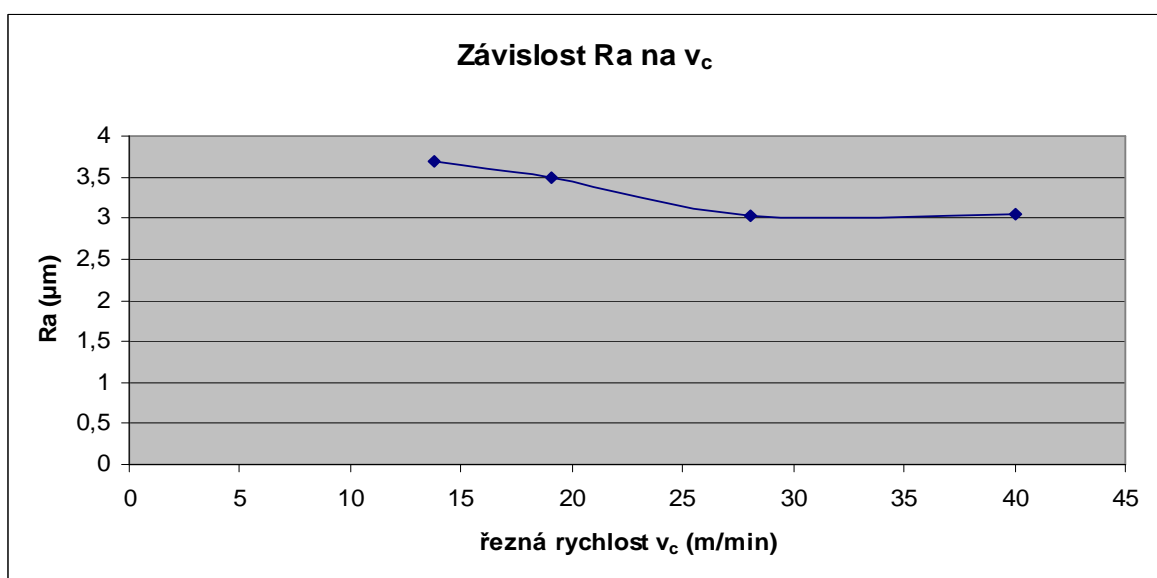
$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (14)$$

Tab. 5. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro PMMA

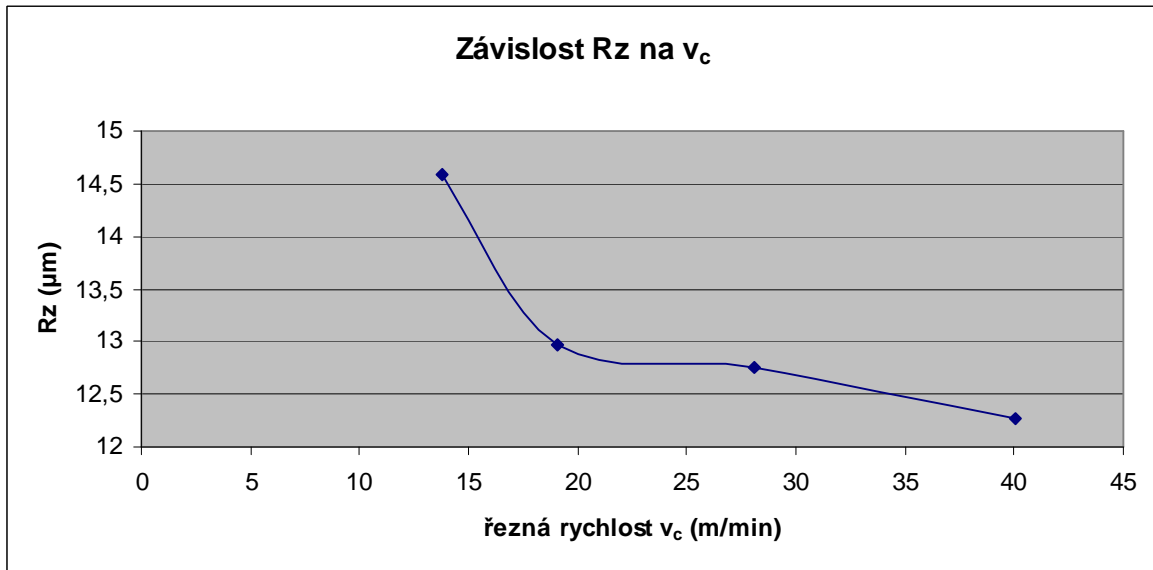
vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1mm; $v_c = 40,1$ m/min					vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1mm; $v_c = 28,1$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	3,33	4,23	14,69	15,21	1	2,16	3,61	7,93	15,75
2	2,34	2,5	11,92	10,3	2	3,18	3,11	16,54	12,87
3	2,26	2,17	9,14	9,23	3	3,86	4,15	13,05	15,05
4	3,49	4,15	13,66	14,03	4	1,9	2,16	9,31	11,51
arit. průměr	<b>2,86</b>	<b>3,26</b>	<b>12,35</b>	<b>12,19</b>	arit. průměr	<b>2,78</b>	<b>3,26</b>	<b>11,71</b>	<b>13,80</b>
celk. průměr	<b>3,06</b>		<b>12,27</b>		celk. průměr	<b>3,02</b>		<b>12,75</b>	

Tab. 6. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro PMMA

vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 19,1$ m/min					vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 13,8$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	2,23	3,98	11,31	13,11	1	2,95	4,67	13,84	16,25
2	2,8	3	9,73	9,11	2	4,56	3,93	18,51	15,5
3	3,13	2,85	13,3	11,38	3	3,25	4,18	14,38	15,28
4	4,82	5,07	17,25	18,56	4	2,89	3,05	10,2	12,71
arit. průměr	<b>3,25</b>	<b>3,73</b>	<b>12,90</b>	<b>13,04</b>	arit. průměr	<b>3,41</b>	<b>3,96</b>	<b>14,23</b>	<b>14,94</b>
celk. průměr	<b>3,49</b>		<b>12,97</b>		celk. průměr	<b>3,69</b>		<b>14,58</b>	



Obr. 48. grafická závislost Ra na řezné rychlosti  $v_c$  pro PMMA

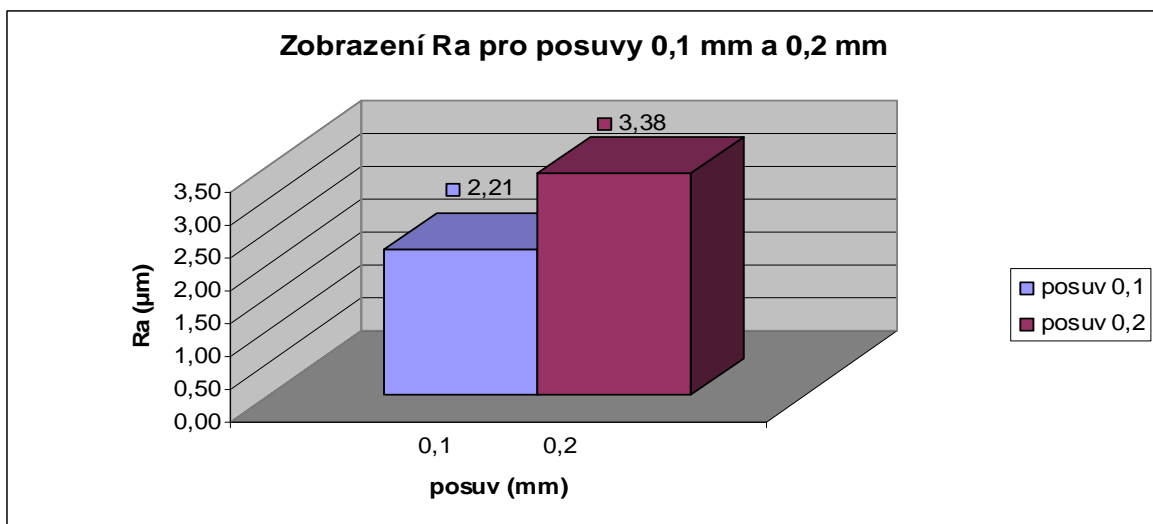


Obr. 49. grafická závislost Rz na řezné rychlosti v<sub>c</sub> pro PMMA

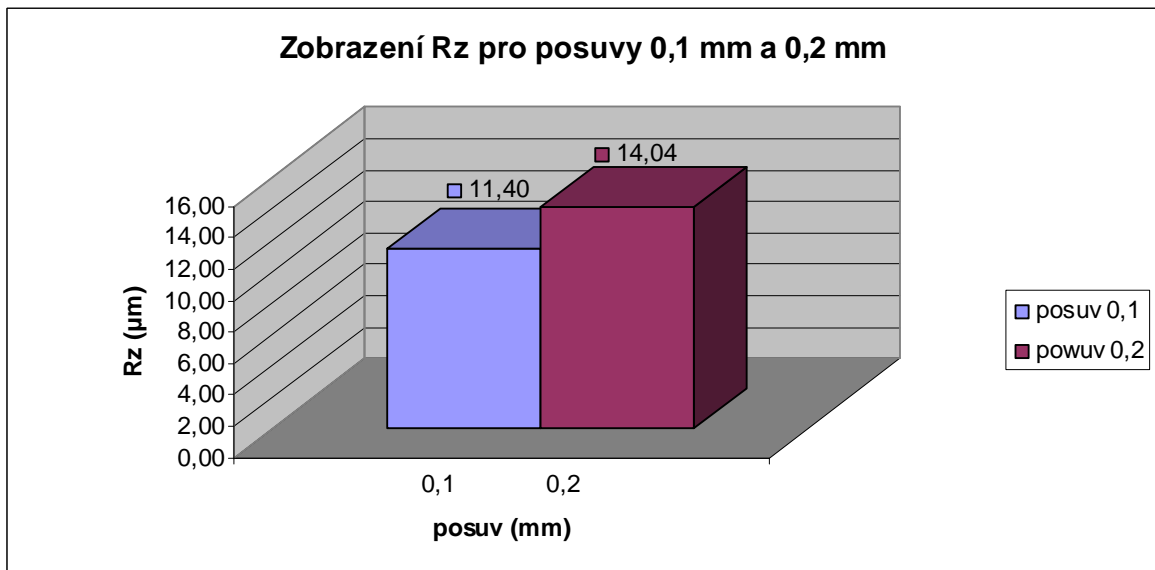
Drsnost Ra a Rz pro vrtáky s povlakem titanu

Tab. 7. naměřená data vrtáku s povlakem titanu ø8 mm pro PMMA

vrták ø8 mm; posuv 0,1 mm; v <sub>c</sub> = 27,4 m/min					vrták ø8 mm; posuv 0,2 mm; v <sub>c</sub> = 27,4 m/min				
	Ra(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Rz(μm)		Ra(μm)	Ra(μm)	Rz(μm)	Rz(μm)
1	2,1	2,25	10,7	11,18	1	3,8	3,61	14,38	13,62
2	1,97	1,99	11,64	10,95	2	2,92	3,44	13,84	13,24
3	2,48	2,34	10,82	12,13	3	3,12	3,52	14,08	14,73
4	2,29	2,23	12,09	11,67	4	3,59	3,02	14,46	13,95
arit. průměr	<b>2,21</b>	<b>2,20</b>	<b>11,31</b>	<b>11,48</b>	arit. průměr	<b>3,36</b>	<b>3,40</b>	<b>14,19</b>	<b>13,89</b>
celk. průměr	<b>2,21</b>		<b>11,4</b>		celk. průměr	<b>3,38</b>		<b>14,04</b>	



Obr. 50. grafické zobrazení Ra vrtáku s povlakem titanu ø8 mm pro PMMA

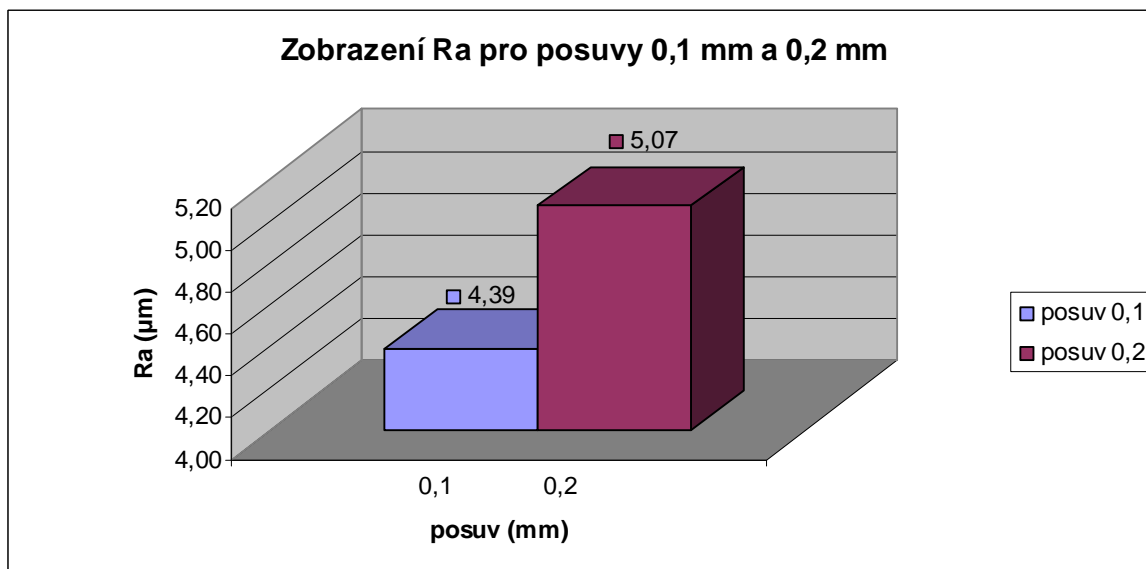
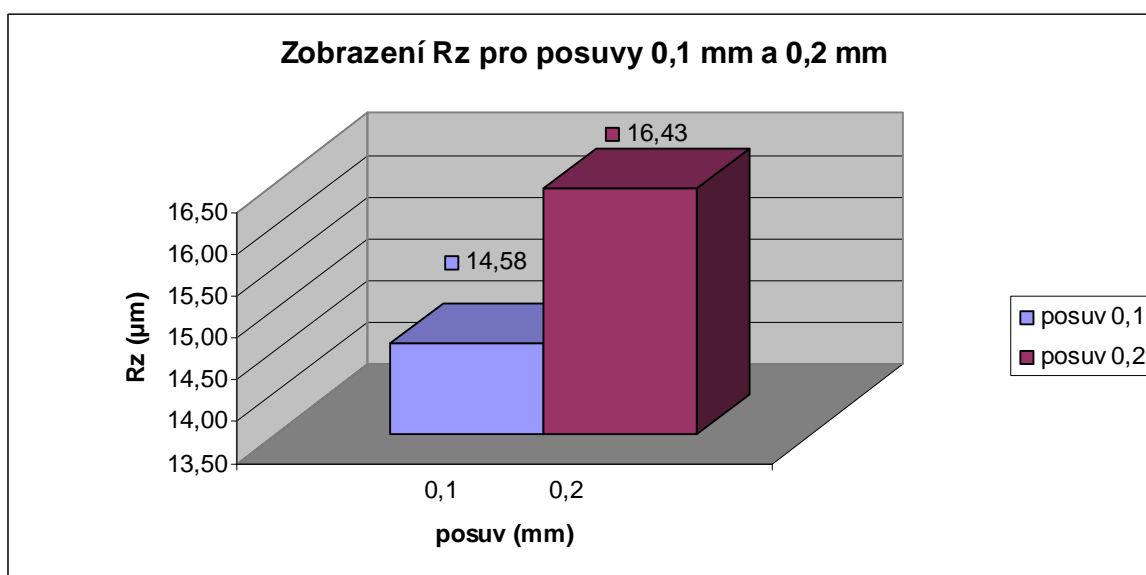
Obr. 51. grafické zobrazení Rz vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro PMMA

### 7.1.2 Materiál – Polyamid – PA66

Drsnost Ra a Rz pro vrtáky z rychlořezné oceli

Tab. 8. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PA66

vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 27,4$ m/min					vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,2 mm; $v_c = 27,4$ m/min				
	Ra(µm)	Ra(µm)	Rz(µm)	Rz(µm)		Ra(µm)	Ra(µm)	Rz(µm)	Rz(µm)
1	4,12	4,54	13,39	15,62	1	5,16	5,31	16,11	17,05
2	4,24	3,99	14,51	14,33	2	4,92	4,89	17,35	15,2
3	4,81	4,97	15,02	14,09	3				
4	4,28	4,14	15,37	14,34	4				
arit. průměr	<b>4,36</b>	<b>4,41</b>	<b>14,57</b>	<b>14,60</b>	arit. průměr	<b>5,04</b>	<b>5,10</b>	<b>16,73</b>	<b>16,13</b>
celk. průměr	<b>4,39</b>		<b>14,58</b>		celk. průměr	<b>5,07</b>		<b>16,43</b>	

Obr. 52. grafické zobrazení Ra vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PA66Obr. 53. grafické zobrazení Rz vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PA66



Tab. 9. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro PA66

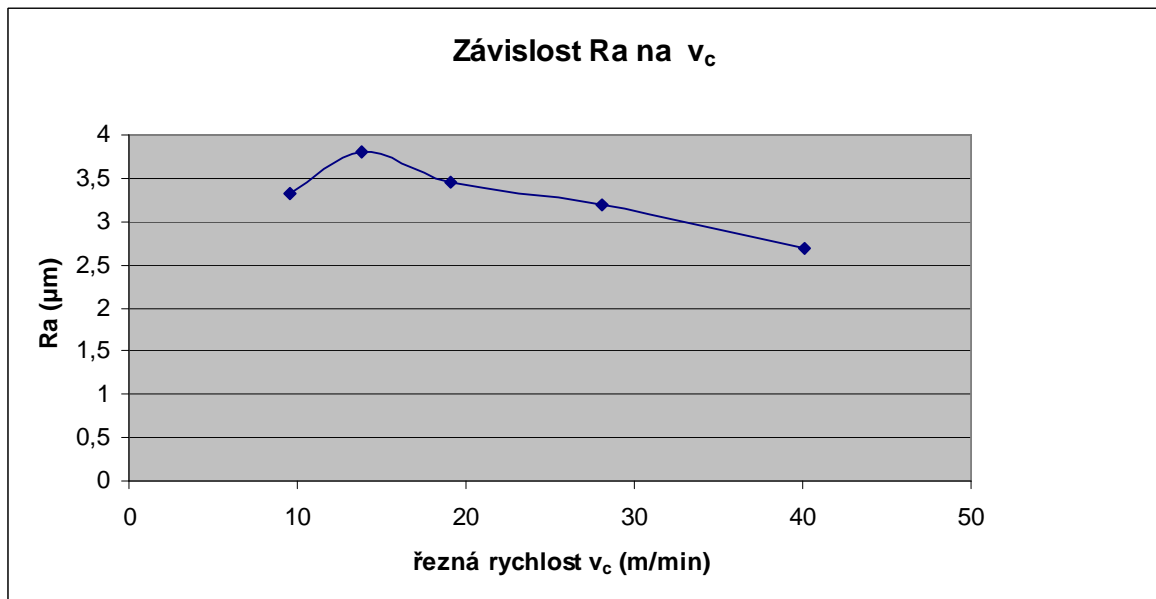
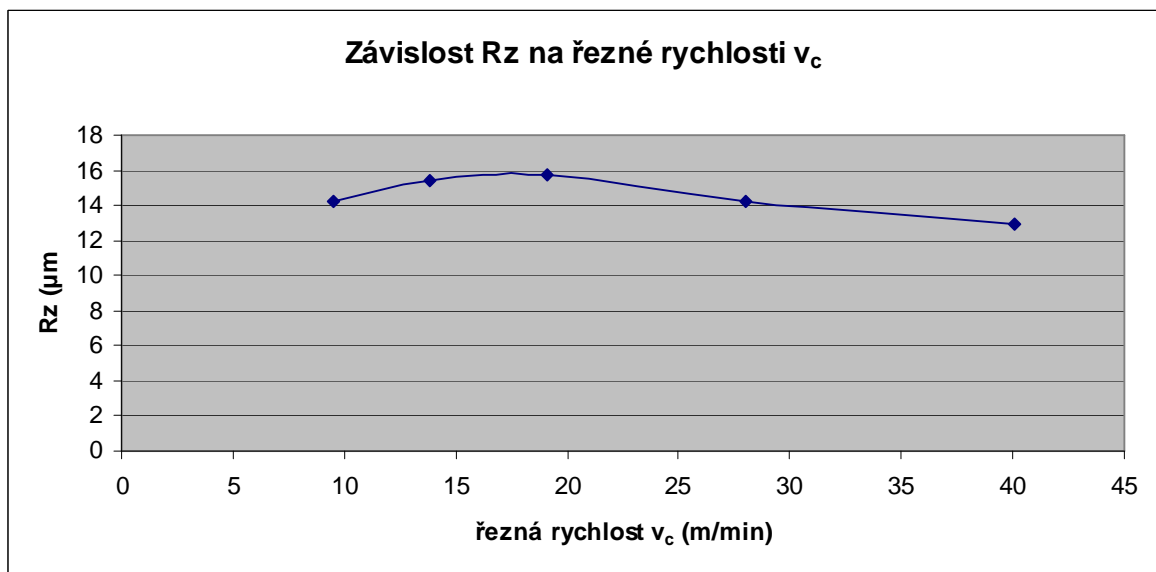
vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 40,1$ m/min					vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 28,1$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	2,44	2,43	12,59	10,91	1	3,89	3,67	14,77	14,31
2	2,46	3,59	12,34	15,85	2	2,67	2,84	12	12,18
3	2,24	2,22	11,3	12,48	3	3,29	3,09	18,23	15,55
4	2,38	3,79	11,35	16,53	4	2,76	3,36	12,94	13,77
arit. průměr	<b>2,38</b>	<b>3,01</b>	<b>11,90</b>	<b>13,94</b>	arit. průměr	<b>3,15</b>	<b>3,24</b>	<b>14,49</b>	<b>13,95</b>
celk. průměr	<b>2,69</b>		<b>12,92</b>		celk. průměr	<b>3,2</b>		<b>14,22</b>	

Tab. 10. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro PA66

vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 19,1$ m/min					vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 13,8$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	4,37	2,93	17,49	15,49	1	4,49	4,55	17,32	18,81
2	2,68	3,29	12,5	14,38	2	3,66	3,44	11,75	13,4
3	3,1	3,69	15	17,02	3	3,3	3,41	15,19	14,74
4	3,69	3,9	16,78	17,13	4				
arit. průměr	<b>3,46</b>	<b>3,45</b>	<b>15,44</b>	<b>16,01</b>	arit. průměr	3,81	3,80	15,20	15,65
celk. průměr	<b>3,46</b>		<b>15,72</b>		celk. průměr	<b>3,8</b>		<b>15,43</b>	

Tab. 11. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro PA66

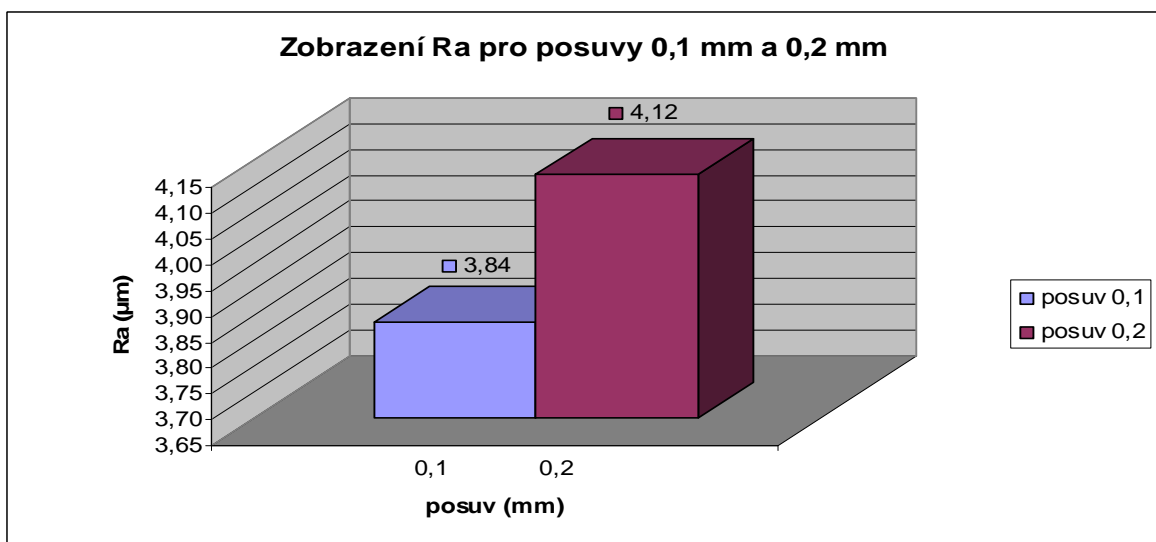
vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 9,5$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	3,91	3,44	14,32	14,13
2	2,79	2,38	11,7	12,31
3	3,67	3,81	15,05	15,55
4	3,45	3,19	16,38	14,22
arit. průměr	<b>3,46</b>	<b>3,21</b>	<b>14,36</b>	<b>14,05</b>
celk. průměr	<b>3,33</b>		<b>14,21</b>	

Obr. 54. grafická závislost Ra na řezné rychlosti  $v_c$  pro PA66Obr. 55. grafická závislost Rz na řezné rychlosti  $v_c$  pro PA66

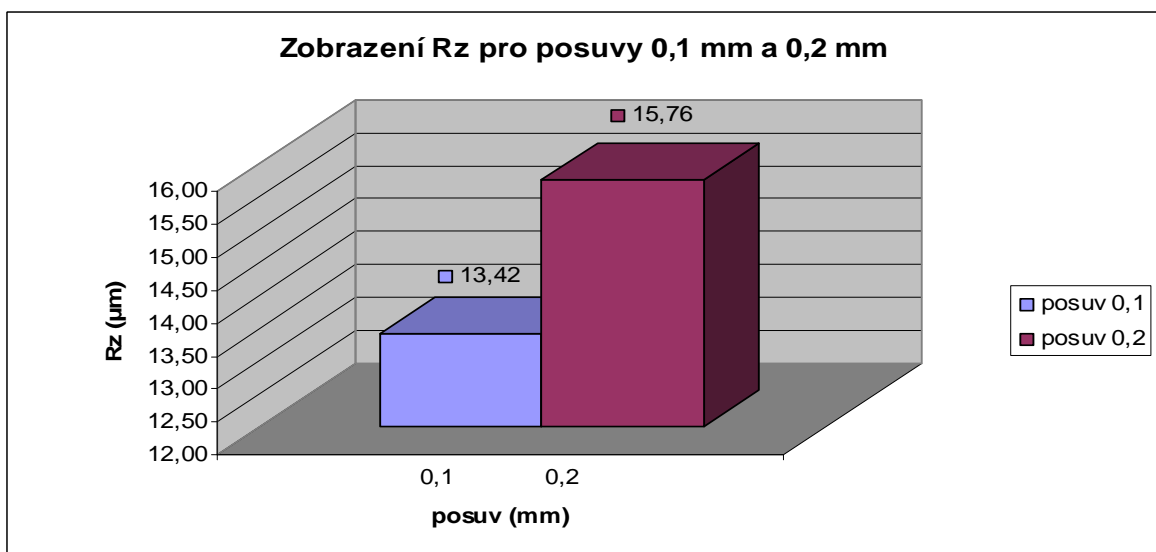
Drsnost Ra a Rz pro vrtáky s povlakem titanu

Tab. 12. naměřená data vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro PA66

vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 27,4$ m/min					vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,2 mm; $v_c = 27,4$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	3,93	4,15	13,52	12,96	1	3,91	4,31	15,21	15,44
2	3,76	3,83	13,21	13,93	2	4,14	4,05	16,16	16,08
3	3,54	3,67	12,84	14,09	3	3,98	3,93	14,62	13,7
4	3,77	4,04	12,8	13,98	4	4,2	4,46	17,1	17,77
arit. průměr	<b>3,75</b>	<b>3,92</b>	<b>13,09</b>	<b>13,74</b>	arit. průměr	<b>4,06</b>	<b>4,19</b>	<b>15,77</b>	<b>15,75</b>
celk. průměr	<b>3,84</b>		<b>13,42</b>		celk. průměr	<b>4,12</b>		<b>15,76</b>	



Obr. 56. grafické zobrazení Ra vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro PA66



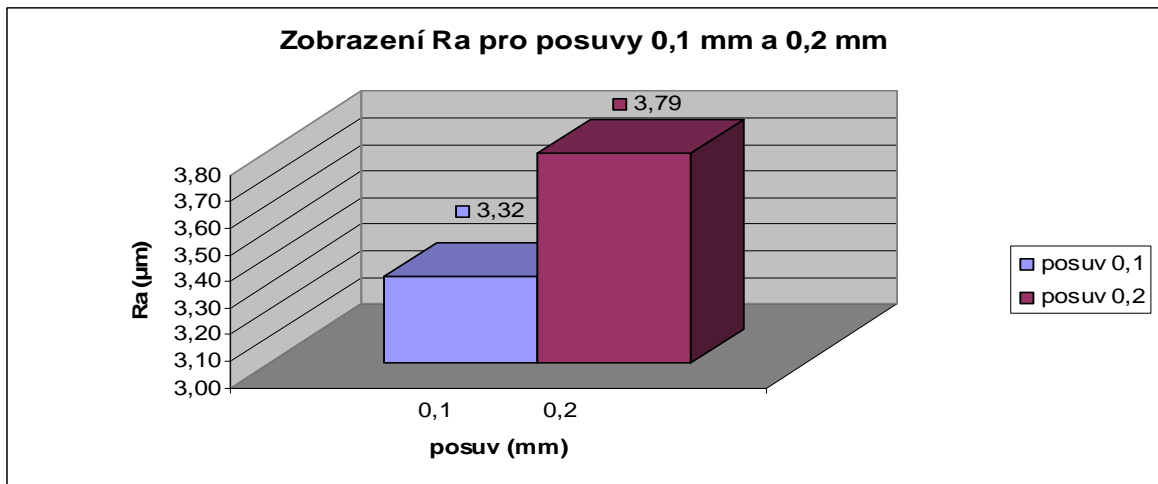
Obr. 57. grafické zobrazení Rz vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro PA66

7.1.3 Materiál – Ocel 11 600

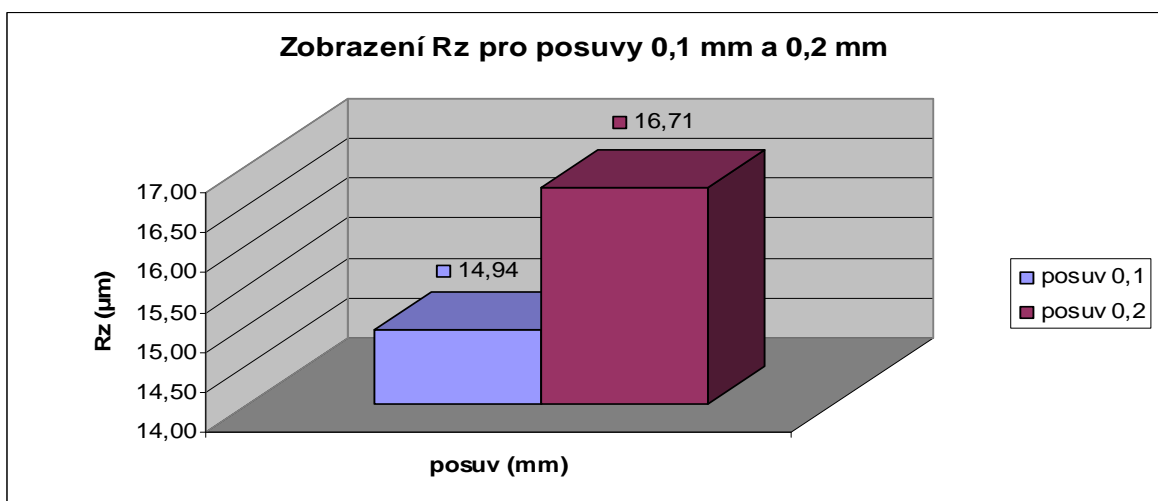
Drsnost Ra a Rz pro vrtáky z rychlořezné oceli

Tab. 13. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11 600

vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 27,4$ m/min					vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,2 mm; $v_c = 27,4$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	2,92	3,19	14,06	13,4	1	3,93	4,13	16,79	18,65
2	3,57	2,47	15,51	12,26	2	3,88	3,89	15,93	15,01
3	3,99	3,63	16,01	17,3	3	3,65	3,68	15,14	16,79
4	3,49	3,74	15,94	16,53	4	3,59	4	16,11	17,32
5	2,72	3,52	12,35	16,03	5	3,52	3,63	18,18	17,17
arit. průměr	<b>3,34</b>	<b>3,31</b>	<b>14,77</b>	<b>15,10</b>	arit. průměr	<b>3,71</b>	<b>3,87</b>	<b>16,43</b>	<b>16,99</b>
celk. průměr	<b>3,32</b>		<b>14,94</b>		celk. průměr	<b>3,79</b>		<b>16,71</b>	



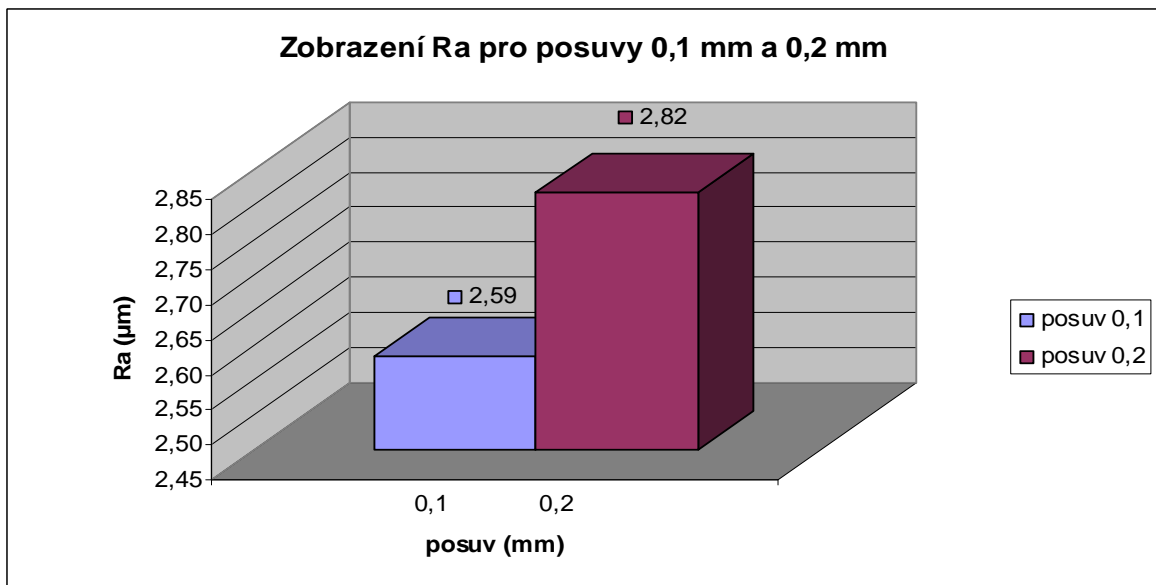
Obr. 58. grafické zobrazení Ra vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11600



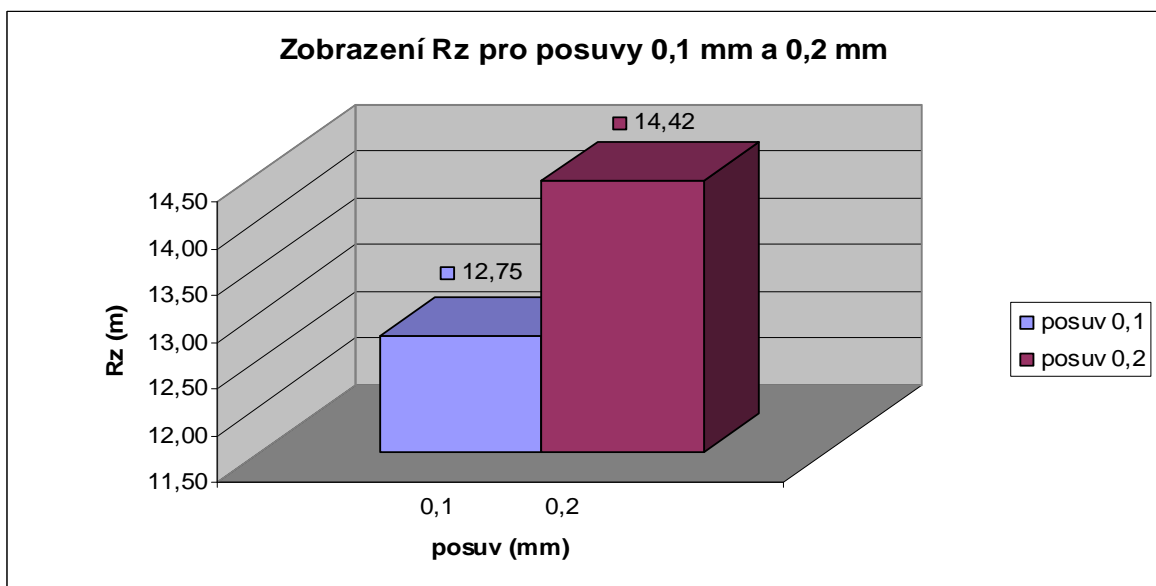
Obr. 59. grafické zobrazení Rz vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11 600

Tab. 14. naměřená data vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro ocel 11 600

vrták $\varnothing 6$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 25,5$ m/min					vrták $\varnothing 6$ mm; posuv 0,2 mm; $v_c = 25,5$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	2,4	2,82	13,03	12,81	1	2,67	2,97	13,45	14,31
2	2,41	2	12,76	13,51	2	3,06	2,64	17,15	14,21
3	2,38	2,73	12,31	12,88	3	2,99	3,66	13,92	14,82
4	3,01	2,93	12,36	12,32	4	2,23	2,33	14,28	13,18
arit. průměr	<b>2,55</b>	<b>2,62</b>	<b>12,62</b>	<b>12,88</b>	arit. průměr	<b>2,74</b>	<b>2,90</b>	<b>14,70</b>	<b>14,13</b>
celk. průměr	<b>2,59</b>		<b>12,75</b>		celk. průměr	<b>2,82</b>		<b>14,42</b>	



Obr. 60. grafické zobrazení Ra vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro ocel 11600



Obr. 61. grafické zobrazení Rz vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro ocel 11600

Tab. 15. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro ocel 11 600

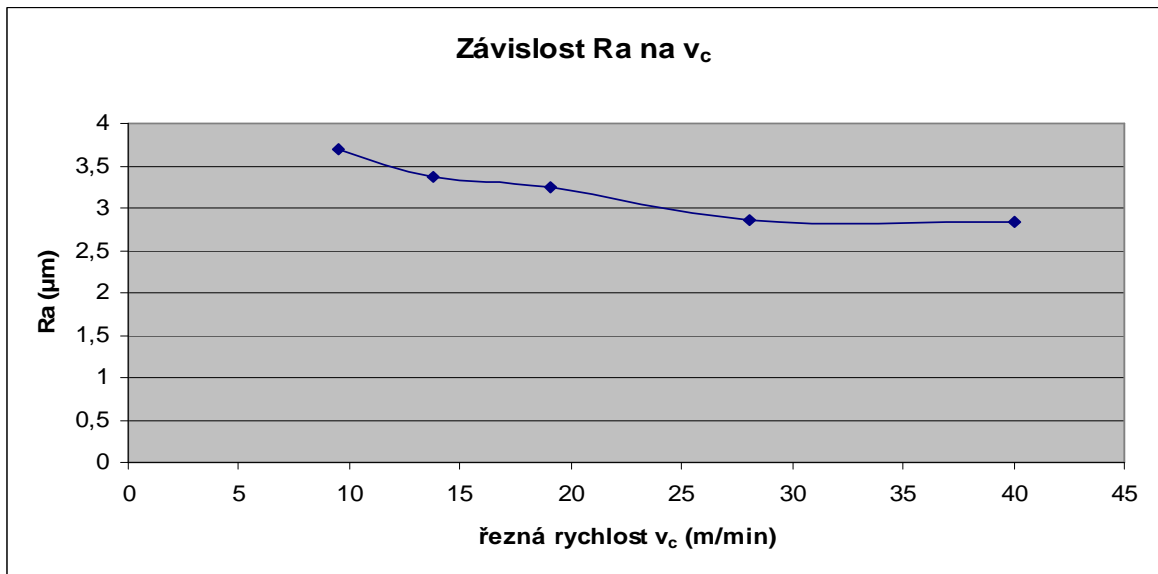
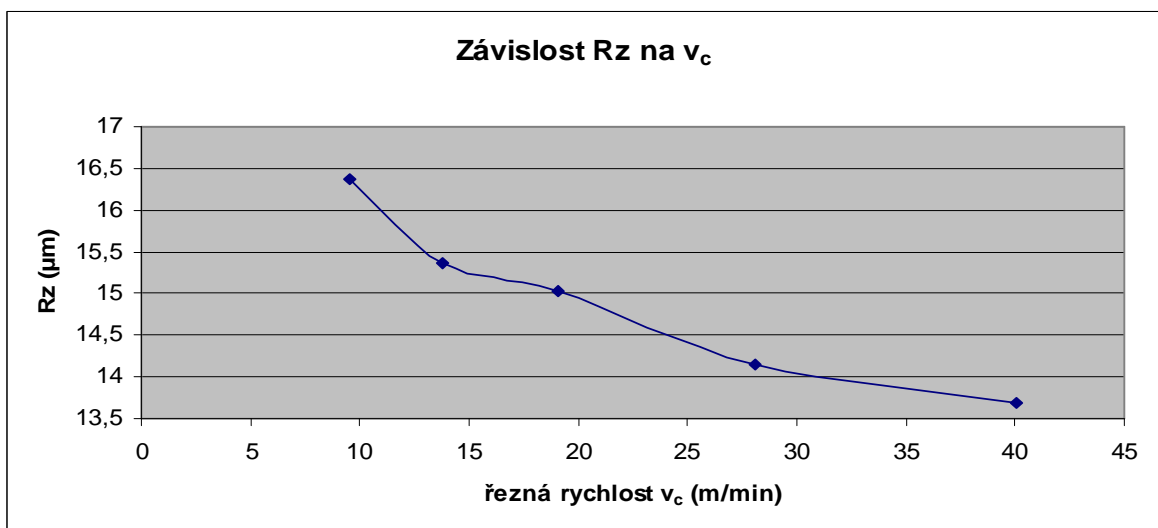
vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 40,1$ m/min					vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 28,1$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	3,12	3,07	15,06	13,28	1	2,86	2,38	12,96	11,89
2	2,8	2,82	13,66	14,88	2	2,82	2,8	15	16,39
3	2,84	2,36	14,35	10,91	3	3,12	3,14	13,98	14,76
arit. průměr	<b>2,92</b>	<b>2,75</b>	<b>14,36</b>	<b>13,02</b>	arit. průměr	<b>2,93</b>	<b>2,77</b>	<b>13,98</b>	<b>14,35</b>
celk. průměr	<b>2,84</b>		<b>13,69</b>		celk. průměr	<b>2,85</b>		<b>14,16</b>	

Tab. 16. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro ocel 11 600

vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 19,1$ m/min					vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 13,9$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	2,98	3,63	15,06	18,46	1	3,56	3,25	16,17	15,39
2	3,33	3,21	14,52	14,41	2	3,56	3,32	16,03	16,17
3	3,07	3,25	14,58	13,22	3	3,09	3,46	13,72	14,76
arit. průměr	<b>3,13</b>	<b>3,36</b>	<b>14,72</b>	<b>15,36</b>	arit. průměr	<b>3,40</b>	<b>3,34</b>	<b>15,31</b>	<b>15,44</b>
celk. průměr	<b>3,25</b>		<b>15,04</b>		celk. průměr	<b>3,37</b>		<b>15,37</b>	

Tab. 17. naměřená data vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro ocel 11 600

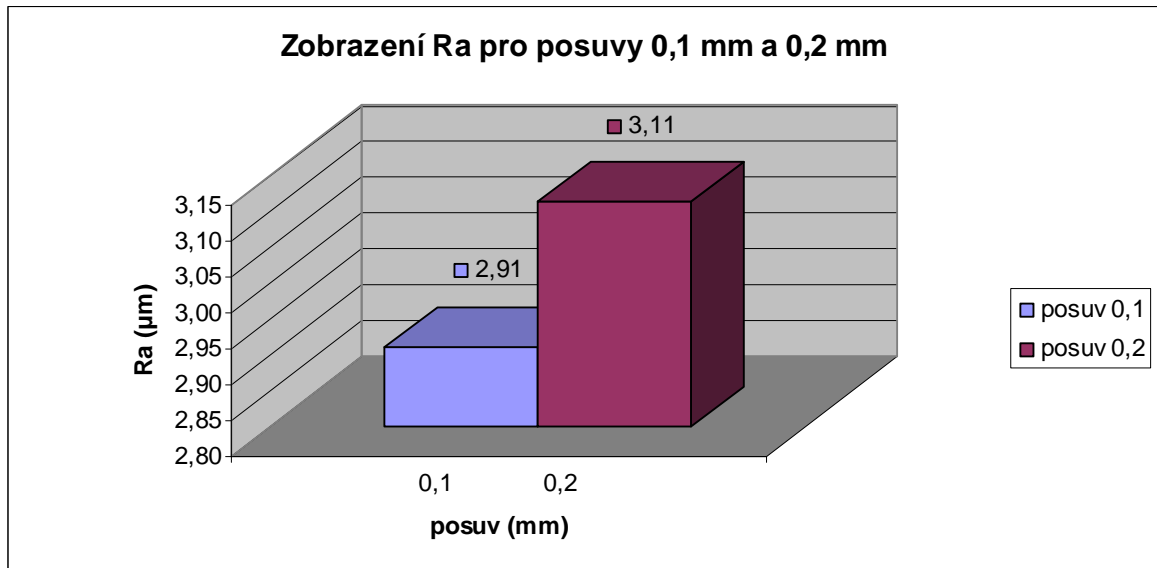
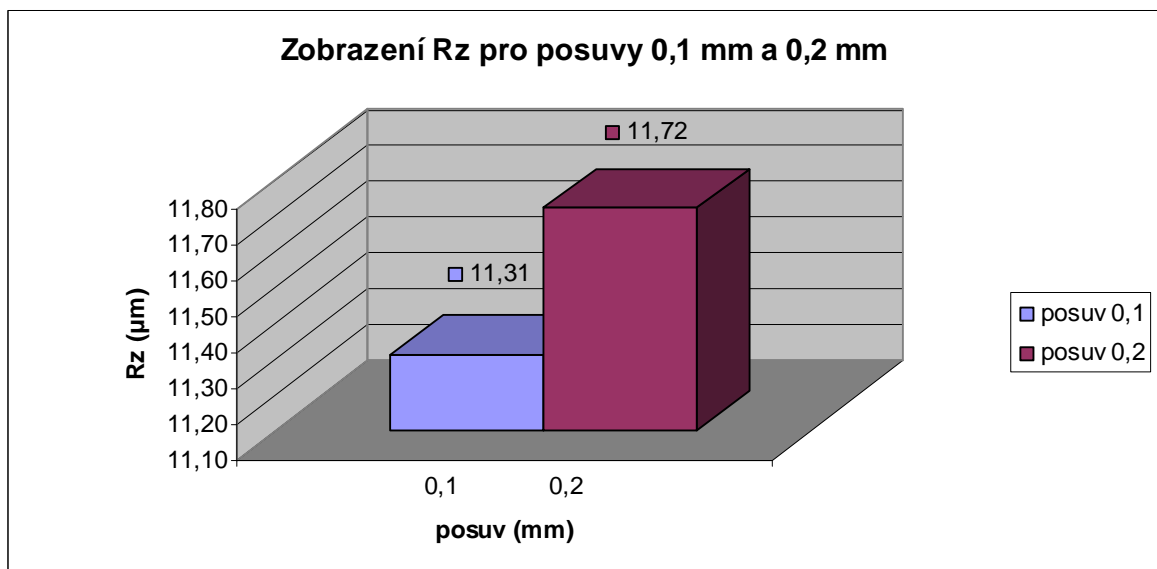
vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 9,5$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	3,77	3,59	15,87	15,36
2	3,65	3,87	15,97	17,67
3	3,8	3,53	16,94	16,46
4				
arit. průměr	<b>3,74</b>	<b>3,66</b>	<b>16,26</b>	<b>16,50</b>
celk. průměr	<b>3,7</b>		<b>16,38</b>	


 Obr. 62. grafická závislost Ra na řezné rychlosti  $v_c$  pro ocel 11 600

 Obr. 63. grafická závislost Rz na řezné rychlosti  $v_c$  pro ocel 11 600

#### Drsnost Ra a Rz pro vrtáky s povlakem titanu

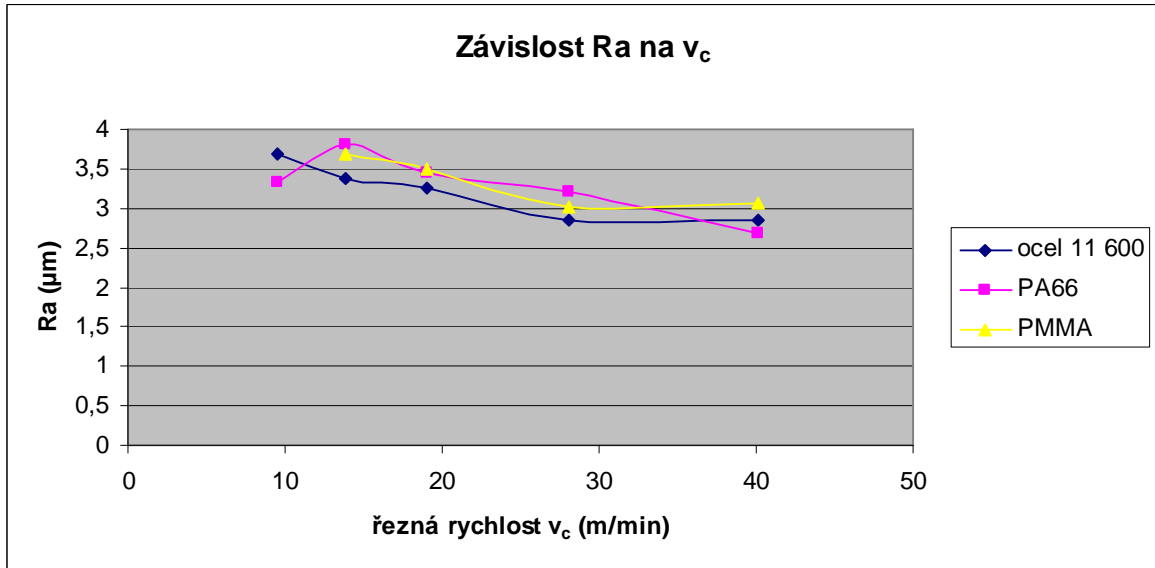
 Tab. 18. naměřená data vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11 600

vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,1 mm; $v_c = 27,4$ m/min					vrták $\varnothing 8$ mm; posuv 0,2 mm; $v_c = 27,4$ m/min				
	Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )		Ra( $\mu\text{m}$ )	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )	Rz( $\mu\text{m}$ )
1	2,74	3,11	12,05	11,34	1	2,7	2,91	11,31	10,55
2	3,26	3,13	11,22	10,85	2	3,14	3,32	10,95	10,64
3	2,85	2,8	12,16	10,38	3	3,26	2,9	13,78	11,45
4	2,85	3,05	11,29	10,88	4	3,45	3,22	12,08	12,99
5	2,55	2,77	10,87	12,04	5				
arit. průměr	<b>2,85</b>	<b>2,97</b>	<b>11,52</b>	<b>11,10</b>	arit. průměr	<b>3,28</b>	<b>3,15</b>	<b>12,27</b>	<b>11,69</b>
celk. průměr	<b>2,91</b>		<b>11,31</b>		celk. průměr	<b>3,11</b>		<b>11,72</b>	

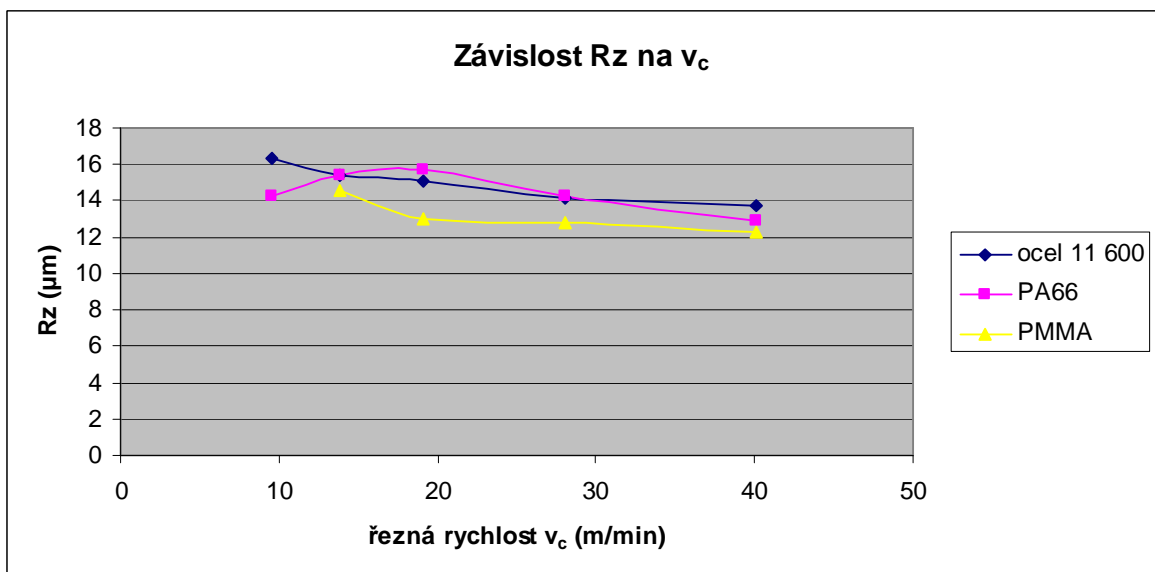
Obr. 64. grafické zobrazení Ra vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11600Obr. 65. grafické zobrazení Rz vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11600



#### 7.1.4 Porovnání drsností povrchu se změnou řezné rychlosti $v_c$ u oceli 11600, PA66 a PMMA



Obr. 66. grafické porovnání Ra při změně řezné rychlosti  $v_c$



Obr. 67. grafické porovnání Rz při změně řezné rychlosti  $v_c$

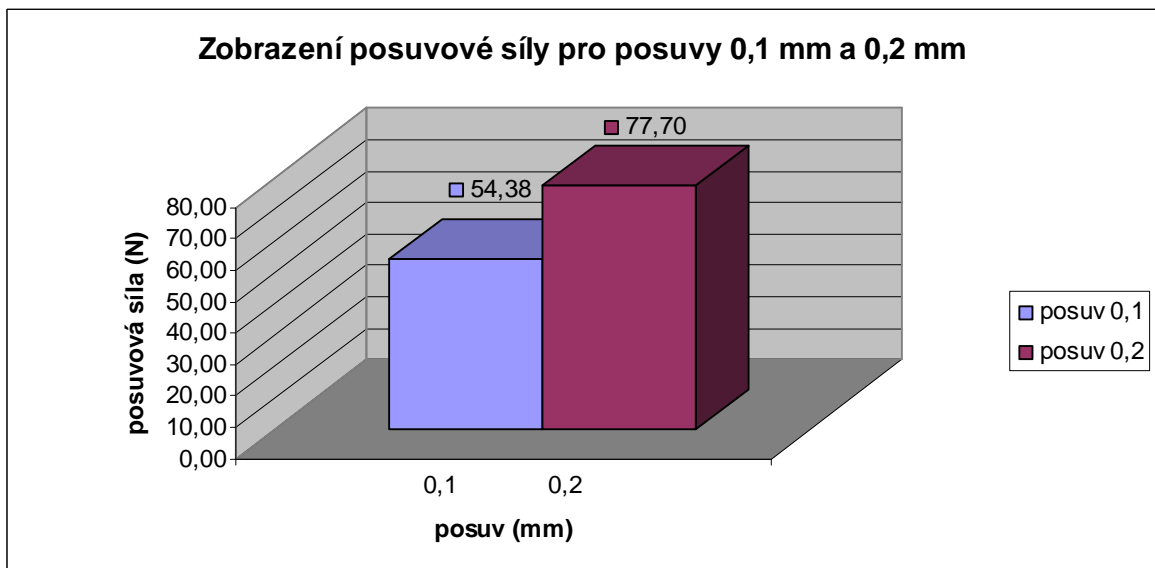
## 7.2 Vliv posuvu na posuvovou sílu vrtaných děr

### 7.2.1 Materiál – Polymethylmethakrylát – PMMA

#### Posuvová síla pro vrtáky z rychlořezné oceli

Tab. 19. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 5$  mm pro PMMA

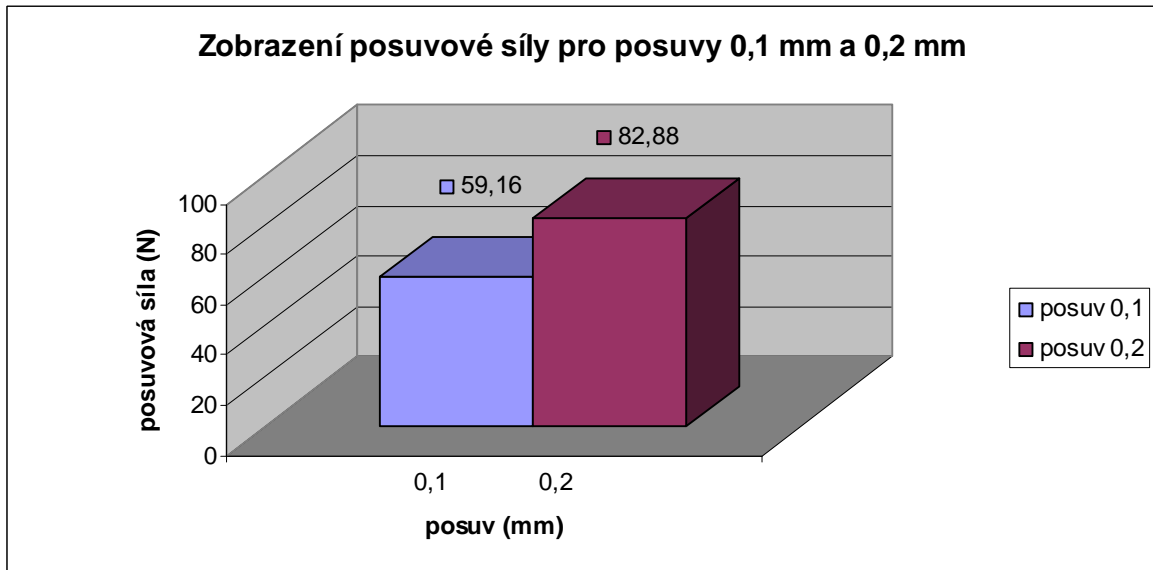
vrták $\varnothing 5$ mm; $v_c = 22,8$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	61,34	57,07	49,63	50,06	53,78	<b>54,38</b>
posuv 0,2 mm	73,77	75,03	81,54	82,07	76,1	<b>77,7</b>



Obr. 68. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku  $\varnothing 5$  mm pro PMMA

Tab. 20. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro PMMA

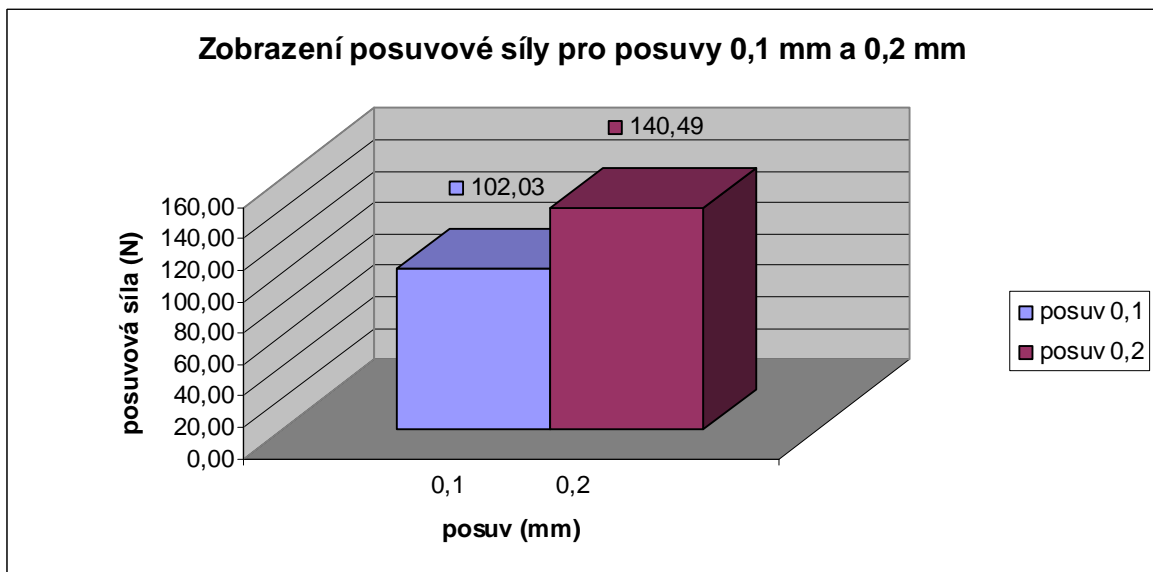
vrták $\varnothing 6$ mm; $v_c = 25,5$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	47,16	56,36	61,92	64,48	65,89	<b>51,16</b>
posuv 0,2 mm	79,14	81,68	91,42	79,67	82,47	<b>82,88</b>



Obr. 69. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro PMMA

Tab. 21. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro PMMA

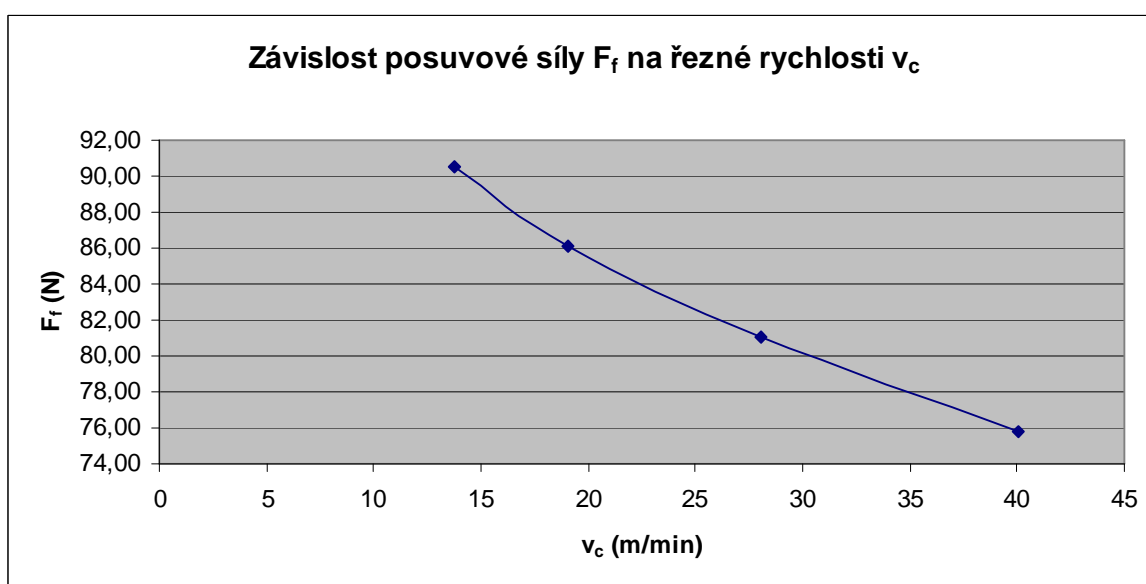
vrták $\varnothing 8$ mm; $v_c = 27,4$ m/min					
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	91	97,69	113,66	105,75	<b>102,03</b>
posuv 0,2 mm	131,39	130,19	163	137,38	<b>140,49</b>



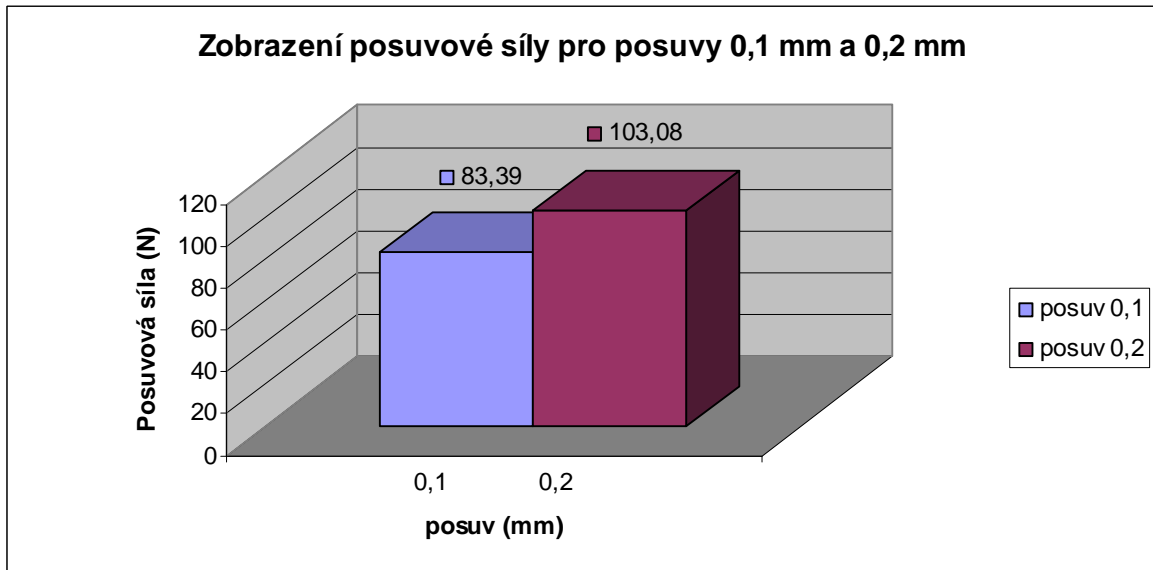
Obr. 70. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PMMA

Tab. 22. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro PMMA

vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm					
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
otáčky 1450	80,13	76,11	73,26	73,68	<b>75,8</b>
otáčky 1015	84,14	74,62	84,29		<b>81,02</b>
otáčky 690	89,66	87,9	80,79	82,26	<b>85,15</b>
otáčky 500	87,69	88,38	92,49	73,68	<b>90,52</b>

Obr. 71. grafická závislost posuvové síly na řezné rychlosti vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro PMMAPosuvová síla pro vrtáky s povlakem titanuTab. 23. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PMMA

vrták $\varnothing 8$ mm; $v_c = 27,4$ m/min					
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	87,71	83,21	79,25		<b>83,39</b>
posuv 0,2 mm	114,9	93,19	100,94	103,28	<b>103,08</b>



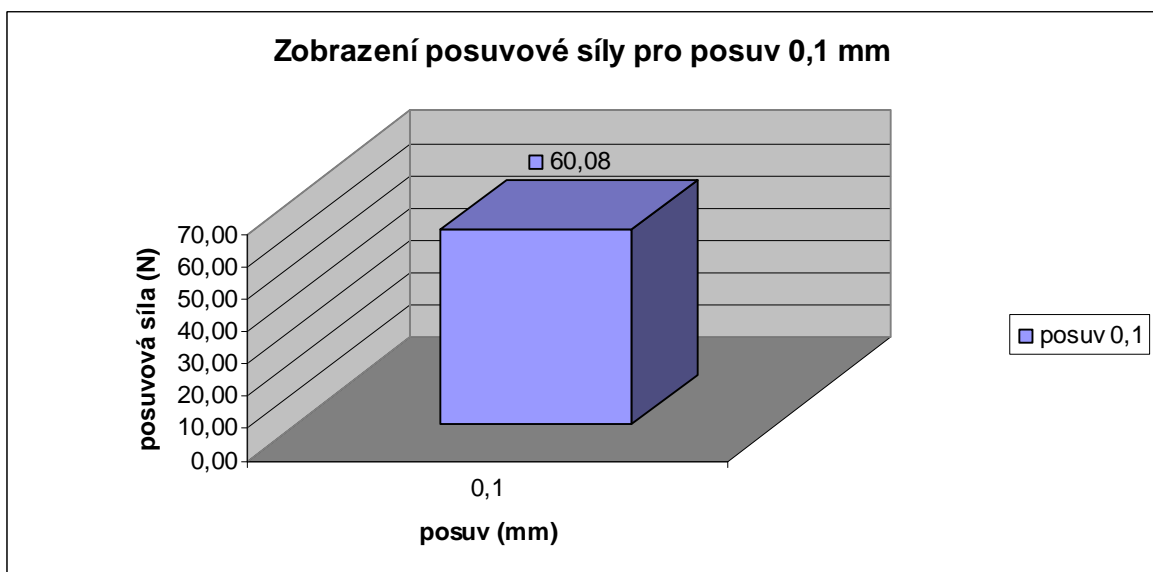
Obr. 72. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro PMMA

### 7.2.2 Materiál – Polyamid – PA66

#### Posuvová síla pro vrtáky z rychlořezné oceli

Tab. 24. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 5$  mm pro PA66

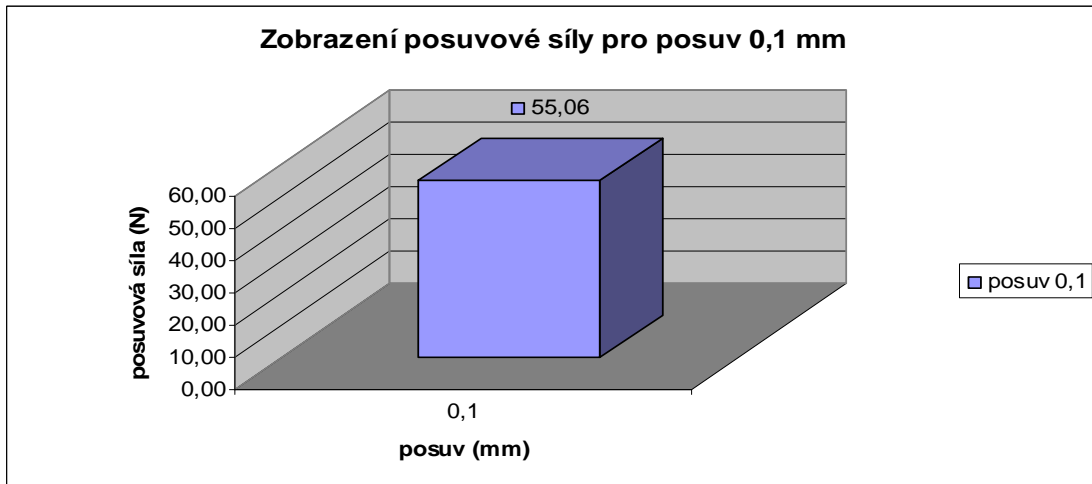
vrták $\varnothing 5$ mm; $v_c = 22,8$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	62,61	64,23	63,49	50,23	59,83	<b>60,08</b>



Obr. 73. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku  $\varnothing 5$  mm pro PA66

Tab. 25. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro PA66

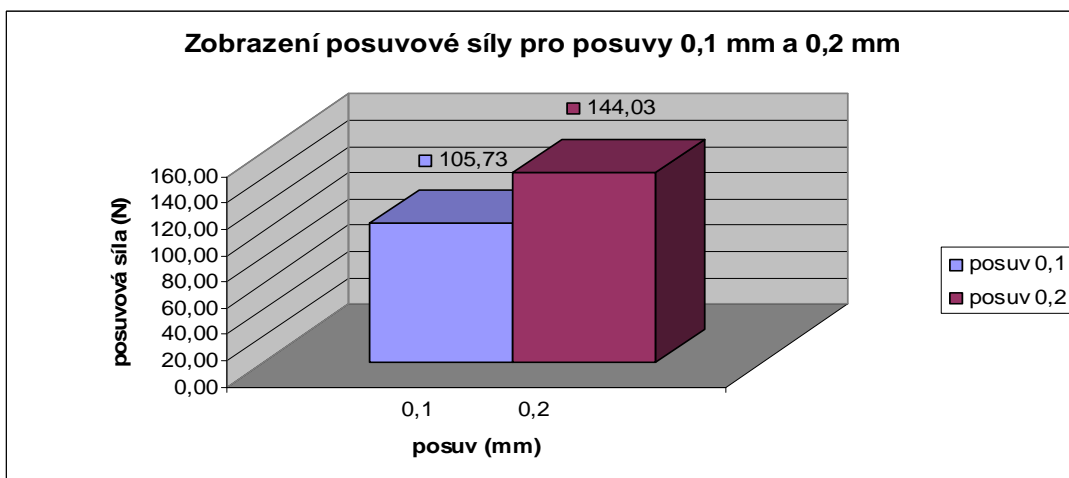
vrták $\varnothing 6$ mm; $v_c = 25,5$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	42,89	55,32	53,58	60,02	63,48	<b>55,06</b>



Obr. 74. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro PA66

Tab. 26. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PA66

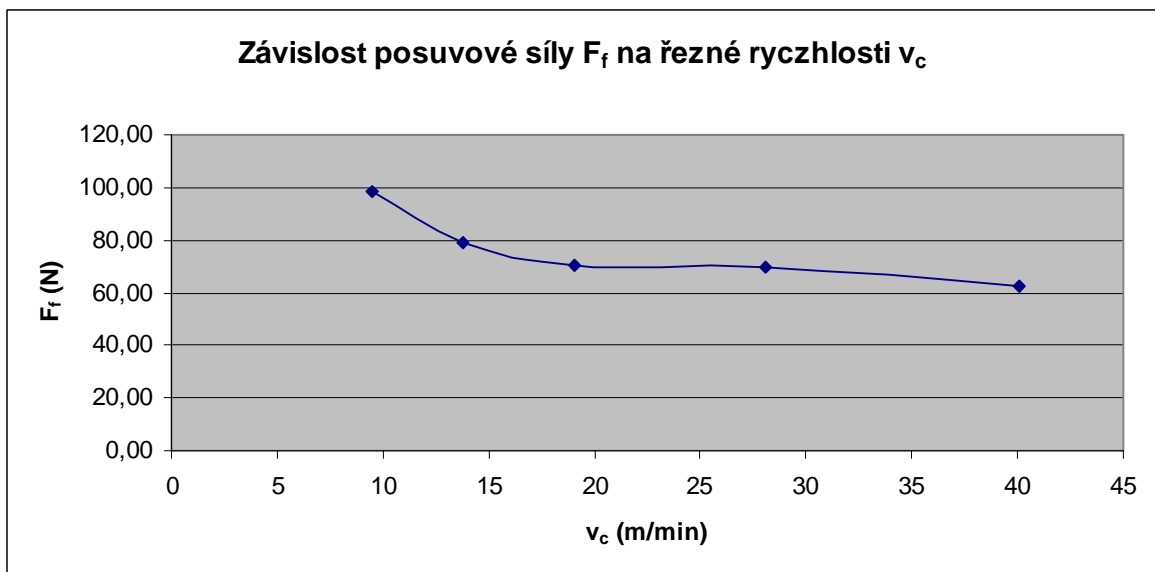
vrták $\varnothing 8$ mm; $v_c = 27,4$ m/min					
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	101,67	102,17	99,99	119,08	<b>105,73</b>
posuv 0,2 mm	143,57	144,49			<b>144,03</b>



Obr. 75. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro PA66

Tab. 27. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro PA66

vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm					
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
otáčky 1450	63,35	59,85	66,71	61,18	<b>62,77</b>
otáčky 1015	61,34	74,31	71,55	70,51	<b>69,43</b>
otáčky 690	72,9	79,07	67,99	60,49	<b>70,11</b>
otáčky 500	82,05	74,36	80,89		<b>79,1</b>
otáčky 345	92,33	105,45	97,89	99,25	<b>98,73</b>

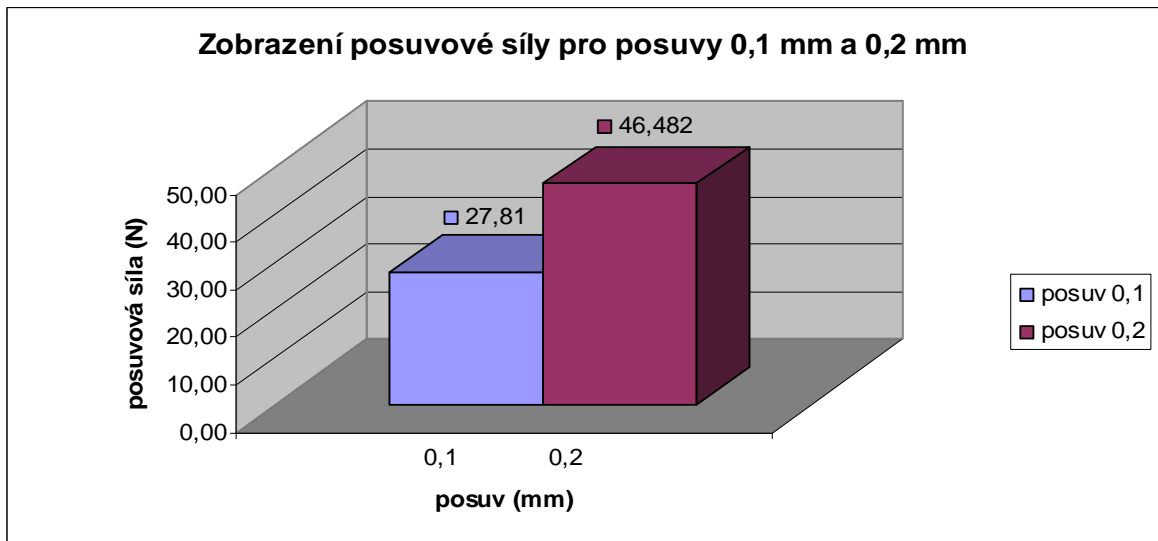


Obr. 76. grafická závislost posuvové síly na řezné rychlosti vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro PA66

#### Posuvová síla pro vrtáky s povlakem titanu

Tab. 28. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 5$  mm pro PA66

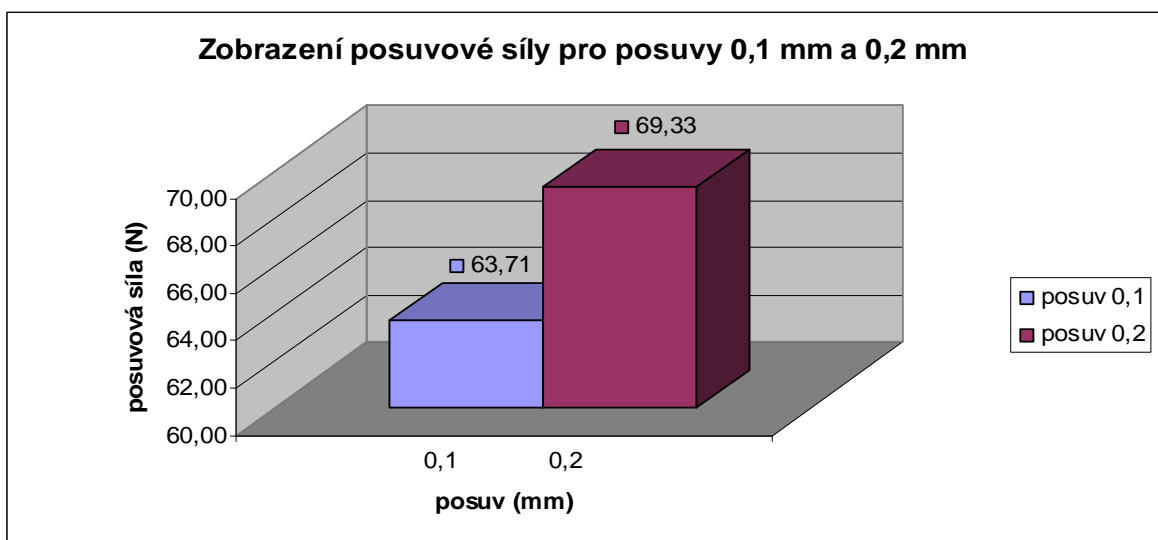
vrták $\varnothing 5$ mm; $v_c = 22,8$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	26,58	28,36	29,76	29,19	25,17	<b>27,81</b>
posuv 0,2 mm	45,92	50,45	46,26	50,71	39,07	<b>46,48</b>



Obr. 77. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 5$  mm pro PA66

Tab. 29. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 5$  mm pro PA66

vrták $\varnothing 8$ mm; $v_c = 27,4$ m/min					
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	54,15	64,66	70,68	65,36	<b>63,71</b>
posuv 0,2 mm	64,4	66,45	75,03	71,44	<b>69,33</b>



Obr. 78. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro PA66

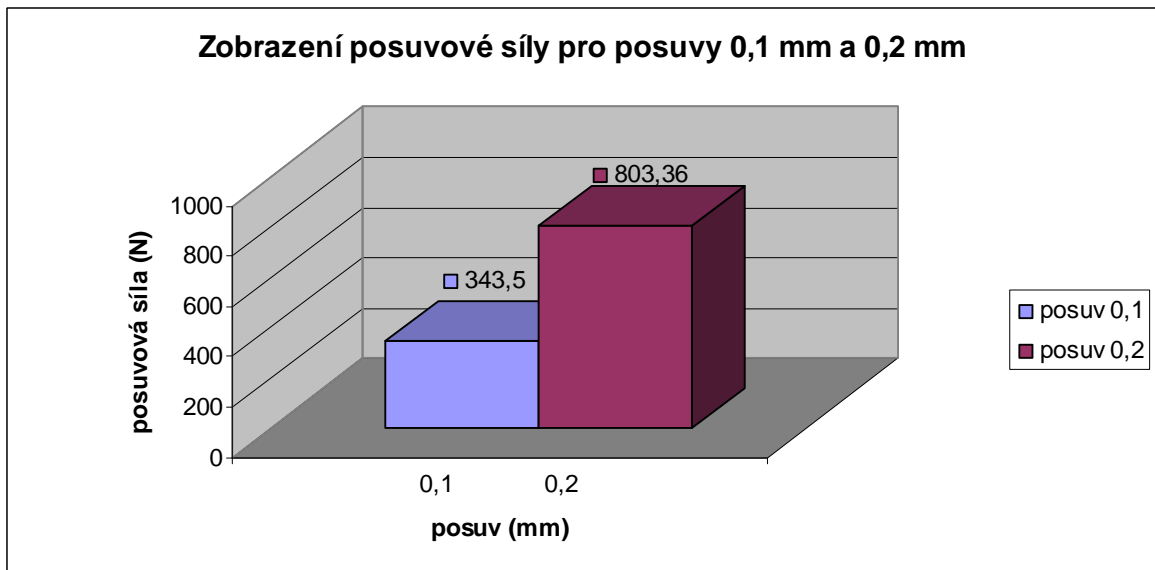


### 7.2.3 Materiál – ocel 11 600

#### Posuvová síla pro vrtáky z rychlořezné oceli

Tab. 30. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11 600

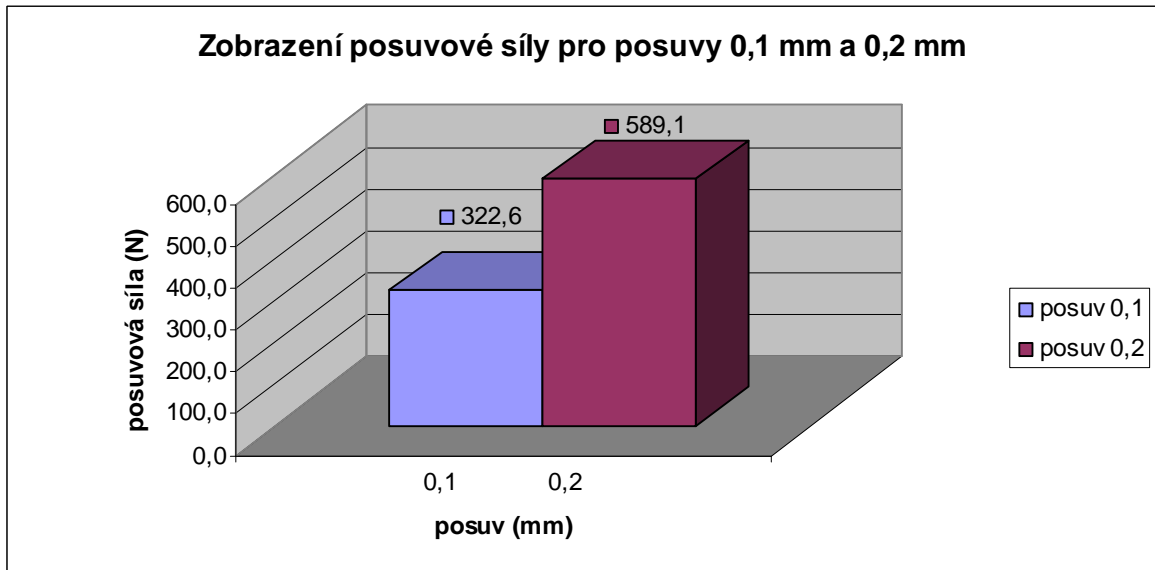
vrták $\varnothing 5$ mm; $v_c = 22,8$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	269,7	347,9	374,1	347,9	377,9	<b>343,5</b>
posuv 0,2 mm	718,9	721,5	649,3	708,2	1218,9	<b>803,36</b>



Obr. 79. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku  $\varnothing 5$  mm pro ocel 11 600

Tab. 31. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro ocel 11 600

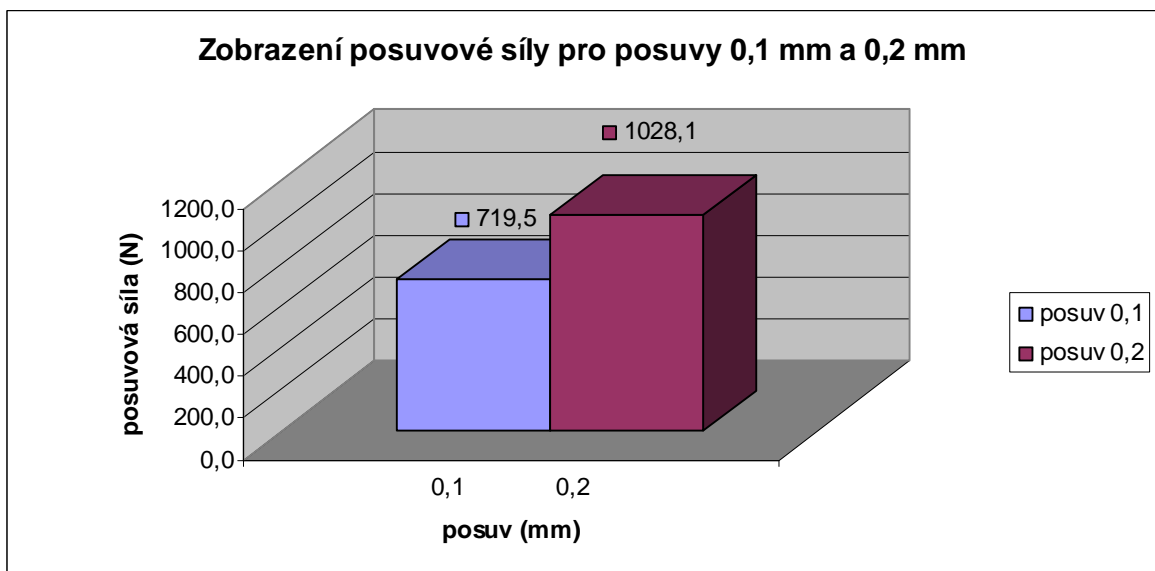
vrták $\varnothing 6$ mm; $v_c = 25,5$ m/min					
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	324,1	319,5	311,5	335,1	<b>322,6</b>
posuv 0,2 mm	602,3	688,1	522,9	543,1	<b>589,1</b>



Obr. 80. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku  $\varnothing 6$  mm pro ocel 11 600

Tab. 32. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11 600

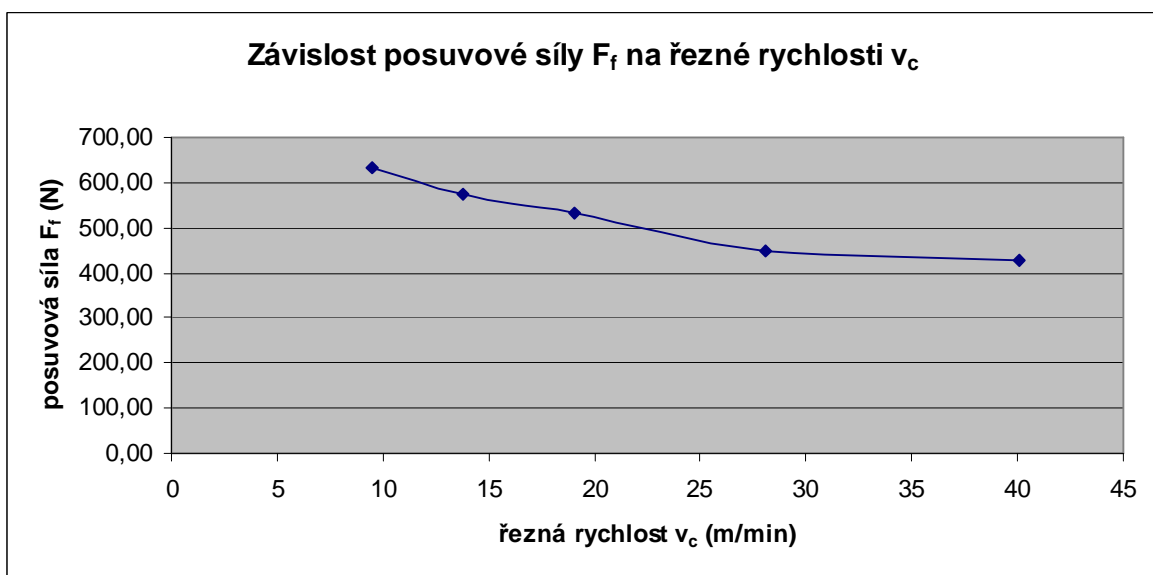
vrták $\varnothing 8$ mm; $v_c = 27,4$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	527,8	858,5	772,1			<b>719,5</b>
posuv 0,2 mm	1306,5	1123	982,9	866,8	861,5	<b>1028,1</b>



Obr. 81. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11 600

Tab. 33. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro ocel 11 600

vrták $\varnothing 8,8$ mm; posuv 0,1 mm				
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
otáčky 1450	346,1	486,7	452,2	<b>428,37</b>
otáčky 1015	445,8	417,3	480,7	<b>447,93</b>
otáčky 690	509,9	513,8	578,6	<b>534,1</b>
otáčky 500	483,3	631,3	607,3	<b>573,97</b>
otáčky 345	658,7	611,6	632,9	<b>634,4</b>

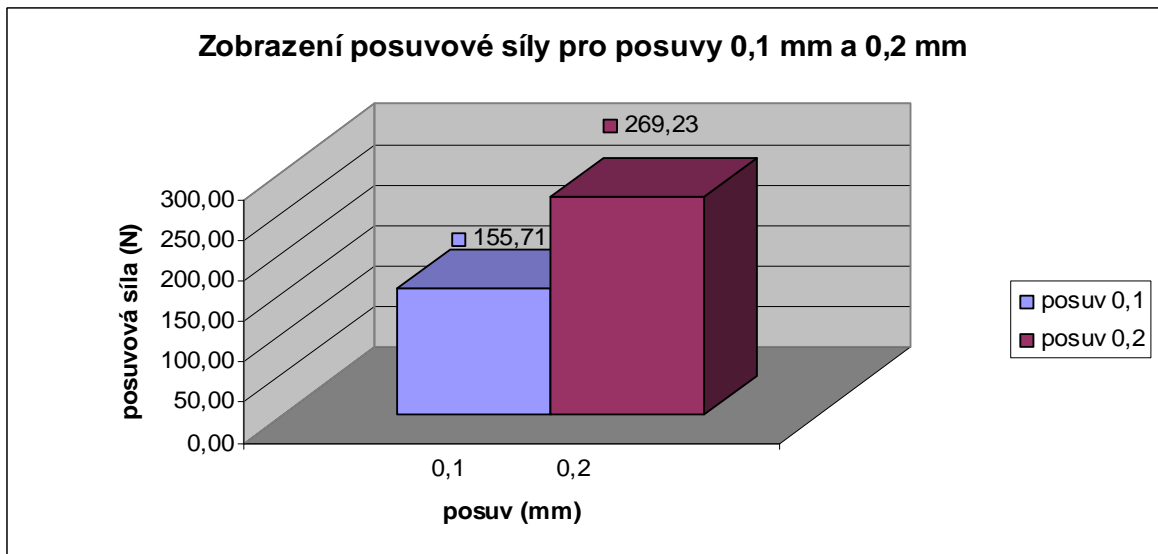


Obr. 82 grafická závislost posuvové síly na řezné rychlosti vrtáku  $\varnothing 8,8$  mm pro ocel 11 600

#### Posuvová síla pro vrtáky s povlakem titanu

Tab. 34. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 4$  mm pro ocel 11 600

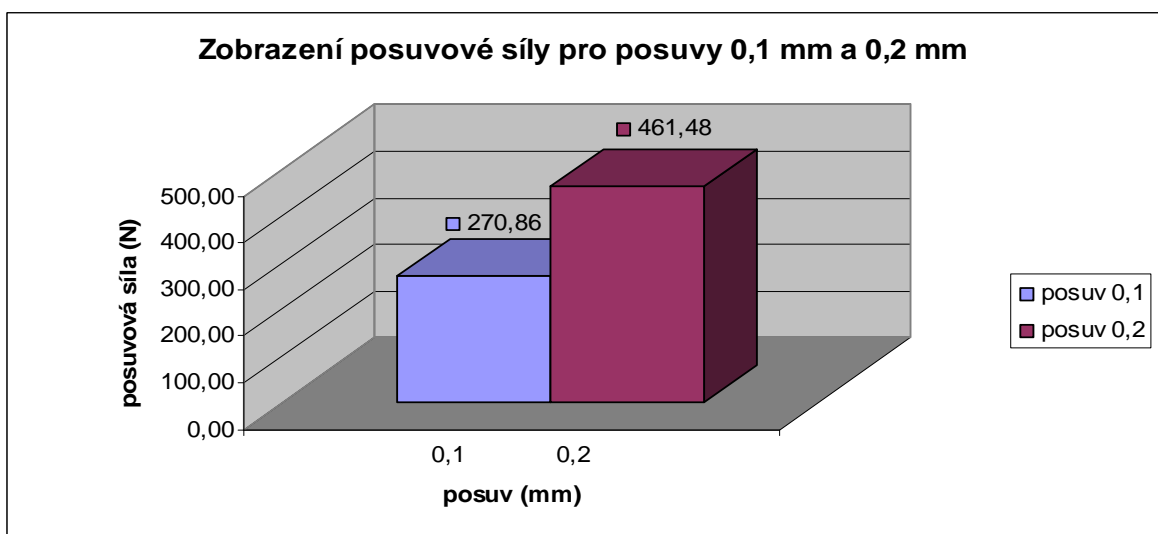
vrták $\varnothing 4$ mm; $v_c = 18,2$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	126,41	145,06	171,49	163,57	172,01	<b>155,71</b>
posuv 0,2 mm	249,9	276,9	280,9			<b>269,23</b>



Obr. 83. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 4$  mm pro ocel 11 600

Tab. 35. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 5$  mm pro ocel 11 600

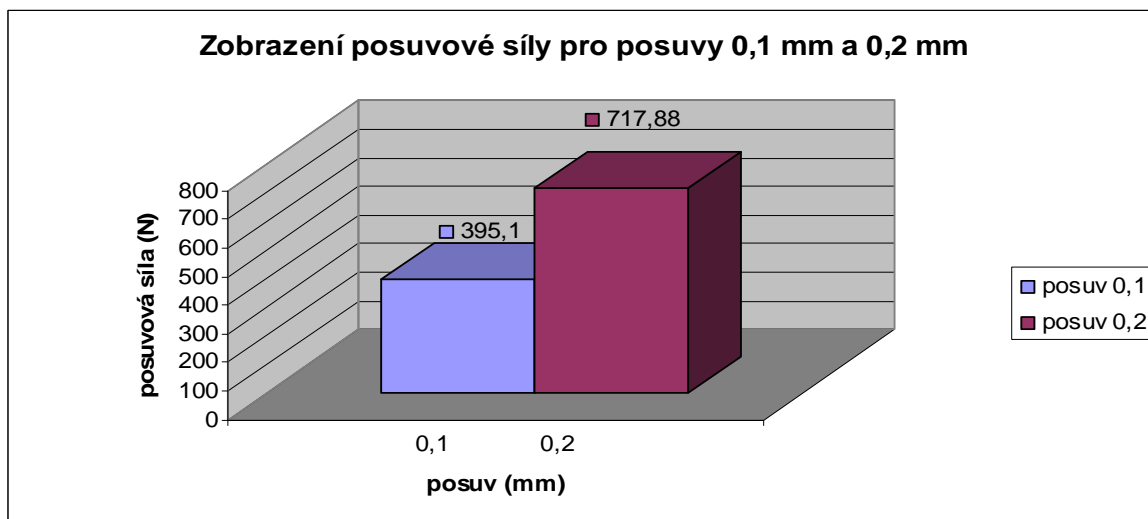
vrták $\varnothing 5$ mm; $v_c = 22,8$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	209,61	272,2	283	278,1	311,4	<b>270,86</b>
posuv 0,2 mm	440,5	452,7	464,6	517,4	432,2	<b>461,48</b>



Obr. 84. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 5$  mm pro ocel 11 600

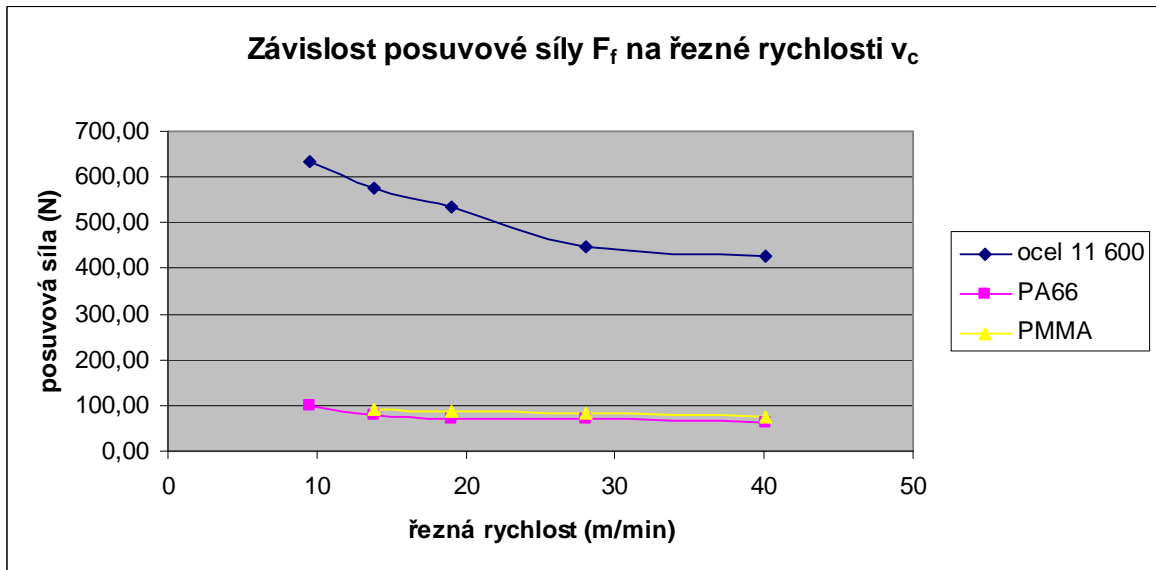
Tab. 36. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11 600

vrták $\varnothing 8$ mm; $v_c = 27,4$ m/min						
	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	arit. průměr	celk. průměr
posuv 0,1 mm	332,7	402,9	415,6	445,5	378,8	<b>395,1</b>
posuv 0,2 mm	498,9	763,8	801,2	807,6		<b>717,88</b>



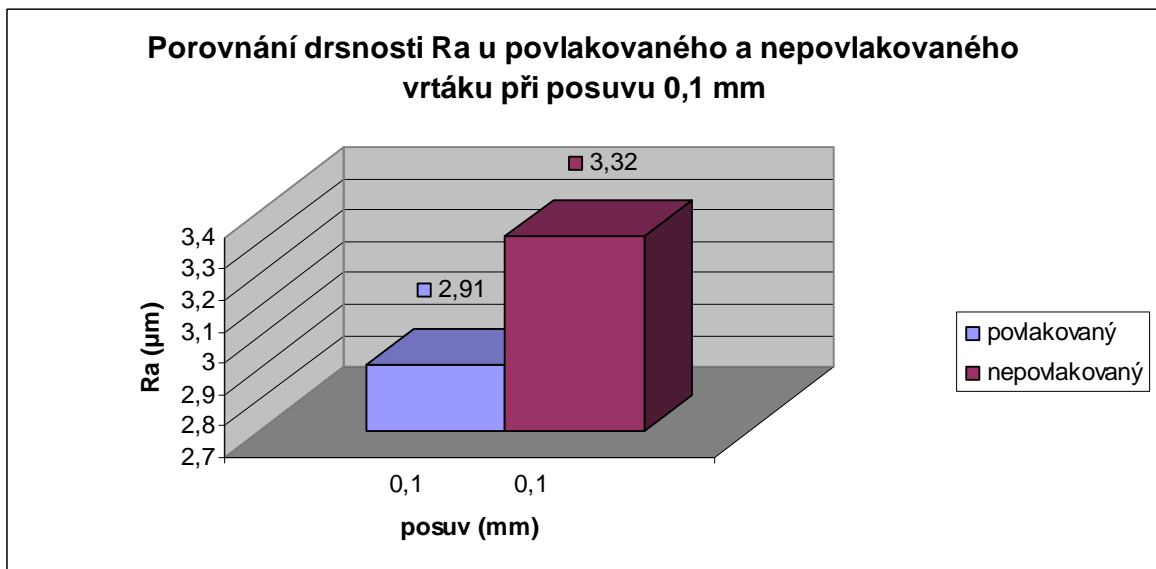
Obr. 85. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu  $\varnothing 8$  mm pro ocel 11 600

#### 7.2.4 Porovnání posuvových sil se změnou řezné rychlosti pro ocel 11 600, PA66 a PMMA

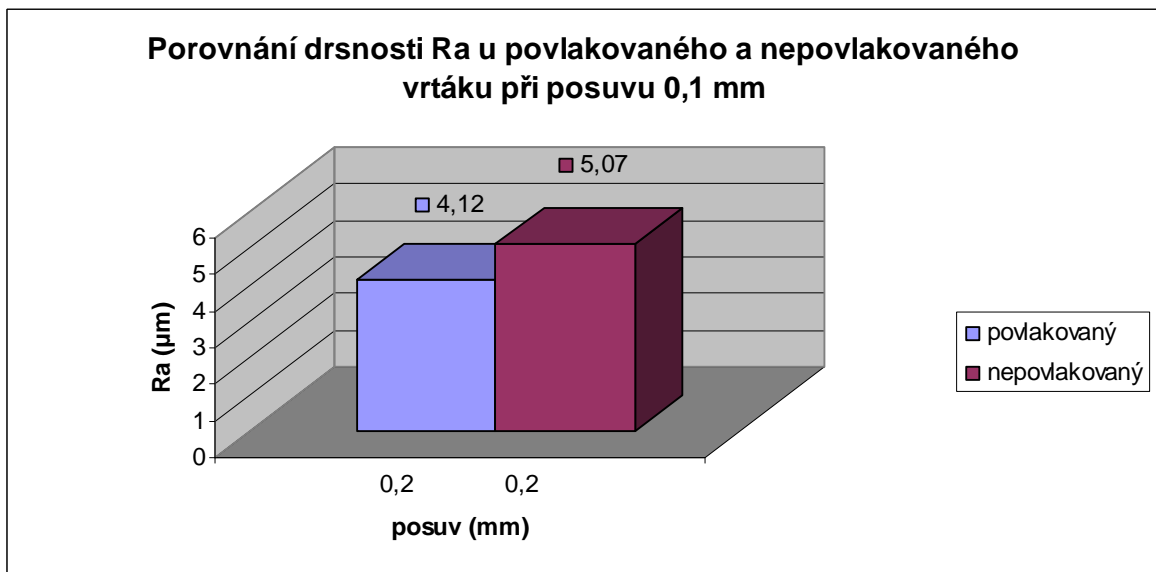


Obr. 86. grafické porovnání posuvových sil při změně řezné rychlosti  $v_c$

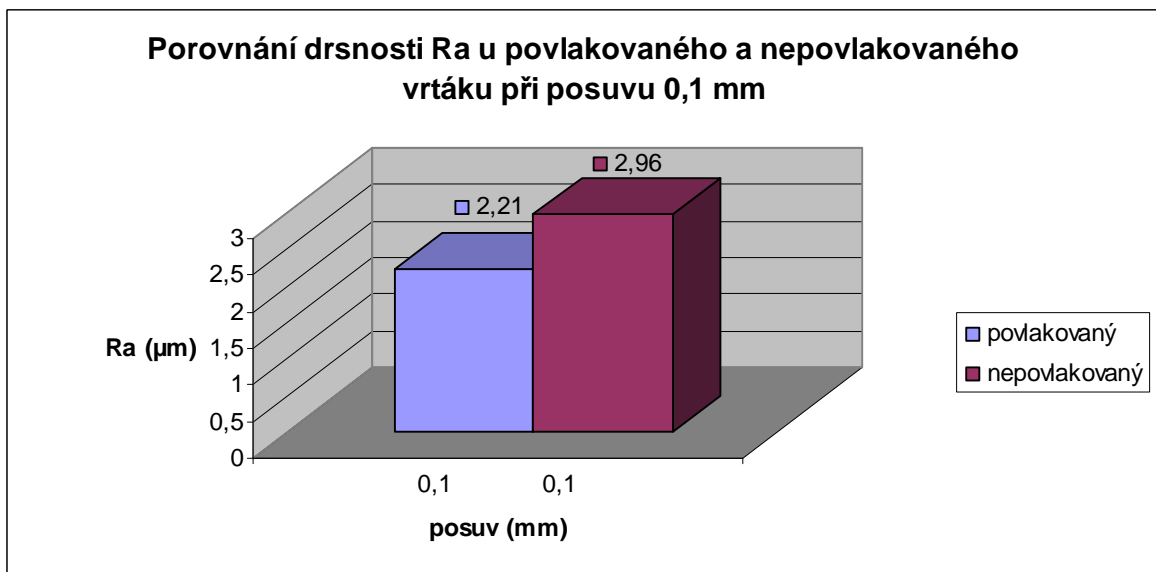
#### 7.2.5 Porovnání drsností $R_a$ povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku



Obr. 87. grafické porovnání drsnosti  $R_a$  povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku  $\varnothing 8$  mm při posuvu 0,1 mm u oceli 11 600

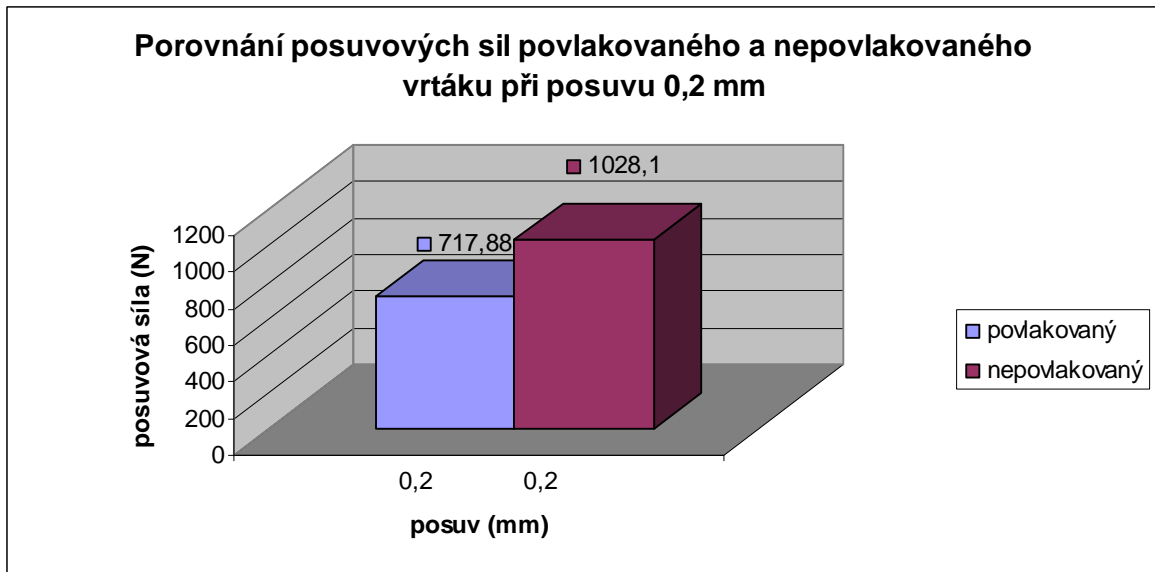


Obr. 88. grafické porovnání drsnosti Ra povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku  $\varnothing 8$  mm při posuvu 0,2 mm u PA66

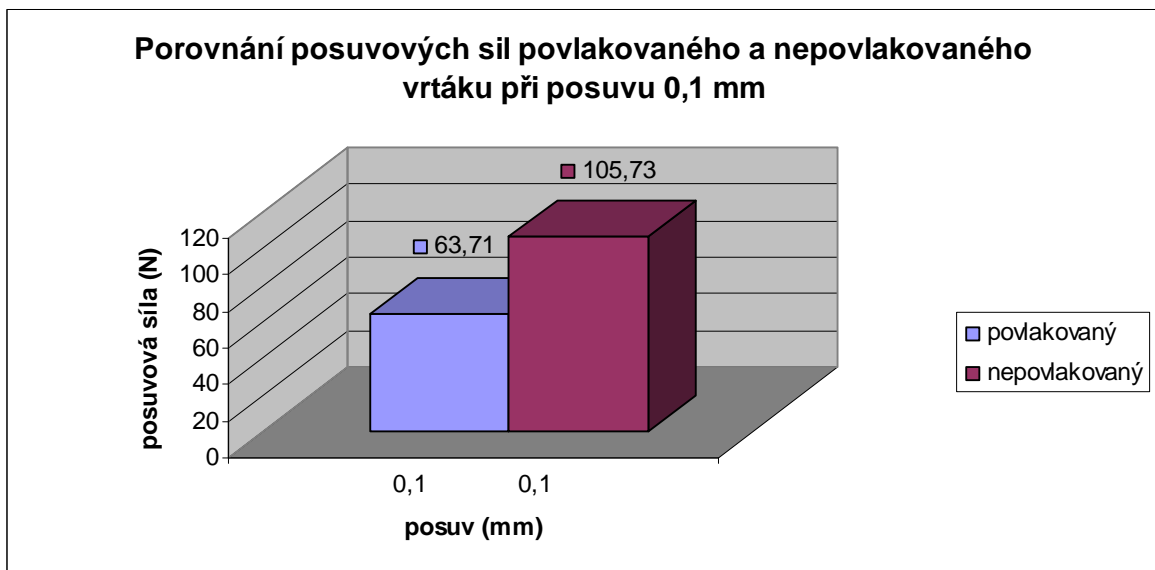


Obr. 89. grafické porovnání drsnosti Ra povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku  $\varnothing 8$  mm při posuvu 0,1 mm u PMMA

## 7.2.6 Porovnání posuvových sil povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku

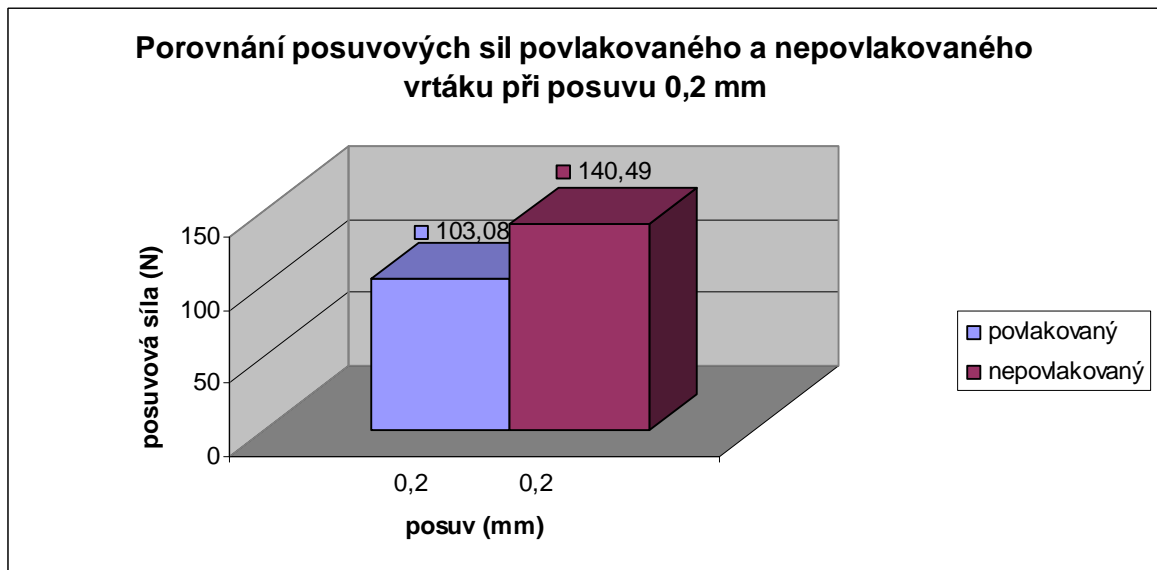


Obr. 90. grafické porovnání posuvových sil povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku  $\varnothing 8$  mm při posuvu 0,2 mm u oceli 11 600



Obr. 91. grafické porovnání posuvových sil povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku  $\varnothing 8$  mm při posuvu 0,1 mm u PA66





Obr. 92. grafické porovnání posuvových sil povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku  $\varnothing 8$  mm při posuvu 0,2 mm u PMMA

## ZÁVĚR

Vrtalo se vrtáky z rychlořezné oceli a vrtáky s povlakem titanu. Pro vrtání vrtáky z rychlořezné oceli se využívalo vrtáků průměrů 5 mm, 6 mm, 8 mm a 8,8 mm. Pro vrtáky průměru 5 mm, 6 mm a 8 mm byly otáčky konstantní měnil se posuv a to 0,1 mm a 0,2 mm. Pro vrták průměru 8,8 mm se naopak měnily otáčky a to 1450, 1015, 690, 500 a 345 a posuv byl konstantní 0,1 mm. Pro první tři průměry vrtáků se pouze porovnávaly naměřené drsnosti a posuvové síly při změně posuvu a pro vrták průměru 8,8 mm se dělala grafická závislost drsnosti a posuvové síly na změně řezné rychlosti. Pro vrtání vrtáky s povlakem titanu se využívalo vrtáků průměru 4 mm, 5 mm a 8mm. Naměřená data se zpracovávala stejně jako pro vrtáky z rychlořezné oceli jen s tím rozdílem, že u těchto se nedělala závislost drsnosti a posuvové síly na řezné rychlosti.

Po zpracování naměřených hodnot se dospělo k následujícím výsledkům:

- drsnost obrobené plochy se ze změnou posuvu mění a to tak, že se zvyšujícím se posuvem se drsnost povrchu zhoršuje.
- u vrtáku průměru 8,8 mm, kde se měnily otáčky tzn. měnila se řezná rychlost nám experiment ukázal, že se zvyšující řeznou rychlostí se zlepšuje drsnost povrchu.
- posuvová síla u všech zkoumaných materiálů se zvyšováním posuvu roste.
- u vrtáku 8,8 mm posuvová síla s rostoucí řeznou rychlostí klesala.
- při porovnání materiálů výsledky experimentu ukázaly, že drsnosti všech třech vrtaných materiálů jsou srovnatelné a posuvová síla je největší u oceli 11 600
- u porovnání povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku nám experiment ukázal, že povlak titanu na vrtáku má vliv jak na drsnost, tak na posuvovou sílu. Materiál obrobený vrtákem s povlakem titanu má lepší drsnost a menší posuvovou sílu.

Po analýze získaných výsledků byl zkonstruován nový dynamometr umožňující hodnocení kroutícího momentu a osově síly. Výkresová dokumentace dynamometru je v příloze práce.

Při konstrukci byl využit software Catia V5R19 a pro statistické výpočty MINITAB 14 a Excel 2003.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOČMAN, K.; PROKOP, J.: Technologie obrábění. CERM Brno. 2006
- [2] BUDA, J.; SOUČEK, J. ;VASILKO, K.: Teória obrábania. Alfa Bratislava. 1988
- [3] JURKO, J.; LUKOVICS, I.: Vŕtanie, Technologická metóda výroby dier. UTB ve Zlíně 2007.
- [4] JURKO, J.; LUKOVICS, I.: Obrábateľnosť materiálov. UTB ve Zlíně 2008.
- [5] VASILKO, K.: Teória rezného procesu . Prešov 2006.
- [6] GAZDA, J.: Teorie obrábění – Řezné síly při obrábění. Vysoká škola strojní a textilní v Liberci 1993.
- [7] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK. M.: Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. Žilinská univerzita 2007.
- [8] Optimum Maschinen – Germany; Návod k obsluze převodové vrtačky B40 GSM verze 1.0. 2004
- [9] Mitutoyo SJ – 301 série č. 178; Návod k použití 2000.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$a_f$	(mm)	šířka záběru ostří ve směru posuvu
$a_p$	(mm)	šířka záběru ostří tloušťka vrstvy materiálu odebíraná z obrobku
$A\alpha$		hlavní hřbet
$A\alpha_1$		první vedlejší hřbet
$A\alpha_2$		druhý vedlejší hřbet
$A\gamma$		čelní plocha
$C_{Fc}$		konstanta určena druhem a vlastnostmi materiálu a geometrií nástroje
$C_{Ff}$		konstanta určena druhem a vlastnostmi materiálu a geometrií nástroje
$d$	(mm)	průměr vrtáku
$d_o$	(mm)	průměr jádra vrtáku
$D$	(mm)	průměr nástroje nebo obrobku
$F_c$	(N)	tangenciální složka řezné síly
$F_c'$	(N)	tangenciální složka řezné síly
$F_f$	(N)	posuvová složka řezné síly
$F_f'$	(N)	posuvová složka řezné síly
$F_o$	(N)	osová síla
$F_p$	(N)	radiální složka řezné síly
$F_p'$	(N)	radiální složka řezné síly
$h$	(mm)	odřezávaná vrstva
$h_c$	(mm)	tloušťka třísky
$k_r$	(°)	úhel nastavení hlavního ostří
$K$		konstanta deformační třísky
$M_k$	(N.m)	krouťící moment

$M_{kb}$ (N.m)	točivý moment vyvolaný mechanickou brzdou
$n$ (ot/min)	otáčky
$n_c$	frekvence otáček
$P$ (W)	výkon
$P_c$ (W)	celkový výkon
$P_{ef}$	pracovní boční rovina
$P_o$ (W)	výkon chodu naprázdno
$P_{už}$ (W)	výkon užitečný
$S$	ostří
$S'$	vedlejší ostří
$v_c$ (m.min <sup>-1</sup> )	řezná rychlost
$v_e$ (m.min <sup>-1</sup> )	rychlost řezného pohybu
$v_f$ (mm.min <sup>-1</sup> )	posuvová rychlost
$x^{Fc}$	exponenty určeny řeznými podmínkami, materiálem a nástrojem
$y^{Fc}$	exponenty určeny řeznými podmínkami, materiálem a nástrojem
$x^{Ff}$	exponenty určeny řeznými podmínkami, materiálem a nástrojem
$y^{Ff}$	exponenty určeny řeznými podmínkami, materiálem a nástrojem
$\beta_{on}$ (°)	ortogonální úhel břitu vytvořený nárůstkem
$\eta$ (°)	úhel řezného pohybu
$\varphi$ (°)	úhel posuvového pohybu
$\omega$ (°)	úhel stoupání šroubovice

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. zóna řezání [4] .....	13
Obr. 2. Universální hrotový soustruh [1] .....	14
Obr. 3. konzolová frézka svislá [1].....	15
Obr. 4. sloupová vrtačka [1] .....	15
Obr. 5. plochy a hrany řezných nástrojů [2].....	16
Obr. 6. plochy obrobku při a) soustružení b) hoblování [2] .....	18
Obr. 7. pohyb nástroje a obrobku při podélném soustružení [1] .....	19
Obr. 8. realizace řezného procesu a) ortogonální řezání b) obecné řezání [1].....	20
Obr. 9. model tvorby třísky s rovinou skluzu [2].....	21
Obr. 10. základní druhy tvářených třísek při obrábění kovů [1].....	21
Obr. 11. vznik elementární tvářené třísky a) – nákres b)- fotografie zóny řezání (obrábění šedé litiny) [2] .....	22
Obr. 12. vznik člankovité třísky a) – nákres b) – tvoření třísky při obrábění oceli 12 050.1 [2] .....	22
Obr. 13. vznik plynulé třísky a) nákres b) tvoření třísky při obrábění oceli 14 220 [2] .....	22
Obr. 14. tvorba a rozpad nárůstku [1].....	23
Obr. 15. první základní tvary řezných břitů z kamene pro výrobu děr [3].....	24
Obr. 16. základní princip vrtání [3] .....	24
Obr. 17. lukový princip vrtání [3].....	25
Obr. 18. stroj – vrtačka [3]      Obr. 19. vrták [3].....	25
Obr. 20. objekt [3]      Obr. 21. přípravek [3] .....	26
Obr. 22. základní operace vrtání [3] .....	27
Obr. 23. kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem [1] .....	27
Obr. 24. příklady konstrukce řezné části šroubových vrtáků [3].....	28
Obr. 25. šířka záběru ostří při vrtání šroubovým vrtákem [1] .....	29
Obr. 26. řezné síly při vrtání [3] .....	29
Obr. 27. ostří a plochy na řezné části šroubovitého vrtáku [1].....	31
Obr. 28. kopinatý vrták, a) celkový pohled; b) geometrie břitu [1].....	32
Obr. 29. frézovací vrták [1] .....	32
Obr. 30. Hlavňový vrták [1].....	33
Obr. 31. korunová trepanační hlava [1] .....	34

Obr. 32. Nástroje BTA [1] .....	34
Obr. 33. tvar třísek při vrtání [3] .....	35
Obr. 34. přípravek proti pootočení [3] .....	37
Obr. 35. řezné síly při vrtání šroubovým vrtákem [5] .....	39
Obr. 36. mechanický dynamometr třmenový [7] .....	43
Obr. 37. dynamometry KISTLER pro měření složek řezné síly [7] .....	43
Obr. 38. převodová vrtačka B40 GSM .....	47
Obr. 39. drsnoměr Mitutoyo SJ-301 [9] .....	47
Obr. 40. dílenský dynamometr .....	48
Obr. 41. ocel 11 600 .....	49
Obr. 42. PA66 .....	49
Obr. 43. PMMA .....	49
Obr. 44. grafické zobrazení Ra vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PMMA .....	50
Obr. 45. grafické zobrazení Rz vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PMMA .....	51
Obr. 46. grafické zobrazení Ra vrtáku $\varnothing 6$ mm pro PMMA .....	52
Obr. 47. grafické zobrazení Rz vrtáku $\varnothing 6$ mm pro PMMA .....	52
Obr. 48. grafická závislost Ra na řezné rychlosti $v_c$ pro PMMA .....	53
Obr. 49. grafická závislost Rz na řezné rychlosti $v_c$ pro PMMA .....	54
Obr. 50. grafické zobrazení Ra vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro PMMA .....	54
Obr. 51. grafické zobrazení Rz vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro PMMA .....	55
Obr. 52. grafické zobrazení Ra vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PA66 .....	56
Obr. 53. grafické zobrazení Rz vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PA66 .....	56
Obr. 54. grafická závislost Ra na řezné rychlosti $v_c$ pro PA66 .....	58
Obr. 55. grafická závislost Rz na řezné rychlosti $v_c$ pro PA66 .....	58
Obr. 56. grafické zobrazení Ra vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro PA66 .....	59
Obr. 57. grafické zobrazení Rz vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro PA66 .....	59
Obr. 58. grafické zobrazení Ra vrtáku $\varnothing 8$ mm pro ocel 11600 .....	60
Obr. 59. grafické zobrazení Rz vrtáku $\varnothing 8$ mm pro ocel 11 600 .....	60
Obr. 60. grafické zobrazení Ra vrtáku $\varnothing 6$ mm pro ocel 11600 .....	61
Obr. 61. grafické zobrazení Rz vrtáku $\varnothing 6$ mm pro ocel 11600 .....	61
Obr. 62. grafická závislost Ra na řezné rychlosti $v_c$ pro ocel 11 600 .....	63
Obr. 63. grafická závislost Rz na řezné rychlosti $v_c$ pro ocel 11 600 .....	63
Obr. 64. grafické zobrazení Ra vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro ocel 11600 .....	64

Obr. 65. grafické zobrazení Rz vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro ocel 11600 .....	64
Obr. 66. grafické porovnání Ra při změně řezné rychlosti $v_c$ .....	65
Obr. 67. grafické porovnání Rz při změně řezné rychlosti $v_c$ .....	65
Obr. 68. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku $\varnothing 5$ mm pro PMMA.....	66
Obr. 69. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku $\varnothing 6$ mm pro PMMA.....	67
Obr. 70. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PMMA.....	67
Obr. 71. grafická závislost posuvové síly na řezné rychlosti vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro PMMA.....	68
Obr. 72. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro PMMA.....	69
Obr. 73. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku $\varnothing 5$ mm pro PA66.....	69
Obr. 74. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku $\varnothing 6$ mm pro PA66.....	70
Obr. 75. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PA66.....	70
Obr. 76. grafická závislost posuvové síly na řezné rychlosti vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro PA66.....	71
Obr. 77. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 5$ mm pro PA66 .....	72
Obr. 78. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro PA66 .....	72
Obr. 79. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku $\varnothing 5$ mm pro ocel 11 600 .....	73
Obr. 80. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku $\varnothing 6$ mm pro ocel 11 600 .....	74
Obr. 81. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku $\varnothing 8$ mm pro ocel 11 600 .....	74
Obr. 82. grafická závislost posuvové síly na řezné rychlosti vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro ocel 11 600 .....	75
Obr. 83. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 4$ mm pro ocel 11 600 .....	76
Obr. 84. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 5$ mm pro ocel 11 600 .....	76
Obr. 85. grafické zobrazení posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro ocel 11 600 .....	77
Obr. 86. grafické porovnání posuvových sil při změně řezné rychlosti $v_c$ .....	78
Obr. 87. grafické porovnání drsnosti Ra povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku $\varnothing 8$ mm při posuvu 0,1 mm u oceli 11 600.....	78
Obr. 88. grafické porovnání drsnosti Ra povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku $\varnothing 8$ mm při posuvu 0,2 mm u PA66 .....	79



---

Obr. 89. grafické porovnání drsnosti Ra povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku $\varnothing 8$ mm při posuvu 0,1 mm u PMMA .....	79
Obr. 90. grafické porovnání posuvových sil povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku $\varnothing 8$ mm při posuvu 0,2 mm u oceli 11 600.....	80
Obr. 91. grafické porovnání posuvových sil povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku $\varnothing 8$ mm při posuvu 0,1 mm u PA66 .....	80
Obr. 92. grafické porovnání posuvových sil povlakovaného a nepovlakovaného vrtáku $\varnothing 8$ mm při posuvu 0,2 mm u PMMA .....	81

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. rozdělení a označování nástrojových ocelí [1] .....	17
Tab. 2. technická data převodové vrtačky B40 GSM [8].....	46
Tab. 3. naměřená data vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PMMA .....	50
Tab. 4. naměřená data vrtáku $\varnothing 6$ mm pro PMMA .....	51
Tab. 5. naměřená data vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro PMMA .....	53
Tab. 6. naměřená data vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro PMMA .....	53
Tab. 7. naměřená data vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro PMMA.....	54
Tab. 8. naměřená data vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PA66 .....	55
Tab. 9. naměřená data vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro PA66 .....	57
Tab. 10. naměřená data vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro PA66 .....	57
Tab. 11. naměřená data vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro PA66 .....	57
Tab. 12. naměřená data vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro PA66.....	59
Tab. 13. naměřená data vrtáku $\varnothing 8$ mm pro ocel 11 600.....	60
Tab. 14. naměřená data vrtáku $\varnothing 6$ mm pro ocel 11 600.....	61
Tab. 15. naměřená data vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro ocel 11 600.....	62
Tab. 16. naměřená data vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro ocel 11 600.....	62
Tab. 17. naměřená data vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro ocel 11 600.....	62
Tab. 18. naměřená data vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro ocel 11 600 .....	63
Tab. 19. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 5$ mm pro PMMA.....	66
Tab. 20. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 6$ mm pro PMMA.....	66
Tab. 21. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 6$ mm pro PMMA.....	67
Tab. 22. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro PMMA.....	68
Tab. 23. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PMMA.....	68
Tab. 24. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 5$ mm pro PA66.....	69
Tab. 25. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 6$ mm pro PA66.....	70
Tab. 26. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 8$ mm pro PA66.....	70
Tab. 27. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro PA66.....	71
Tab. 28. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 5$ mm pro PA66.....	71
Tab. 29. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 5$ mm pro PA66.....	72

---

Tab. 30. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 8$ mm pro ocel 11 600 .....	73
Tab. 31. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 6$ mm pro ocel 11 600 .....	73
Tab. 32. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 8$ mm pro ocel 11 600 .....	74
Tab. 33. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku $\varnothing 8,8$ mm pro ocel 11 600 .....	75
Tab. 34. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 4$ mm pro ocel 11 600 .....	75
Tab. 35. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 5$ mm pro ocel 11 600 .....	76
Tab. 36. aritmetické průměry posuvové síly vrtáku s povlakem titanu $\varnothing 8$ mm pro ocel 11 600 .....	77

## SEZNAM PŘÍLOH

PI K bakalářské práci jsou přiloženy výkresy konstrukce dynamometru:

- ÚVI-BC-2011-00 – sestava
- ÚVI-BC-2011-01 – válcová část
- ÚVI-BC-2011-02 – příruba
- ÚVI-BC-2011-03 – nosník 1
- ÚVI-BC-2011-04 – nosník 2