

Vliv technologie výroby vrtáků a metody ostření na jakost děr

Bc. Karel Babica

Diplomová práce
2013

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Karel BABICA

Osobní číslo: T100104

Studijní program: N3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Výrobní inženýrství

Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Vliv technologie výroby vrtáků a metody ostření na jakost děr

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte studium teorie a technologie vrtání a hodnocení jakosti**
- 2. Určete materiály pro výrobu nástrojů**
- 3. Hodnoťte technologii výroby vrtáku**
- 4. Provedte určení vlivu technologií výroby nástrojů na jakost výrobku**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Kocman, K.: Technologie obrábění. CERM Brno. 2011. ISBN 80-214-3068-0
2. Lukovics, I.: Konstrukční materiály a technologie. VUT Brno. 1990. ISBN 80-214-0399-3
3. Neslušan, M. aj.: Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. EDIS Žilina. 2007. ISBN 978-8070-711-8

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Babica Karel

Obor: V.I.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 2.5.2013

Karel Babica

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou výroby šroubových vrtáků od výběru materiálu po konečné naostření řezné části. Zkoušet se budou vrtáky vyrobené dvěma technologiemi, s různou úpravou hrotu vrtáku. Hodnotit u těchto vrtáků se bude drsnost vrtané díry při měnící se řezné rychlosti a rychlosti posuvu. Dále se bude zaznamenávat opotřebení řezné části nástroje při ideální řezné rychlosti a rychlosti posuvu za několik vrtacích cyklů. Po té se rozhodne, které vrtáky bude ekonomicky výhodné vyrábět z hlediska jakosti díry a opotřebení vrtáku.

Klíčová slova: šroubovitý vrták, řezné úhly, materiály šroubových vrtáků, povrchová úprava vrtáků

ABSTRACT

This work deals with the production of twist drills from material selection to final sharpening cutting part. Trying to be made drill two technologies with different treatment tip drill. Rate for these drills will roughness hole when changing cutting speed and feed rate. Further, it will record the wear part cutting tool at ideal cutting speed and feed rate for several drilling cycles. After that decides which drills will be economically advantageous to produce the quality holes and wear of the drill.

Keywords: twist drill, cutting angles, materials twist drills, drill surface modification

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří se podíleli na této diplomové práci. Firmě M&V, spol. s.r.o. Divize PROSTIMZET PLUS za poskytnutí nástrojů k vrtání a rady při vyhodnocení děr, panu Ing. Šálkovi za pomoc při vytváření děr, panu Ing. Čopovi, za zaučení práce na přístroji na měření drsnosti, panu Doc. Patovi, za vysvětlení práce na mikroskopu a další cenné rady. V neposlední řadě bych také svoje díky věnoval panu prof. Lukovicsovi, za vedení celé práce.

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

Ve Zlíně

.....*Karel Patka*.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA VRTÁNÍ	13
1.1 KINEMATICKÁ CHARAKTERISTIKA.....	14
1.2 DYNAMICKÁ CHARAKTERISTIKA	16
1.3 TVAROVÁNÍ A TVOŘENÍ TŘÍSKY	18
1.4 MIKROGEOMETRICKÁ CHARAKTERISTIKA.....	20
2 MATERIÁLY ŘEZNÉ ČÁSTI NÁSTROJŮ A OSTATNÍ MATERIÁLY NA VÝROBU VRTÁKŮ	23
2.1 MATERIÁL STOPKY	23
2.2 NÁSTROJOVÉ OCELI.....	23
2.2.1 Nelegované oceli.....	23
2.2.2 Legované nástrojové oceli.....	24
Chromové oceli	25
Wolframové oceli	26
2.2.3 Rychlořezná ocel (HSS).....	26
2.3 STELLITY	27
2.4 SLINUTÉ KARBIDY	27
2.5 CERMETY.....	30
2.6 ŘEZNÁ KERAMIKA.....	30
2.7 KUBICKÝ NITRID BÓRU - KNB	32
2.8 POLYKRISTALICKÝ DIAMANT.....	32
3 TECHNOLOGIE VÝROBY VRTÁKŮ	33
3.1 DĚLENÍ ŘEZÁNÍM.....	33
3.2 OMÍLÁNÍ	33
3.3 VÝROBA DRÁŽEK	35
3.3.1 Způsob výroby drážek.....	35
Obráběním.....	35
Broušením.....	36
Protlačováním	36
Sektorovým válcováním	36
Zkrucováním.....	37
Příčným válcováním	37
Kováním	37
3.3.2 Uhel sklonu drážek	38
3.3.3 Kuželovitost jádra vrtáku	38
3.3.4 Pravořezné a levořezné stoupání	38

3.4	KONTROLA TVRDOSTI.....	39
3.5	BROUŠENÍ PRŮMĚRU	39
3.5.1	Kuželovitost těla vrtáku	39
3.6	MEZIOPERAČNÍ KONTROLA.....	39
3.7	ŘEZNÁ ČÁST VRTÁKU	39
3.7.1	Úhly řezné části.....	39
	Vrcholový úhel vrtáku.....	39
	Úhel hřbetu	40
3.7.2	Druhy ostření.....	40
	Strojní ostření vrtáků.....	40
	Ruční ostření vrtáků	40
3.7.3	Metody broušení řezné části.....	40
3.7.4	Úpravy hrotů vrtáků.....	41
3.8	POVRCHOVÁ ÚPRAVA.....	42
3.8.1	Pasivace.....	43
3.8.2	Bronz oxidace (nízkoteplotní oxidace)	43
3.8.3	Povlakování nástrojů z rychlořezné oceli	44
3.8.4	Povlakované karbidy.....	45
3.9	VÝSTUPNÍ KONTROLA.....	45
4	DOPROVODNÍ JEVY PROCESU OBRÁBĚNÍ.....	46
4.1	OPOTŘEBENÍ BŘITU ŠROUBOVITÉHO VRTÁKU.....	47
4.2	PARAMETRY DRSNOSTI POVRCHU	49
4.3	URČOVÁNÍ SLOŽEK ŘEZNÉ SÍLY.....	52
4.3.1	Přímé měření sil	52
	Dynamometr pro určení kroutícího momentu při vrtání.....	55
4.3.2	Nepřímé měření sil	55
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	57
5	STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI	58
6	CHARAKTERISTIKA STROJŮ, NÁSTROJŮ, OBROBKU A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ	59
6.1	FRÉZKA.....	59
6.2	NÁSTROJE.....	60
6.3	OBROBEK.....	61
6.4	MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE	61
6.4.1	Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ-301	61
6.4.2	Mikroskop	63
7	MĚŘENÍ DRSNOSTI DĚR	65
8	MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ VRTÁKU.....	73
9	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VRTÁKŮ	80
	ZÁVĚR.....	81

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	82
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	84
SEZNAM OBRÁZKŮ	86
SEZNAM TABULEK	89
SEZNAM PŘÍLOH	90

ÚVOD

Ve vypracované diplomové práci na téma: „Vliv technologie výroby vrtáků a metody ostření na jakost děr“, jsou objasněny některé náležitosti, které jsou spojovány se šroubovitými vrtáky.

Diplomová práce se dělí na 2 hlavní části. Teoretickou a praktickou část.

Teoretická část se zabývá materiálem nástrojů, určené na řeznou část i stopku vrtáku. Je zde přiblížen celý postup výroby počínaje od samotného výběru materiálu, přes všechny pracovní operace až k samotnému nabroušení a kontrole konečného výrobku. Vysvětleny jsou tu také doprovodní jevy, které jsou součástí procesu řezání. Objasněno je tu například opotřebení břitu, parametry drsnosti a i silové poměry na vrtáku. To všechno pak budeme potřebovat k praktické části, kde jsou začleněny tyto jevy.

Praktická část je zaměřena na měření vrtáků a vrtaných děr za různých technologických podmínek. Je rozdělena na 2 měření. V první řadě se bude měřit jakost vrtaných děr u 6 vrtáků stejného průměru, vyrobené dvěma technologiemi, a 3 různými úpravami hrotu. U každého typu vrtáku se bude měnit rychlost vřeten a posuvu. Druhé měření bude zaměřeno na opotřebení hlavního břitu. Za kolik vrtaných děr bude nutno vrták přebrousit a kolik děr jsme schopni vyvrtat maximálně, než dojde k zastavení vrtáku nebo k jeho znehodnocení. Toto měření bude prováděno za ideální řezné rychlosti a ideální rychlostí posuvu. Všechny prováděné vrtací operace budou bez chlazení řeznými kapalinami. Výsledky práce pak budou zpracovány v programu Microsoft Excel a budou dodány v přílohách diplomové práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA VRTÁNÍ

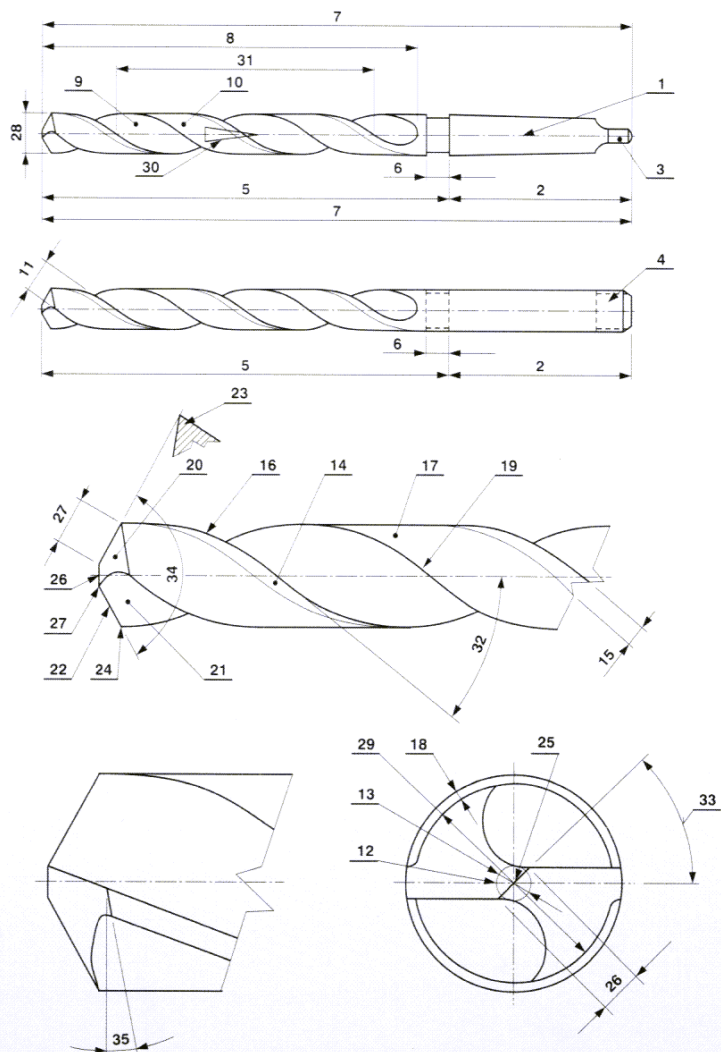
Nejrozšířenější metodou výroby děr v porovnání se soustružením, frézováním, atd. je vrtání. Díry jsou vyráběny řezným nástrojem, který má řezné hrany symetrické podle osy vrtáku. Nejčastěji používané vrtáky pro výrobu děr jsou šroubovité (Obr. 1). Jedny z prvních typů vrtáků vyráběné z nástrojové oceli nahradili rychlořezné oceli, a v současné době se vrtáky vyrábějí ze slinutých karbidů nebo s karbidovou vyměnitelnou řeznou destičkou. Vzniklé třísky vrtáním jsou odváděny šroubovitou drážkou na těle vrtáku. Technologická metoda vrtání se užívá na výrobu děr pomocí řezných nástrojů – šroubových vrtáků. Všeobecně se vrtání rozděluje na:

a) vrtání krátkých děr (do hloubky $l = 3 \times \text{ØD}$)

b) vrtání hlubokých děr (do hloubky $l = \text{až } 150 \times \text{ØD}$)

Termíny pro šroubové vrtáky:

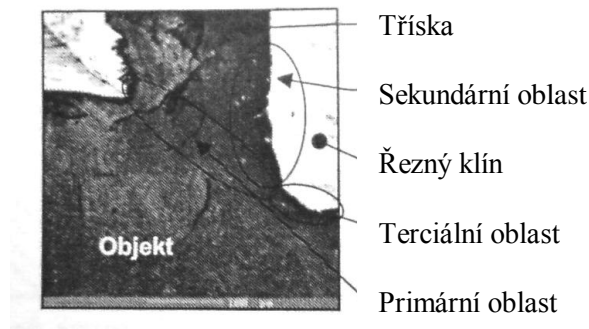
1. osa
2. stopka - kuželová, hladká válcová, hladká válcová s unáščem
3. vyražeč
4. unášec
5. tělo vrtáku
6. krček
7. celková délka
8. délka drážky (šroubovice)
9. drážka
10. plocha vedlejšího hřbetu
11. šířka plochy vedlejšího hřbetu
12. jádro
13. tloušťka jádra
14. fazetka
15. šířka fazetky
16. vedlejší ostří
17. odlehčení
18. hloubka odlehčení
19. pata
20. hřbet
21. čelo
22. hlavní ostří
23. břit
24. vnější špička
25. příčné ostří
26. délka příčného ostří
27. délka hlavního ostří
28. průměr vrtáku (h8)
29. průměr odlehčení
30. zpětná kuželovitost
31. stoupání šroubovice
32. úhel šroubovice λ
33. úhel příčného ostří
34. úhel špičky ϵ
35. úhel hřbetu



Obr. 1. Šroubovitý vrták [13]

Řezání, je proces plastické deformace, kde průběh je ovlivňován vlastnostmi materiálu daného objektu, materiálu řezné části nástroje a podmínkami procesu řezání, při kterých probíhá. Nejvýznamnějšími z těchto podmínek jsou rychlost deformace a teplota. Proces řezání v současnosti představuje hlavně analýzy tvoření a odvodu třísky z oblasti řezání a soustřeďuje se do oblasti kontaktu řezné části nástroje s obráběným materiálem. Tato oblast se nazývá tzv. zóna řezání (obr. 2), kterou umíme definovat a analyzovat pro každou technologickou metodu procesu řezání. V zóně řezání se uskutečňují změny (kvalitativní i kvantitativní) na povrchu objektu. Z hlediska jevů, které v zóně řezání probíhají, je důležité si uvědomit vstupní vlastnosti interakčních objektů (řezný nástroj, objekt) jako i podmínky, které ovlivňují tuto interakci z hlediska stroje pro proces řezání. Ze zóny řezání vycházejí jako výstupní prvky:

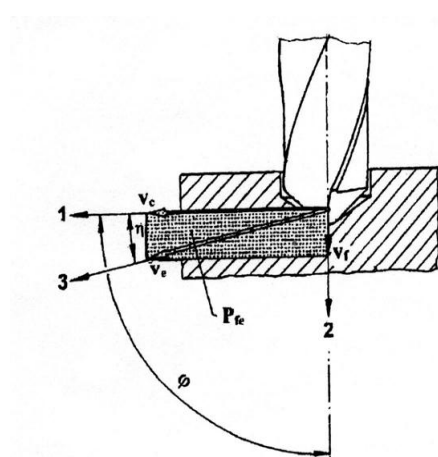
- objekt s povrchem po řezu
- tříska
- opotřebovaná řezná část nástroje



Obr. 2. Zóna řezání a oblast plastické deformace [5]

1.1 Kinematická charakteristika

Při vrtání vykonává hlavní rotační pohyb řezný nástroj, a současně i vedlejší pohyb (posuv) ve směru osy (Obr. 3).



- 1 – směr hlavního pohybu
- 2 – směr posuvového pohybu
- 3 – směr řezného pohybu
- P_{fe} – pracovní boční rovina
- η - úhel řezného pohybu
- φ - úhel posuvového pohybu
- v_c – řezná rychlost
- v_f – posuvová rychlost
- v_e – rychlost řezného pohybu

Obr. 3. Kinematika vrtacího procesu [15]

Při vrtání na soustruhu, kde je řezný nástroj upnutý v přípravku (např. vrtací hlava - koník), vykonává hlavní rotační pohyb objekt upnutý v přípravku (např. sklíčidlo). Vedlejší řezný pohyb (posuv) vykonává ve směru osy. Stejně tak u vrtání hlubokých děr vykonává hlavní rotační pohyb objekt.

Obvodová rychlost nejvzdálenějšího bodu řezné hrany od osy otáčení je řeznou rychlostí v_c a jednotkou je 1 m/min. Řezná rychlost jednotlivých bodů řezné hrany směrem k ose vrtáku se zmenšuje a v ose je rychlost nulová. Z toho vyplývá jeden z největších problémových doporučených faktorů vrtání, a to plynulá změna řezné rychlosti od obvodu vrtáku (maximální řezná rychlost) směrem do středu (k ose nástroje – minimální řezná rychlost, z hlediska teorie až nulová). Výrobci řezných nástrojů uvádějí ve svých katalozích tzv. doporučené řezné rychlosti, které jsou nejvyšší obvodovou řeznou rychlostí.

Pohyb vrtáku při vrtání ve směru osy se nazývá posuv f a jednotkou je 1 mm. Protože vrták je konstrukčně řešený se dvěma řeznými klíny (pozn. může mít i tři řezné klíny), má tedy dvě řezné hrany. Každá z těchto řezných hran pracuje s polovičním posuvem. Řezná rychlost v_c je při vrtání definována průměrem nástroje a frekvenci otáčení. Vypočítá se podle rovnice (1). Rychlost posuvu v_f podle rovnice (2).

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

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

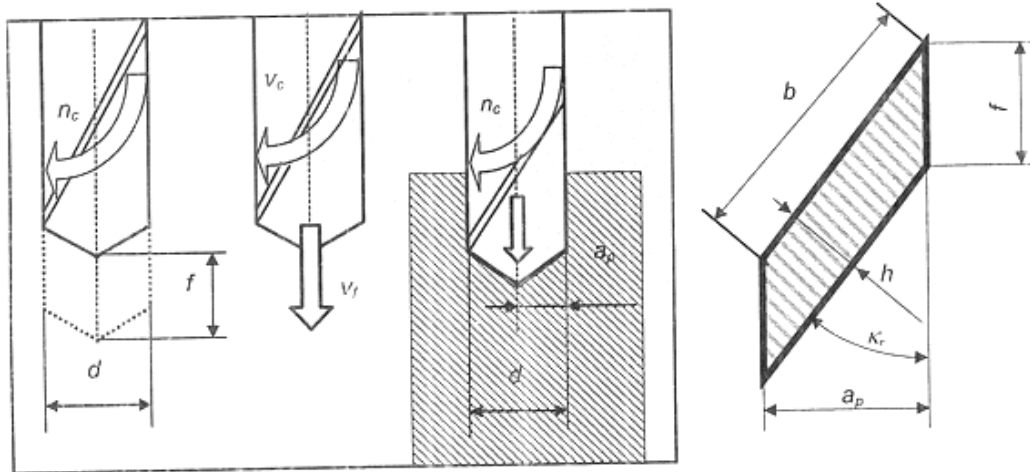
n_cpočet otáček za minutu

Funkční závislost mezi parametry procesu řezání definují rovnice (3) a (4) .

$$f = \frac{b}{\sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (3)$$

$$a_p = b \cdot \sin \kappa_r, \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

Posuv f vyjadřuje pohyb nástroje, případně objektu za jednotku frekvence otáčení a slouží k výpočtu rychlosti posuvu. Hloubka řezu a_p (Obr. 4) se vztahuje k té části, kterou nástroj objekt opracovává a její velikost je rovna polovině průměru nástroje d .



Obr. 4. Průřez třísky při vrtání do plna a označení parametrů vrtání [5]

Bez ohledu na to, zda je vrták vyrobený ze spěkaného karbidu nebo jestliže se jedná o vrták s výměnnými destičkami, zůstávají základní definice pro podmínky procesu řezání vždy stejné. [5]

1.2 Dynamická charakteristika

Odpor materiálu objektu 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. 5).

Když má šroubovitý vrták symetrické hrany, radiální síly F_p a F_p' se navzájem ruší. Řezné síly F_c, F_c' působí přibližně na rameni $d/4$, kde vytváří kroutící moment M_k , který se přená-

ší na vřeteno stroje. Složky řezné síly F_f a F_f' se skládají a tvoří osovou sílu F_o , kterou překonává posunový mechanismus a namáhá vrták na vzpěr. Pro výpočet řezných sil F_c a F_f je možné využít empirické vztahy (5), (6). Pro výpočet M_k z řezných sil platí vztah (7).

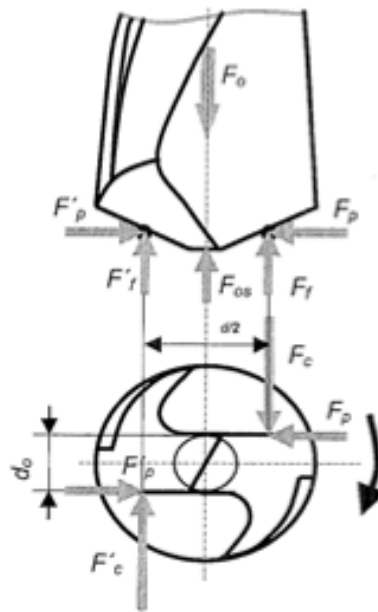
$$F_c = C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \quad (5)$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot D^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \quad (6)$$

$$M_k = 2F_c \cdot \frac{d}{4} - 2F_f \cdot \frac{d_o}{2} \quad (7)$$

C_{F_c}, C_{F_f} konstanta určena druhem a vlastnostmi materiálu a geometrie nástroje

$x^{F_c}, y^{F_c}, x^{F_f}, y^{F_f}$ exponenty určeny řeznými podmínkami, materiálem a nástrojem



Obr. 5. Řezné síly při vrtání [5]

Všeobecně platí, že se zvětšujícím se posuvem roste M_k i F_o . Přitom intenzita změny $M_k =$ funkce (posuv) a $F_o =$ funkce (posuv) je analogická soustružení.

Vliv posuvu na kroutící moment je větší jako na osovou sílu. Řezná síla je dynamická, není konstantní a s časem se mění. Její změna souvisí s oddělováním třísky. Celý proces řezání je charakteristický tím, že celková mechanická energie vynaložená na oddělení třísky se pře-

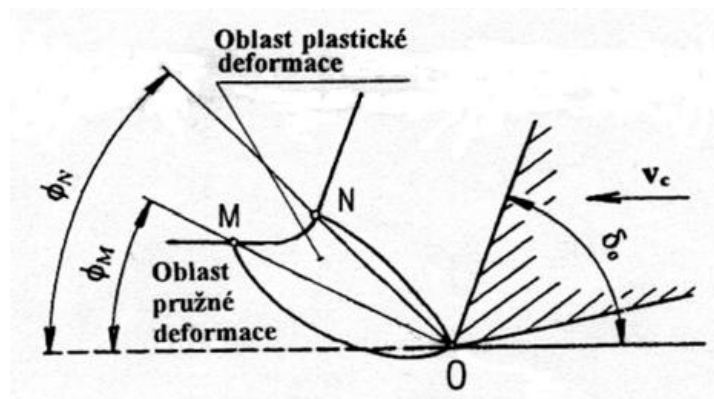
mění v teplo. Řezná část se pohybuje po objektu řeznou rychlostí v_c a působením řezné síly F_c dochází k odřezávání vrstvy o tloušťce a_p , která je úměrná posuvu. V zóně řezání nastává přetvoření odřezávané vrstvy na třísku.

V této oblasti probíhá primární plastická deformace v celém průřezu odřezávané vrstvy, tedy v celém průřezu třísky. Hloubka třísky h_c je vždy větší jako hloubka odřezávané vrstvy h , tříska se pěchuje (je stlačená). Stlačení třísky je jedna z charakteristických veličin plastické deformace materiálu objektu a určuje se výpočtem (8). Čím větší je hodnota K , tím víc je tříska deformována a tím větší jsou řezné síly. Tříska je také deformována třením o čelní plochu řezné části nástroje v tzv. oblasti sekundární plastické deformace. [5,15]

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

1.3 Tvarování a tvoření třísky

Tvoření třísky při řezání je výsledkem procesu plastické deformace materiálu, který nastane po překročení hranice pevnosti materiálu (Obr. 6), v důsledku působení zatížení. Kontrolovaný odvod třísky ze zóny řezání je základní předpoklad automatizace. Proces oddělování třísky probíhá podél roviny stříhu pod úhlem střížné roviny (Obr. 7). Rovina stříhu dělí ne-deformovanou strukturu materiálu objektu od deformované struktury třísky.

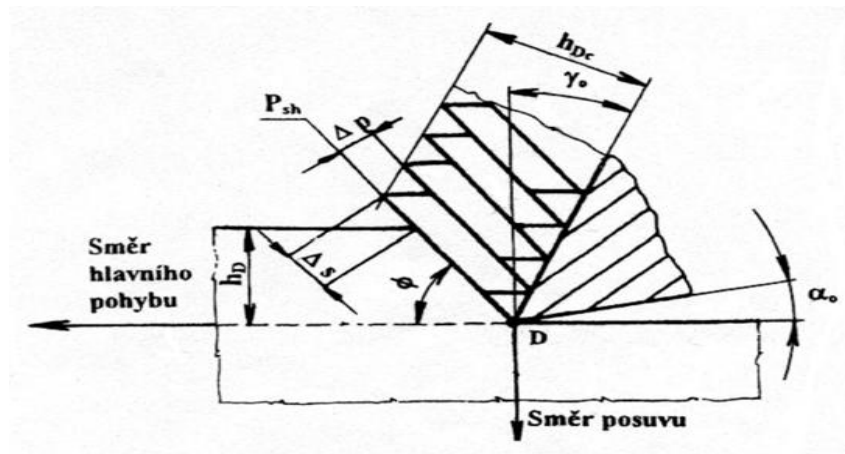


Obr. 6. Oblast plastických deformací v odřezávané vrstvě při ortogonálním řezání [22]

δ_0 ... nástrojový ortogonální úhel řezu ($\delta_0 = \alpha_0 + \beta_0$)

MO... počátek plastických deformací bodě ostří D

NO ...konec plastických deformací



Obr. 7. Zjednodušený model tvorby elementů třísky při ortogonálním řezání [22]

- P_{sh} rovina stříhu
 h_D jmenovitá tloušťka řezu
 h_{Dc} tloušťka třísky
 Δs posunutí elementu třísky
 φ úhel roviny stříhu
 Δp tloušťka elementu třísky

Deformace třísky je vyjádřena veličinou stlačení třísky. Tvoření třísky můžeme popsat na základě teorie o plastické deformaci, která probíhá v rovině stříhu, kde se akumuluje podstatná část energie. Deformovaná vrstva - tříška se pohybuje po čelní ploše rezné části nástroje a vytváří kontaktní zónu, ve které dochází k zadírání materiálu objektu na čelní ploše v oblasti hrotu. Probíhají adhezní a difúzní děje. V oblasti, kde tříška opouští kontaktní zónu, probíhá abrazivní proces. Tvar třísek není vždy stejný. Za určitých podmínek nám může docházet v oblasti kluzné interakce k postupnému nárůstu vrstev třísky, které na čelní ploše váznou a vytvářejí tzv. nárůstek (Obr. 8). Závisí nám to především na materiálu objektu, geometrii nástroje, rezné rychlosti, posuvu a volbě procesního média (chladicí a mazací účinek, čistící účinek, ochranný účinek atd..). [5, 22]



Obr. 8. Nárustek na břitu
vrtáku [5]

1.4 Mikrogeometrická charakteristika

Vrtání, stejně jako i jiná metoda procesu řezání zachovává na povrchu určité charakteristické znaky. Na povrchu po řezu vznikají mikronerovnosti a makronerovnosti. Silovým účinkem pracovního nástroje se při řezání pod povrchem po řezu deformuje tenká povrchová vrstva. V důsledku deformace a ohřívání teplem, které proces řezání vždy doprovází, se tvoří v této vrstvě napětí a mění se její mechanicko-fyzikální vlastnosti. Soubor těchto charakteristik určujících stav povrchu můžeme definovat jako tzv. *technologickou dědičnost*, která formuluje funkčnost povrchu. Důsledky a jejich příčiny změn na povrchu po řezu můžeme posuzovat podle tabulky (Tab. 1).

Tab. 1. Důsledky a příčiny změn na povrchu po řezu [5]

Vliv	Účinek
<i>Chemický</i>	Mezi-krytalické na padnutí, mezi-krytalická koroze, mezi-krytalické oxidace, křehnutí, jamkové nebo selektivní leptání, koroze, koroze pod napětím
<i>Fyzikální</i>	Změna elektrické vodivosti, změna magnetických vlastností
<i>Tepelný</i>	Tepelně ovlivněná zóna, přetavení materiálu, přeskupení materiálu
<i>Metalurgický</i>	Fázová transformace, velikost precipitátů, a jejich rozložení, cizí příměsi, dvojčatění, rekrytalizace
<i>Materiálovo–mechanický</i>	Plastická deformace, změna tvrdost, zbytkové napětí a mikrotrhliny.

Technologická dědičnost se projevuje v celém technologickém postupu. Každá operace má vliv na změnu vlastností při řezu. Ukazuje se, že vliv jednotlivých faktorů na funkční vlastnosti povrchových vrstev součástek není vždy stejný. V technologických řetězcích existují jisté bariéry jako například tepelné zpracování. Některé vlivy tyto bariéry nedokážou překonat a na konečné vlastnosti nemají vliv. Jiné vlivy takové bariéry překonávají, přičemž však postupně ztrácejí svoji sílu a na konečné vlastnosti povrchu působí jen v malé míře. Operace hrubování (vykonané před dokončovacími) mohou na výsledný stav povrchu mít vliv kladný, ale i záporný. Z tohoto důvodu třeba ve výrobním postupu dodržet sled operací jdoucích po sobě tak, aby posílily vliv kladných faktorů a tlumily vliv záporných faktorů. Projev technologické dědičnosti je potřeba zkoumat komplexně ve všech ukazatelích. Bez těchto náležitostí není možné úspěšně řešit problém kvality a funkčnosti povrchu.

Za nejvýznamnější a nejčastější zkoumané kvalitativní ukazatele, podle kterých se posuzuje technologická dědičnost povrchu po řezu, považujeme: makrogeometrii povrchu po řezu, mikrogeometrii povrchu po řezu, změny mechanicko – fyzikálních vlastností povrchové vrstvy (tvrdost, zpevnění), zbytkové napětí pod povrchem řezu, chemicko – fyzikální stav povrchu po řezu. Jsou to ukazatelé, které vytvářejí předpoklady ovlivnění únavové pevnosti, odolnosti proti opotřebení, protikorozi stability, kvalitu lícování apod. Tyto ukazatele

budou mít velký význam zejména pro dynamicky namáhané strojové součástky a součástky podléhající opotřebení.

Na objektu při technologické metodě vrtání můžeme definovat tyto parametry:

Povrch po řezu - je předmětem zkoumání teorie řezání a progresivních metod řezání

Materiálové prvky (např. tvrdost, zbytkové napětí, poruchy, atd.)

Konstrukční prvky (např. čelní plocha, válcová plocha, závit, atd.)

Kvalitativní prvky (rozměry, přesnost, drsnost povrchu, atd.) [5]

2 MATERIÁLY ŘEZNÉ ČÁSTI NÁSTROJŮ A OSTATNÍ MATERIÁLY NA VÝROBU VRTÁKŮ

V současné době se vrtáky převážně vyrábějí z nástrojových ocelí a slinutých karbidů. Tyto materiály mohou být dále upravovány podle jejich použití přidáním legujících prvků. [2]

U větších vrtáku s kuželovou stopkou (nad průměr 10mm) se spojují dva materiály různých vlastností svařováním (Materiál stopky a řezné části). [23]

2.1 Materiál stopky

Materiál kuželové stopky se nejčastěji používá ocel třídy 12. Ušlechtilá uhlíková ocel - má předepsaný obsah prvků hlavně C, P, S, Si, Mn. Použití jiné oceli je hlavně z důvodu ekonomického. U větších vrtáků by se na stopku spotřebovalo velké množství drahého materiálu. Proto se vyplatí raději tyto vrtáky (stopku a řeznou část) svařovat. [23]

2.2 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli představují z hlediska vlastností i chemického složení různorodou skupinu ocelí. Podle účelu použití je možné nástrojové oceli rozdělit v souladu s normou DIN 17 350 na:

- nelegované oceli (uhlíkové oceli)
- legované oceli (pro práci za studena nebo za tepla)
- rychlořezné oceli [2]

2.2.1 Nelegované oceli

Obsahují 0,6-1,6 % uhlíku (C), který určuje jejich hlavní vlastnosti. S rostoucím obsahem uhlíku roste pevnost, tvrdost a klesá houževnatost. Používají se na méně namáhané nástroje, např. k obrábění dřeva. [24]

Označení těchto ocelí dle ČSN je 19 0XX - 19 2XX. [5]

Nelegované oceli nemohou vždy plně zajistit stále se zvyšující požadavky na vlastnosti nástrojových materiálů. Proto jsou nahrazovány kvalitnějšími legovanými nástrojovými ocelmi.[1]

2.2.2 Legované nástrojové oceli

Hlavními legujícími prvky jsou tzv. karbidové prvky (Cr, W, V, Mo), které tvoří tvrdé a stálé karbidy až do vysokých teplot, a dále nekarbidové prvky (Ni, Si, Co). Z legovaných ocelí se dnes vyrábějí takřka všechny druhy řezných, tvářecích, stříhacích a jiných nástrojů. Proto je počet legovaných ocelí tak velký. V České Republice je normalizováno 50 druhů legovaných ocelí. Legované oceli jsou charakteristické zejména větší pronikatelností a zvýšenou odolností proti popouštění. Jsou však náročnější na tepelné zpracování než nelegované oceli. Podle provozních podmínek se nástrojové legované oceli rozdělují na:

- legované nástrojové oceli pro práci za tepla
- legované nástrojové oceli pro práci za studena [1]

U ocelí na nástroje pro práci za tepla se požaduje vysoká odolnost proti erozi za pracovních teplot, otěru-vzdornost, odolnost proti deformaci a odolnost proti tepelné únavě. Oceli obsahují uhlík nejčastěji od 0,28 do 0,60 %. Poté jsou oceli legovány molybdenem až do 3,00 %, chromem až do 5,50 % a vanadem až do 1,10 %. [2]

Jednotlivé složky (legovací prvky) mají svoje specifické vlastnosti.

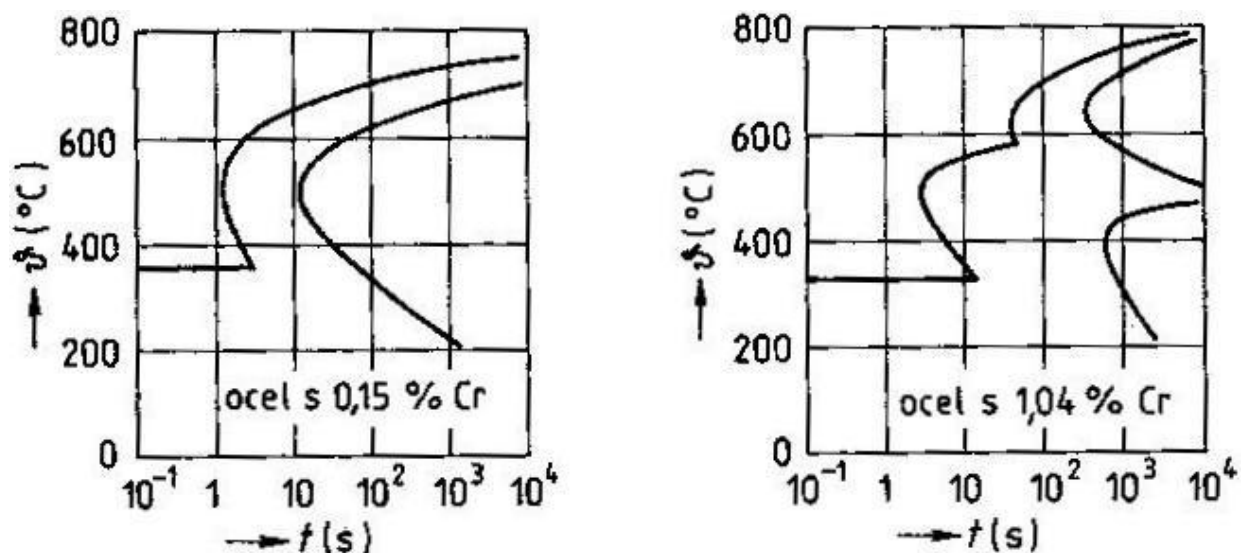
- *Chrom (Cr)* - zlepšuje mechanické vlastnosti a způsobuje od 12 až 16 % obsahu Cr odolnost proti korozi
- *Wolfram (W)* - zlepšuje prokalitelnost, odolnost proti ztrátě pevnosti při popouštění, odolnost proti opotřebení, vyvolává vytvrzení, zvyšuje žárupevnost
- *Molybden (Mo)* - zvyšuje tvrdost a houževnatost, jakož i odolnost proti kyselinám
- *Kobalt (Co)* - odolnost proti otěru a zvýšeným teplotám, vysoká tvrdost

- *Vanadium (V)* - zvětšuje se prokalitelnost, odolnost proti ztrátě pevnosti při popouštění, vyvolává vytvrzení
- *Titan (Ti)* – používá se jako povlak pro zvýšení kluzných vlastností. [60]

Označení těchto ocelí dle ČSN je 19 3XX - 19 7XX. [5]

Chromové oceli

Chrom působí univerzálně, a proto je důležitou přísadou legovaných ocelí. Tvoří vysoké tvrdosti samostatných karbidů a stabilizuje karbidy ostatních prvků i za vyšší teploty. Zvyšuje pronikatelnost a výrazně posouvá křivky diagramu IRA k delším časům. Rozděluje zřetelně oblast perlitické přeměny od bainitické (Obr. 9.). Zvyšuje také tvrdost a ořezávací schopnost ocelí. Při obsahu 4 % Cr jsou oceli kalitelné již na vzduchu. Chromové oceli vynikají řezivostí a odolností proti otěru. Jsou vhodné pro nástroje, u kterých se vyžaduje vysoká tvrdost a houževnatost a snadné tepelné zpracování. [3]



Obr. 9. Vliv chromu na tvar křivek IRA (izometrické přeměny) [3]

Wolframové oceli

Wolfram je pro nástrojové oceli velmi důležitým legujícím prvkem a často se kombinuje s chromem a dalšími prvky. Tvoří více druhů karbidů, které jsou velmi tvrdé a stabilní. Wolframové oceli vykazují vysokou tvrdost a odolnost proti otěru. Karbidy wolframu jsou v austenitu těžko rozpustné, proto wolframové oceli zachovávají tvrdost i při vysokých teplotách. Vlivem wolframu se snižuje jejich tepelná vodivost a zvyšuje měrná tepelná kapacita ocelí. Wolframové oceli jsou proto velmi náročné na tepelné zpracování.

Oceli s obsahem W do 5 % s kombinací chromu a vanadu do 2 % se používají k výrobě nejvyšších šroubovitých vrtáků, výstružníků, fréz a chirurgických nástrojů. [3]

2.2.3 Rychlořezná ocel (HSS)

Rychlořezné oceli jsou uváděny jako samostatná skupina legovaných ocelí zejména pro vysoce výkonné řezné nástroje a pro své zcela specifické vlastnosti a využitelnost. Vyznačují se vysokou odolností proti poklesu tvrdosti až do teplot kolem 550°C. Jedná se o ledeburitické oceli vysoce legované s obsahem nad 0,70% uhlíku. Základním legujícím prvkem u rychlořezných ocelí je wolfram. Ten bývá částečně nahrazen polovičním množstvím molybdenu Mo. Typické složení rychlořezných ocelí: 0,75% C, 4,0% Cr, 18,0% W a 1% V. V případě spořivé varianty se snižuje obsah W na 10,0% a zvyšuje obsah V na 2% až 4%. Rychlořezné oceli pro hodně vysoké výkony se legují „Co“ do cca 12%. Rychlořezné oceli se kalí při teplotách 1200°C až 1280°C a popouští se na sekundární tvrdost při teplotě okolo 560°C. Při teplotě nad 150°C dochází mírně k poklesu tvrdosti částečným vylučováním karbidu z martenzitu. Tím klesá tvrdost martenzitu v materiálu. Při teplotě kolem 450°C až 550°C poklesne obsah uhlíku ve zbytkovém austenitu tak, že se zvýší křivka Ms a austenit se transformuje na martenzit a tvrdost vzroste. Popouštěním na tuto teplotu se říká popouštění sekundární tvrdosti. Při transformaci se přemění pouze část austenitu a popouštění je opakováno. Pro dosažení tvrdosti 60HRC až 66 HRC se popouštění opakuje až 3x. [2]

Označení těchto ocelí dle ČSN je 19 8XX. [5]

Ekonomicky výhodné, pro nástroje z rychlořezných ocelí, je používat sice dražší, ale kvalitnější druhy vysoce výkonných rychlořezných ocelí, uvedených v tabulce (Tab. 2). [7]

Tab. 2. Charakteristiky aplikací rychlořezných ocelí [7]

Označení podle normy	Hutní označení	Obráběné materiály a charakteristika pracovních podmínek
19 802	Maximum Speciál G Extra	Značně namáhané nástroje pro obrábění materiálů o nižší a střední pevnosti cca do 850 MPa hrubováním
19 830	Maximum Speciál M05	Značně namáhané nástroje pro obrábění materiálu do pevnosti 900 MPa i přerušovaným řezem a při požadavku na vysokou houževnatost
19 855	Maximum Speciál 55	Vysoce namáhané nástroje pro obrábění ocelí a ocelolitin o vysoké pevnosti a materiálů těžkoobrobitelných při vysokých řezných rychlostech
19 856	Maximum Speciál 55G	Vysoce namáhané nástroje pro obrábění ocelí a ocelolitin o vysoké pevnosti a materiálů těžkoobrobitelných při vysokých řezných rychlostech
19 857	MKG	Hrubování ocelí a ocelolitin o vysoké pevnosti a materiálů těžkoobrobitelných
19 858	Radeco C	Jemné a přesné obrábění oceli a ocelolitin o vysoké pevnosti, tvrdých a abrazivních materiálů, nepřerušovaný řez
19 859	MK	Nejvýše namáhané nástroje pro obrábění, zejména hrubování oceli a ocelolitin o vysoké pevnosti, pevných a houževnatých materiálů
19 860	MKH	Nejvýše namáhané nástroje pro obrábění, zejména hrubování oceli a ocelolitin o vysoké pevnosti, pevných a houževnatých materiálů
19 861	Radeco M10	Jemné obrábění oceli a ocelolitin, ubírání třísek velkého průřezu u oceli a ocelolitin o vysoké pevnosti

2.3 Stellity

Jsou to řezné slitiny s velkým množstvím karbidů chromu a wolframu. Díky těmto karbidům stellity dostávají velkou tvrdost a řezivost. Železa v této slitině je max. do 10 procent a spíše je to nežádoucí prvek. Obsahují 20-40% Cr, 10-30% W, 30-55% Co, 2-4% C, a nepatrné množství molybdenu, niklu a jiných prvků. Nástroje se vyrábí odléváním a po odlití už jen přebrousí. Materiál je křehký, nekujné, běžnými konvekčními nástroji neobrobitelné a tepelně se dále neupravují. [7]

2.4 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (zkratka SK) jsou nástrojové materiály vyráběné práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů:

- karbidu wolframu (WC)
- karbidu titanu (TiC),

- karbidu tantalů (TaC)
- karbidu nióbu (NbC).

Nejsou slitinou, ale směsí dvou i více fází. Dodatečné tepelné zpracování není možné. Jelikož jsou velmi tvrdé, dají se tvarově a rozměrově upravovat jen omezeně pouze elektroerozivním obráběním, broušením a lapováním. Množstvím jednotlivých složek při výrobě SK lze ovlivňovat jejich houževnatost, tvrdost a odolnost proti otěru.[3]

Jako pojivo se ve většině případů používá kobalt (Co). Zavedení slinutých karbidů znamenalo zvýšení produktivity práce na základě možnosti zvýšení řezných rychlostí. Slinuté karbidy jsou v současné době nejpoužívanějším materiálem pro řezání kovů. [5]

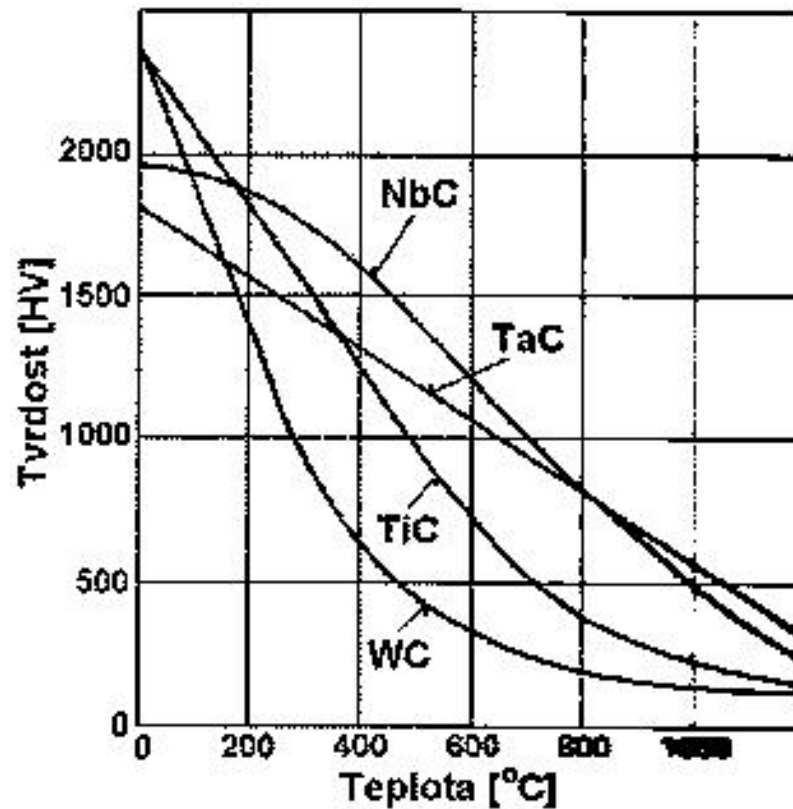
Slinuté karbidy se dělí na nepovlakové a povlakové. [3]

Současné nepovlakové slinuté karbidy pro aplikace jsou dle normy označovány symboly HW a HF a podle použití rozděleny do skupin – P, K a M.

- Skupina P je vhodná pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, jako jsou slinuté oceli, uhlíkové oceli a feritické korozivzdorné oceli. Řezný proces je doprovázen velkými řeznými silami a značným opotřebením čela vrtáku, proto tato skupina SK obsahuje velké množství karbidu titanu TiC a karbidu tantalů TaC, které zlepšují odolnost proti vymílání na čele nástroje. Vhodnost slinutých karbidů této skupiny pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku je dána též tvrdostí TiC za vysokých teplot, ve srovnání s WC.

Nevýhodnou vlastností TiC a tuhých roztoků na bázi TiC je vyšší křehkost a nižší odolnost proti abrazi ve srovnání s WC.

- Skupina K je vhodná pro obrábění materiálů, které vytvářejí krátkou, drobnou třísku (zejména pro neželezné slitiny, nekovové materiály a šedé litiny). Řezné síly jsou obvykle relativně nízké a převládá adhezní a abrazivní opotřebením. Karbid wolframu tvoří jedinou tvrdou strukturní složku této skupiny SK. Má za pokojové teploty tvrdost srovnatelnou s většinou ostatních karbidů, avšak s rostoucí teplotou její hodnota klesá rychleji než u jiných karbidů. Slinuté karbidy této skupiny nejsou vhodné pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku, která tepelně zatěžuje mnohem více čelo nástroje (Obr. 10.).



Obr. 10. Závislost tvrdosti karbidů na teplotě [4]

- Skupina M je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a střední třísku, jako jsou austenitické korozivzdorné oceli, lité oceli a tvárné litiny. Řezné síly dosahují středních až vysokých hodnot, dochází k drolení ostří. [4]

V Každé této skupině jsou uvedené čísla, udávající různé požadavky na proces řezání. Začínají hrubováním, až po dokončovací operace. Skupiny s číselným označením:

- 01 – určená pro dokončovací operace s velkými řeznými rychlostmi, malým posuvem a malou hloubkou řezu
- 25 – určená pro proces řezání v středním rozsahu řezných podmínek.
- 40 resp. 50 – určená pro hrubování při nízkých řezných rychlostech, velkém průřezu třísky a střídavém mechanickém zatížení.

Výhodou slinutých karbidů od nástrojových ocelí je, že si zachovávají vysokou tvrdost, odolnost proti opotřebení a trvanlivost řezné hrany za vysokých teplot dosahujících 900°C - 1000°C. [5]

2.5 Cermety

Název cermet je společný pro všechny tvrdé kovokeramické materiály, u kterých jsou ty tvrdé složky utvořené karbidem titanu (TiC), karbo-nitridem titanu (TiCN), nebo nitridem titanu (TiN) spolu s karbidem wolframu (WC). Na rozdíl od slinutých karbidů, považujeme cermety za řezné materiály vyráběné práškovou metalurgií na bázi titanu (s přísadami karbidu tantalu - TaC a karbidu molybdeny - MoC), ne však na bázi karbidu wolframu jakož to je u slinutých karbidů. Vlastnosti, kterými se vyznačují cermety, jsou:

- Chemická stabilita a tvrdost za tepla
- Vysoká odolnost proti opotřebení hřbetu a čelní plochy ve tvaru žlábků
- Menší sklon k tvoření nárůstku
- Malý sklon k oxidačnímu opotřebení. [5]

2.6 Řezná keramika

Řezná keramika má vysokou tvrdost za tepla, a nereaguje s materiálem obráběného objektu. Může být použita při vysokých řezných rychlostech a zaručuje přitom dlouhou trvanlivost řezné hrany. [5]

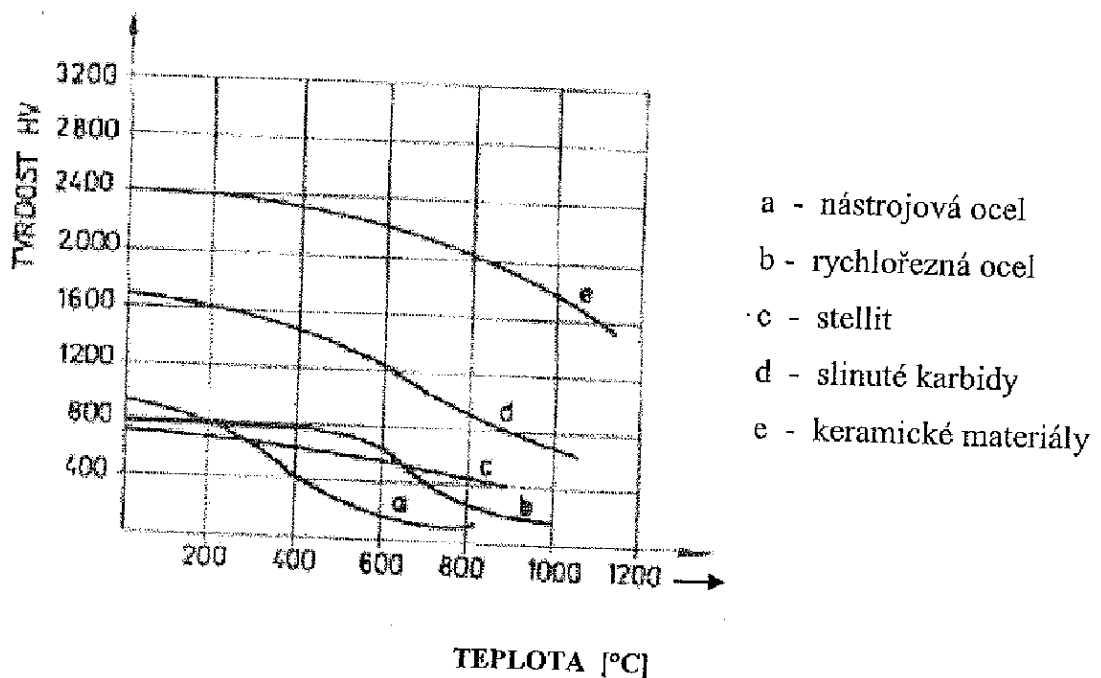
Základní složkou keramických řezných materiálů na bázi oxidu hlinitého je korund Al_2O_3 . Jeho velkou nevýhodou je křehkost, která se dá potlačit přidáním niklu, molybdeny, chromu, karbidu titanu, karbidu molybdeny a karbidu wolframu.

Vyznačuje se vysokou odolností vůči abrazivnímu opotřebení a chemickým vlivům. Dále má vysokou odolnost proti poklesu teploty (obr. 11).

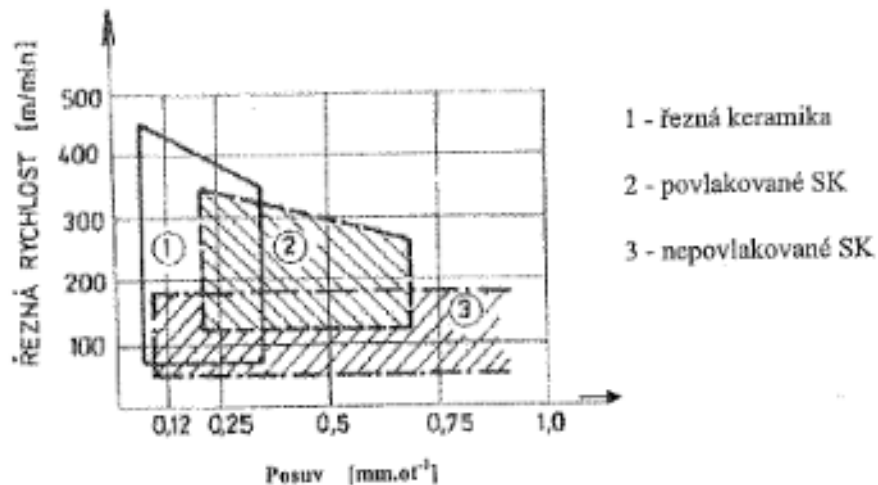
Dále můžeme porovnat mezi slinutými karbidy a řeznou keramikou, které materiály nástrojů jsou vhodné na obrábění při různých posuvech a řezných rychlostech (obr. 12)

Rozdělení keramiky:

- *čistá keramika* - obsahuje 99,9% oxidu hlinitého. Doporučuje se pro dokončovací obrábění šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Používá se řezná rychlost přes 100 m/min
- *směsná keramika* - kromě korundu Al_2O_3 obsahuje přísadu 20-40% karbidu titanu TiC. Oproti čisté keramice má větší odolnost mechanickým a teplotním rázům. Je doporučována pro obrábění šedé litiny tvrdé litiny, cementačních a zušlechtěných ocelí.
- *nitridická keramika* Si_3N_4 - vysoká odolnost proti mechanickému porušení břitu. Je vhodná i pro přerušované řezy a kolísající hloubku řezu. Vhodná pro obrábění žárupevných slitin na bázi niklu. [7]



Obr. 11. Závislost tvrdosti řezných materiálů na teplotě. [7]



Obr. 12. Oblast ekonomického použití řezných podmínek. [7]

2.7 Kubický nitrid bóru - KNB

KNB je velice tvrdý materiál pro řeznou část nástrojů. Vykazuje mimořádnou tvrdost nejen za normálních teplot ale i při extrémních teplotách okolo 2000°C. Má vysokou výkonnost, odolnost proti abrazivnímu opotřebení a při záběru má vždy dobrou chemickou stabilitu. KNB je houževnatější a tvrdší než řezná keramika, ale nemá tak dobrou chemickou a tepelnou odolnost. Je taky hodně křehký. [5]

Využití nachází především na výrobu břitových destiček, které mohou obrábět tvrdé a žáruvzdorné materiály, kalené oceli, nežíhané tvrdé litiny, kobaltových a niklových slitin a nástrojů z kalených nástrojových ocelí. [7]

2.8 Polykrystalický diamant

Má téměř stejnou tvrdost jak monokrystalický diamant (přírodní diamant). Základní vlastnosti PKD:

- pro svou afinitu není aplikovatelný pro obrábění materiálu s obsahem železa
- není vhodný pro řezání houževnatých materiálů s vysokou pevností
- teploty v okolí řezu nesmí překročit 600°C. [5]

Je tedy doporučen na obrábění všech neželezných kovů a nekovových materiálů. Například: hliník, měď, mosaz, bronz, titan, sklolaminát, výlisky plněny abrazivními plnidly, tvrdý kaučuk, grafit, sklo, dřevo. [7]

3 TECHNOLOGIE VÝROBY VRTÁKŮ

První operací, nepočítám-li výběr vhodného materiálu, je dělení válcových tyčí na pásových pilách na potřebnou délku. [14]

3.1 Dělení řezáním

Dělit materiál řezáním je možné na rámových, okružních nebo pásových pilách. Nejvýkonnější je řezání na kotoučových pilách se vsazovanými zuby nebo segmenty zubů z rychlořezných ocelí. Řezat materiály lze jen do určité tvrdosti, jinak je nutností materiál předem vyžítat. Při dělení materiálu se ztrácí část děleného materiálu ve formě třísky. Hmotnost odpadu závisí na šířce pily. Řezáním na pilách lze docílit hladký řez, přesnou hmotnost řezaného materiálu a kolmost řezu. [8]

Nástrojový materiál raději dělíme na pásových pilách z důvodu úspory drahého materiálu.

Poté následuje pískování (omílání) v bubnech, především pro odstranění nečistot. Hrozilo by totiž rychlejší opotřebení nástrojů na výrobu řezných částí nástrojů. [14]

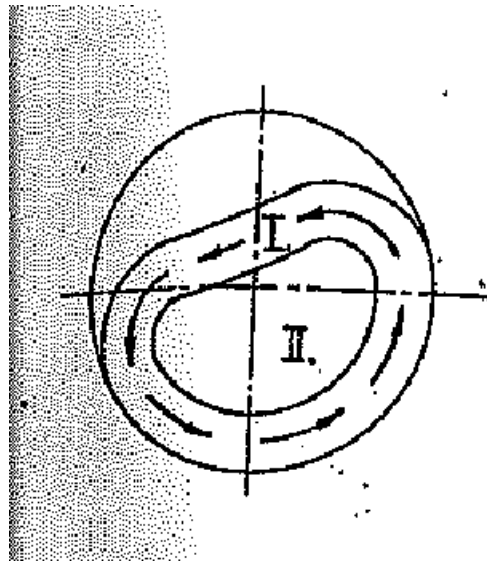
3.2 Omílání

Mechanický způsob úpravy povrchu spočívající v úběru materiálu a jeho vyhlazování účinkem vzájemného působení omílaných výrobků a omílacích prostředků, tzn. abrazivo a kapalina. Výhodou této technologie je:

- snižují se výrobní náklady
- zvyšuje se výrobnost
- snižuje se zmetkovitost

Při omílání se vytváří v bubnu 2 oblasti. (Obr. 13.)

- I - nosná vrstva mající tvar prstence, která sleduje stoupání stěny bubnu a odtrhuje se v určitém okamžiku od stěn a klouže jako aktivní vrstva, nebo padá převalující se směs brusiva a předmětu.
- II – jádro se převaluje pouze mírně, ale rozhraní mezi vrstvami není přesně odděleno.



Obr. 13. Schéma rozvrstvení materiálu
v bubnu při omílání [9]

V aktivní vrstvě probíhá 90% omílání. Velikost aktivní vrstvy závisí na naplnění bubnu (optimální plnění je 40-60%).

Optimální otáčky bubnu se stanoví dle empirického vztahu:

$$n_1 = \frac{k_1}{\sqrt{D_1}} \quad (9)$$

n_1 ...otáčky $ot. \min^{-1}$

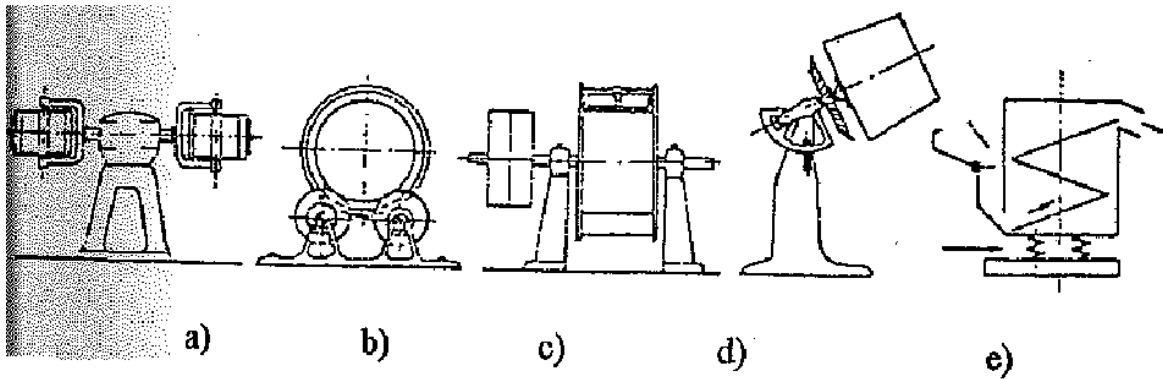
k_1 ... koeficient, kde hodnota - 28,1 pro lehké předměty

- 15,9 pro těžké předměty

D_1 ...průměr bubnu v mm

Pro hrubování se používá obecně větších omílacích prostředků s vyšší tvrdostí a hrubší zrnitostí. Používají se kameny (vápenec, umělý korund) nebo kovová tělíska, organické hmoty, atd. Poměr omílacích těles a součástí se volí 3:1 (u těžších předmětů až 20:1).

K omílání se užívá bubnů a zvonů (obr. 14) a podle pohonu jsou děleny na rotační, vibrační, nebo odstředivé. [9]



Obr. 14. Schéma způsobu omílání: a - odstředivé, b, c, d – rotační, e – vibrační [9]

Po omílání materiálu menších průměrů předáme na CNC soustruh, který nám polotovar opracuje na průměr s určitým přídávkem. U větších průměrů musíme ještě spojit k sobě materiál řezné části a stopky. [14]

Způsob, kterým se k sobě spojí tyto dvě části, je svařování třením. Principem je vznik tepla vytvořené suchým třením mezi součástmi. [6]

Poté vysoustružit vzniklý výronek a opracovat na CNC soustruzích řeznou část i kuželovou stopku. [14]

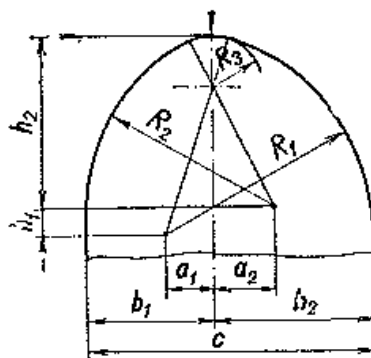
3.3 Výroba drážek

Další operací je výroba drážek a hřbetního odlehčení, která se provádí hned několika způsoby.

3.3.1 Způsob výroby drážek

Obráběním

Hřbetní odlehčení a drážky se frézují tvarovými frézami. Tento způsob není hospodárný, protože ztráty materiálu jsou 30 - 40%. Profily frézy pro obrábění drážek dle ČSN 221121 můžeme vidět na obrázku (obr. 15.) a hodnoty v tabulce (tab. 2.)



Obr. 15. Profil frézy pro obrábění
drážek šroubovitého vrtáku [10]

Tab. 3. Rozměry profilu frézy pro obrábění šroubovitého vrtáku [10]

Průměr vrtáku	R_1	R_2	R_3	h_1	h_2	a_1	a_2	b_1	b_2	c
4,5 až 5	3	2,5	0,63	0,81	2,11	0,62	1,14	1,36	2,30	3,75
9,1 až 10	6	5	1,25	1,63	4,23	1,23	2,27	2,73	4,77	7,5
18,1 až 20	12	10	2,5	3,26	8,34	2,7	4,7	5,13	9,3	14,46
28,1 až 30	18	15	3,75	4,81	14,06	4,5	4,5	10,5	10,5	21
38,1 až 40	24	20	5	6,41	18,75	10	6	14	14	28
48,1 až 50	30	25	6,25	8,01	23,44	12,5	7,5	17,5	17,5	35

Broušení

Vrtáky menších průměrů (0,1 až 10mm) se vyrábějí ze zakalených polotovárů vybrušováním z plného materiálu.

Protlačování

Ohřáté polotovary na teplotu kolem 1080°C se protlačují tvarovou tlačnicí. Kromě vrtáků o průměru 18 až 6 mm lze tímto způsobem vyrábět stopkové nebo nástrčné několikabřité nástroje. Úspora materiálu je v tomto případě až 50%.

Sektorovým válcováním

- O velikostech průměru 1,5 až 23 mm se vyrábí vrtáky s válcovou a kuželovou stopkou válcováním za tepla s pomocí 4 tvarových segmentů (způsob Rohleund Dorrenberg, NSR). Úspora materiálu se blíží 40%.

- Vrtáky o rozměrech průměru 16 až 40 mm se válcují postupným válcováním dle velikosti polotovaru na 4 až 6 průchodů. Nevýhodou je, že je třeba odfrézovat oduhlíčenou vrstvu. Úspora zde činí 25% materiálu.
- Obdobným způsobem se válcují polotovary s přímými drážkami na 3 – 4 průchody a v poslední operaci se ve stáčecím přípravku zkrucují.

Zkrucováním

Vrtáky průměru 8 až 10 mm se vyrábějí z profilových tyčí, které se válcují na válcovacích stolicích na 3 – 4 průchody. Tyto tyče se v další fázi při teplotě 1000°C zkrucují na zkrucovací stolici. Z tyčí se nařezou díly potřebné délky a po tepelném zpracování a broušení se těla vrtáku upínají co čelistí nebo lisují do stopek.

Příčným válcováním

Tato metoda spočívá v příčném válcování čelistmi a vyrábějí se vrtáky s válcovou stopkou průměru 6 až 10mm. Ohřáté polotovary se odvalují mezi dvěma rovinnými deskami, v nichž jsou meandrovitě vytvořeny výstupky. Nevýhody tohoto procesu je složitost, nákladný nástroj, omezený rozsah velikosti vrtáků a trvalé chyby v profilu vrtáku.

Kování

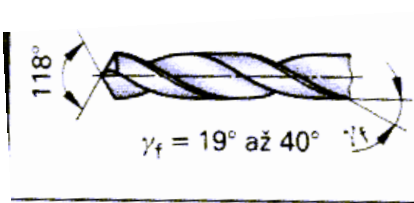
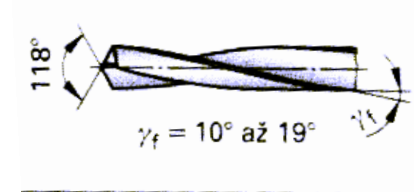
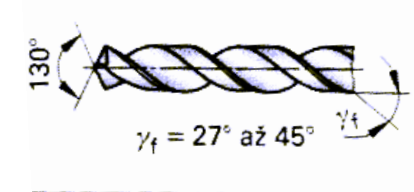
Tato metoda se praktikuje pro vrtáky průměru 50 – 80 mm. Kování se provádí v zápustkách a poté se musí výkovek dokončit frézováním. [10]

Vrtáky z rychlořezné oceli vyráběné těmito způsoby výroby drážek se následně ohřejí v solné lázni ve dvou krocích na teplotu 1260°C a pak se ponoří do vody. Rychlořezná ocel tak dosahuje ušlechtilých vlastností jako je tvrdost a pevnost. U broušených vrtáků se však kalí ještě před obrobením drážek. V dnešní době se nejčastěji vyrábí drážky vrtáků pouze třemi způsoby. Je to obráběním (frézováním), broušením a sektorovým tvářením. Nejpresnější jakost výroby děr se dosahuje vrtáním broušenými vrtáky, naopak méně přesná jakost děr je výroba díry vrtákem tvářeným. Tvářený vrták je zase levnější na výrobu. [14]

3.3.2 Úhel sklonu drážek

Podle obráběného materiálu se určuje úhel sklonu drážek, aby z vrtáku se dobře odváděla vytvořená tříška. U vrtáků se udává boční úhel čela γ_f který na obvodu odpovídá úhlu šroubovice fazetky s povrchovou přímkou válcové plochy díry. Tento úhel se volí při konstrukci vrtáku podle vlastnosti materiálu, které mají být vrtány. Vrtáky jsou označovány dle úhlu γ_f písmeny N, H a W udávajícím typy vrtáků (tab. 4). [12]

Tab. 4. Typy sklonu drážek šroubovitého vrtáku. [12]

 <p>118° $\gamma_f = 19^\circ \text{ až } 40^\circ$</p>	<p>Typ N normální provedení pro vrtání konstrukční a nerezové oceli a šedé litiny</p>
 <p>118° $\gamma_f = 10^\circ \text{ až } 19^\circ$</p>	<p>Typ H pro vrtání tvrdých (hart) a křehkých materiálů, např. tvrdé oceli nebo laminátových desek</p>
 <p>130° $\gamma_f = 27^\circ \text{ až } 45^\circ$</p>	<p>Typ W pro vrtání měkkých (weich) a houževnatých materiálů, např. slitin hliníku, mědi a zinku</p>

3.3.3 Kuželovitost jádra vrtáku

Velikost jádra se také mění nejen v závislosti na průměru vrtáku ale také na délce vrtáku. Směrem od špičky vrtáku se velikost jádra zvětšuje 0,7 -0,9mm na délce 100mm mimo vrtáků zvláště dlouhých. Je to z důvodu větší tuhosti nástroje. [20].

3.3.4 Pravořezné a levořezné stoupání

Většinou se vyrábí vrtáky pravořezné. Levořezné jsou vyráběny na požadavek zákazníka. [20]

3.4 Kontrola tvrdosti

Tato kontrola je také důležitá. Provádí se na speciálních měřicích přístrojích a hodnota tvrdosti dle normy ČSN 22 1101 musí být minimálně 64 HRC. [21]

3.5 Broušení průměru

Jelikož polotovar vrtáku už je zakalený, lze praktikovat už jen operaci broušení průměru a stopky vrtáku. [14]

3.5.1 Kuželovitost těla vrtáku

Tělo vrtáku na délce 100mm v rozsahu průměrů 0,7 – 90mm bývá kuželovitost 0,02 – 0,08 mm. Od špičky nástroje, kde musí být průměr nástroje přesný, se rozměr zmenšuje. Je to z důvodu menšího tření mezi nástrojem a obrobkem. [10]

3.6 Mezioperační kontrola

Důležitá je i mezioperační kontrola na optických přístrojích, kde se kontrolují rozměry až na tisícinny mm. [14]

3.7 Řezná část vrtáku

3.7.1 Úhly řezné části

Vrcholový úhel vrtáku

Úhel hlavních břitů je nazýván vrcholovým úhlem vrtáku (úhel špičky) a má označení ε . Většina šroubovitých vrtáků má vrcholový úhel 118°.

- Menší vrcholový úhel zaručuje lepší centrování a odvod tepla z vedlejších břitů ale na druhou stranu zmenšuje úhel břitu a tím i trvanlivost vrtáku. Vrtáky s vrcholovým úhlem 90° se používají k obrábění tvrdých syntetických materiálů obrušujících silně ostří nástroje.
- Velký vrcholový úhel vede k uhýbání z osy při vrtání do plna a tím i zvětšování průměru díry. Vrtáky s vrcholovým úhlem 130° se užívají k obrábění

měkkých houževnatých materiálů. Je to i kvůli odvodu dlouhých třísek lehkých materiálů.

Úhel hřbetu

Podbroušení hřbetů hlavních břitů vzniká úhel hřbetu. Musí být úměrný požadovanému posuvu, aby nedocházelo ke tření mezi hřbety břitů a materiálem. Příliš veliký úhel hřbetu zmenšuje pevnost břitu a vrták má sklon k vibracím.

Příčné ostří má za následek ztěžování vnikání vrtáku do materiálu, protože materiál neřeže, ale jen stlačuje. Vyrůstá tak přitlačná síla na vrták při vrtání do plna. Správné podbroušení vrtáků s vrcholovým úhlem 118° se pozná tak, že příčné ostří svírá s hlavním ostřím úhel 55° při pohledu na čelo vrtáku.

3.7.2 Druhy ostření

Strojní ostření vrtáků

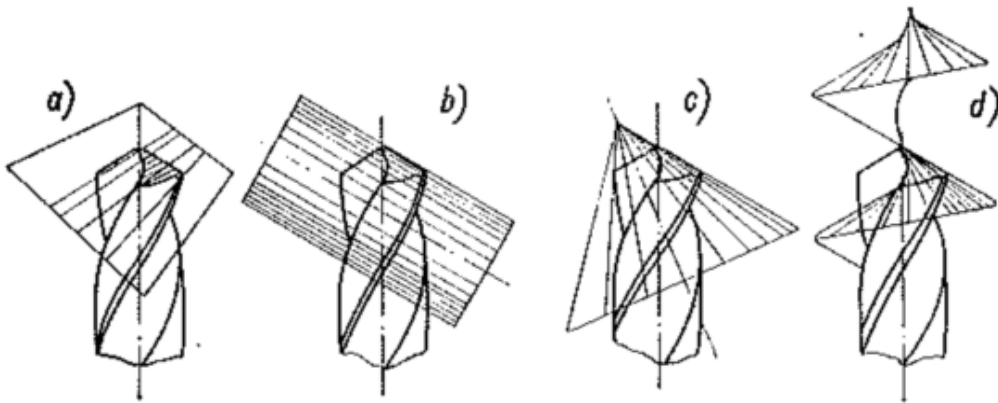
Pro nejvyšší výkon vrtáku je zapotřebí mít stejně dlouhé hlavní břity, stejně velké úhly hřbetu a symetrický sklon břitu. Tyto podmínky splňuje pouze strojní ostření. [10]

Ruční ostření vrtáků

Tento typ ostření se používá jen u malých až mikro vrtáků průměru méně jak 1mm, které nelze upnout a brousit strojně. Je zapotřebí zručnosti dělníka. [14]

3.7.3 Metody broušení řezné části

Proto, abychom dosáhla nejvyššího výkonu vrtáku, musí mít stejně velké úhly hřbetu, symetrický sklon břitu a stejně dlouhé hlavní břity. Oba hlavní břity mají být po naostření vrtáku přímkové. U vydutých břitů se vrták při vyjždění z díry snadno zasekne a poškodí. U vypouklých břitů jsou přechodové části vystaveny rychlému opotřebení. Abychom splnily tyto podmínky, musíme použít pouze strojním broušení. Základní způsoby strojního ostření lze vidět na obrázku (obr. 16).

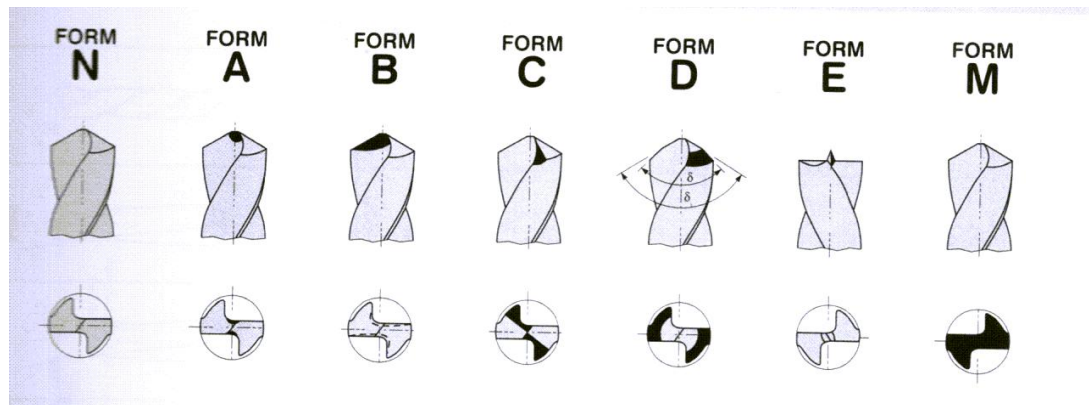


Obr. 16. Metody ostření [10]

- a) **Rovinné ostření** – je nejjednodušší, nespĺňuje však podmínku zvětšení úhlu hřbetu v blízkosti příčného břitu. Tento způsob se využívá na broušení vrtáku do průměru max. 10 mm
- b) **Válcové ostření** – jako již předchozí způsob nedává výhodné úhly α příčného břitu a používá se ho pouze na malé průměry.
- c) **Kuželové ostření** – je to způsob nejčastěji používán. Hřbetní plocha je utvořena jako část pláště kužele, jehož vrchol je postaven tak, aby u příčného břitu vznikl vlivem menšího poloměru zakřivení větší úhel α .
- d) **Šroubovité ostření** – kombinací axiálního pohybu brousícího kotouče a rotačního pohybu vrtáku se vytváří hřbetní plocha ve tvaru šroubovice. Vzniknou velmi výhodné hřbetní úhly u příčného břitu, tím pádem má vrták lepší středící vlastnosti a klade menší odpor při vnikání vrtáku do materiálu. [10]

3.7.4 Úpravy hrotů vrtáků

Pro zlepšení tvorby třísky v oblasti příčného ostří a zmenšení tlaku na vrták se brousí čela vrtáků různými způsoby dle normy DIN 1412 (obr. 17). Usnadňuje se tím především při vrtání děr do hlubokého materiálu. [12]



Obr. 17. Úpravy hrotů vrtáku [13]

Kde jednotlivé označení znamenají:

N – podbroušená kuželová plocha – je to nejčastější ostření břitu

A - podbroušená kuželová plocha se zkrácením příčného břitu (přihrocení) – zlepšuje centrování při vrtání, malá síla posuvu. Délka příčného ostří by měla zůstat alespoň 1/10 průměru vrtáku aby vrták po ztupení neházel.

B – Podbroušená kuželová plocha se zkrácením příčného břitu s korekcí úhlu čela – zabraňuje držení vrtáku v díře, stabilizuje vrták

C – Podbroušená kuželová plocha se zkrácením příčného ostří (křížové nabroušení) – použití pro vrtání hlubokých děr

D – podbroušená kuželová plocha, lomený břit – zmenší se riziko vylamování okrajů břitů alepší se odvod tepla z břitu

E – ostření s vrcholovým úhlem 180° se středícím hrotem

M – podbroušená rovinná plocha

S – speciální ostření [12, 13]

3.8 Povrchová úprava

Vrtáky se poté můžou ještě i upravovat pro zlepšení jejich vlastností. Vrtáky vydrží déle ostré, mají lepší kluzné vlastnosti a méně se vytváří nárůstek.

Metody povlakování můžeme rozdělit do dvou základních skupin:

- Metoda PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování), která je charakteristická nízkými pracovními teplotami (pod teplotou 500°C). Tato metoda byla vyvinuta pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí (nízká teplota je zárukou, že k tepelnému ovlivnění nástroje nedojde), v současnosti však dochází k významnému rozvoji metod PVD a rozšiřování jejich aplikací také pro SK.

Povlak je často vytvářen:

- napařováním (evaporation)
 - naprašováním (sputtering)
 - iontovou implantací (ion – plating)
-
- Metoda CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické napařování z plynné fáze), která probíhá za vysokých teplot (1000°C - 1200°C); tato metoda je to hlavní metodou povlakování SK a může být realizována v těchto variantách:
- tepelně indukovaná
 - plazmaticky indukovaná
 - elektronově indukovaná (paprsek elektronů)
 - fotonově indukovaná (např. laserem) [4]

3.8.1 Pasivace

Jedná se o povrchovou úpravu, kdy se dokončené nástroje z rychlořezné oceli nechají ještě jednou popouštět v přehřáté páře při ca 550°C. Přitom se vytvoří neobyčejně jemná povrchová vrstva s tvrdostí 900 HV. Díky uvolnění pnutí získají nástroje i vyšší pružnost, která zabraňuje jejich případnému zlomení. Tato povrchová úprava je vhodná pro všeobecné použití. Úpravou vrták získává typickou šedomodrou barvu. [14, 20]

3.8.2 Bronz oxidace (nízkoteplotní oxidace)

Je to druh povrchové úpravy, kdy se nástroje zahřejí na teplotu cca 200°C a nechají se určitou dobu na této teplotě. Poté se nechají na vzduchu ochladit. Nástroje pak mají na povrchu určitý odstín barvy bronz. [20]

3.8.3 Povlakování nástrojů z rychlořezné oceli

Kvalita řezných nástrojů je dána zejména kvalitou povlaku. Tyto otěruvzdorné a velmi tvrdé vrstvy chrání nástroj před opotřebením na čele i hřbetu, zvyšují spolehlivost obrábění a snižují energetickou náročnost. Takto chráněný nástroj má pak řezné vlastnosti mnohokrát větší než nepovlakovaný nástroj.

Rychlořezné oceli bývají nejčastěji povlakovány metodou PVD. Povlaky mohou být provedeny jako monovrstvy nebo multivrstvy, gradientní, nanokompozitní, nebo jejich kombinace.

Druhy povlaků se volí podle kvality obrobku (Tab. 5), technologie obrábění, podle předpokládaného zatížení řezu a stanované kvality obrobku. Pro nízké teploty, malé řezné rychlosti, a běžnou kvalitu produkce lze s výhodou použít povlaky na bázi TiN a TiCN. Pro zhoršené podmínky chlazení a obrábění zušlechtěných materiálů se můžou aplikovat povlaky na bázi AlTiN, TiAlN, TiAlCrN, které mají termochemickou stabilitu.

Hlavními přínosy jsou zamezení adhezního ulpívání třísek z obrobku na nástroji, zamezení tvorby nárůstku, zmenšení tření, zmenšení chvění, možnost zvýšení řezné rychlosti o 40 – 60%, zvýšení trvanlivosti nástroje o 400 - 600%, zvýšení kvality, produktivity, a spolehlivost výroby. [13]

Tab. 5. Doporučené vrstvy pro různé druhy obráběného materiálu [13]

Obráběný materiál / Machining material / Bearbeitende Material	Vrtání / Drilling / Bohren	
ocel < 800 N	TiN	TiAlN
ocel 800 - 1000 N	TiAlN	AlTiN
ocel > 1000 N	TiAlN	AlTiN
korozivzdorná ocel	TiAlN	AlTiN
šedá litina	TiAlN	AlTiN
Al	CrN	CBC
Al slitiny	TiCN-MP	TiAlN
Cu	CrN	
Cu slitiny	TiCN-MP	TiAlN
Ti, Ni slitiny	TiAlN	AlTiN
plasty	TiCN-MP	CrN

3.8.4 Povlakované karbidy

Povlakové slinuté karbidy se vyrábějí tak, že na podklad z běžného slinutého karbidu typu P, K nebo M (v současné době jsou již povlaky nanášeny převážně na podkladové SK, vyrobené speciálně přímo k tomu účelu) se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a výbornou odolností proti opotřebení (povlak tvořený v tenké vrstvě má vyšší pevnost i tvrdost než stejný homogenní materiál v jakékoli jiné formě). Tyto dobré vlastnosti se vyznačují zejména tím, že povlakový materiál ve srovnání se substrátem neobsahuje žádné pojivo, má méně strukturních defektů a o více řádů jemnější zrnitost a navíc vytváří bariéru proti difúznímu mechanismu opotřebení nástroje. [4]

Nejdůležitější materiály pro povlakování jsou:

- Karbid titanu – TiC
- Nitrid titanu – TiN
- Karbonitrid titanu – TiCN
- Oxid hlinitý - Al_2O_3 . [5]

3.9 Výstupní kontrola

Kontroluje se vrcholový úhel, úhel příčného ostří a úhel podbroušení hřbetu. [12]

4 DOPROVODNÍ JEVY PROCESU OBRÁBĚNÍ

Kterákoliv technologická metoda je charakteristická uspořádáním technologických systémů a podmínkami procesu řezání. Jevy doprovázející řezný proces jsou charakterizovány kinematikou, dynamikou, tvořením třísky a povrchem po řezu. Patří zde:

- Silové poměry při procesu řezání – Při oddělování vrstvy materiálu obrobku a tvořením třísky se spotřebovává určité množství práce. Tato práce se spotřebovává při vnikání břitu nástroje do materiálu obráběné součásti, která klade tzv. řezný odpor proti vnikání a ten je překonáván řeznou silou.
- Tepelné jevy při procesu obrábění – Mechanická energie spotřebovaná v procesu obrábění na odebrání třísky a její odvedení z místa řezu se mění převážně v teplo. Toto teplo je provázeno vznikem velmi vysoké teploty především na kontaktních plochách. Vysoké teploty funkčních ploch nástroje mají nepříznivý vliv na přesnost obrábění, jakost obrobek a především na trvanlivost nástroje. Na povrchu obrobku mohou tyto teploty vyvolat pnutí i strukturální přeměny.
- Tuhost technologické soustavy – Při konstruování strojních součástí volíme jejich rozměry tak, aby deformace celé technologické soustavy se nedostaly do oblasti plastických deformací. Technologickou soustavou se rozumí: obráběcí stroj – nástroj – obrobek – upínací přípravek pro obrobek a pro nástroj. Součásti lze bezpečně dimenzovat na pevnost, nelze však zabránit pružným deformacím.
- Řezné kapaliny a jejich vliv na řezání – Chemické a fyzikální vlastnosti prostředí řezání podstatně ovlivňují deformaci řezaného materiálu, tření na nástroji, teplotu řezání, a tím i řezný odpor, trvanlivost nástroje, přesnost a jakost obrobek plochy. [16]
- Opatřování břitu nástroje – Je to nežádoucí změna povrchu nebo rozměru tuhých těles způsobených buď vzájemným působením funkčních povrchů, nebo funkčního povrchu a prostředí, které opotřevování vyvolá při jejich vzájemném relativním pohybu. Opatřování řezného nástroje je produktem kombinace zatěžujících faktorů, které působí na řeznou část nástroje. Nastává tedy třením mezi řeznou částí nástroje a objektem. [5]

4.1 Opatřebení břitu šroubovitého vrtáku

U šroubovitých vrtáků nastává první kontakt tím, že výstupky povrchu vrcholu šroubovitého vrtáku se zatlačí do materiálu objektu, potom dochází k postupnému vřezávání příčné řezné hrany do materiálu objektu a v poslední etapě vstupu šroubovitého vrtáku do materiálu objektu je interakce elementů hlavních řezných hran (minimálně dvou hran) do materiálu objektu. Proces vřezávání se řezných hran do materiálu objektu končí v bodě H (hrot řezné části nástroje). Proces vřezávání je v každém bodě této řezné hrany odlišný, a to z důvodu změn kinematických poměrů v každém bodě řezné hrany. Řezná rychlost se posupně mění od středu vrtáku, kde je rychlost nulová, do největšího průměru vrtáku, kde je rychlost velká. V důsledku těchto kinematických poměrů dochází při vřezávání k opotřebování prvků řezné části nástroje a to hlavně při středu vrtáku, resp. na příčné řezné hraně, dále postupným vřezáváním hlavní řezné hrany (hran) dochází k opotřebování na hlavní zadní ploše a na čelní ploše, až proces opotřebování pokračuje u průměru, postupuje na vedlejší řeznou hranu a v konečném důsledku ovlivňuje i vedlejší zadní plochy. Druh a průběh opotřebování, které vznikly na řezné části nástroje, podávají důležité informace o průběhu operace procesu řezání.

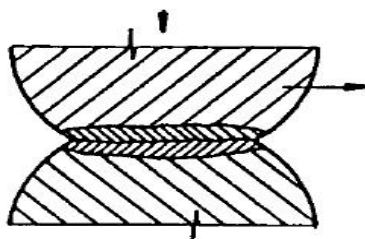
Příčiny poškození řezné části nástroje můžeme charakterizovat pomocí tří faktorů:

- a) externí příčiny procesu řezání (házení objektu, nízká tuhost upnutí nástroje)
- b) metalurgie materiálu řezné části nástroje (chyby při tepelném zpracování)
- c) jevy v procesu řezání (poškození řezné části nástroje)

Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu nástroje. Tepelná zatížení značně namáhají materiál břitu nástroje a v některých případech mohou vytvářet dynamický faktor v okamžiku, kdy jeden břit z materiálu vystupuje a opět do něj vniká. Procesem utváření třísky se kontinuálně vytváří při vysokém tlaku a teplotách čistý kovový povrch, který má sklony k chemickým reakcím, případně k difúzním procesům. Většina obráběných materiálů obsahuje tvrdé částice různého druhu, které se svou tvrdostí neliší od materiálu břitu nástroje. Tyto částice vyvolávají u nástroje brousící, případně abrazivní efekt:

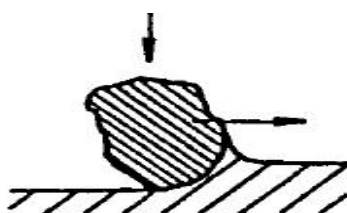
Adhezní (Obr. 18) - příčinou je kluzný pohyb součástí, vytrhování a přenášení částíček - řada hypotéz (mikrospoje následkem mikronerovností a plastické

deformace) - dle podmínek: elastický (únava), plastický (nizkokyclová únava, zpevnění), rýhování (odřezávání), přítomnost oxidických (křehkých) vrstev, hloubkové vytrhávání mikrospojů - vliv zakřivení nerovností, zatížení a rychlosti pohybu, schopnost vytvářet adhezní spoje, média mezi plochami.



Obr. 18. Adhezní opotřebení [5]

Abrazivní (Obr. 19) - částice mezi kluznými plochami (obvykle tvrdé) - analogie adhezivního - vliv tvaru, množství a vlastností částic (částice volné nebo vázané) - oddělování závisí na úhlu částice s povrchem – vliv tzv. kritické velikosti částic.



Obr. 19. Abrazivní opotřebení [5]

Je třeba uvést, že v technické praxi se prakticky vždy jednotlivé druhy opotřebování vzájemně kombinují. Kromě toho v mnoha případech vznikne poškození mechanismem jistého druhu opotřebení, který byl iniciovaný elementy oddělenými z kluzných povrchů mechanismem jiného opotřebování. Proto je analýza velmi složitou záležitostí a vyžaduje velké zkušenosti v této oblasti.

Mechanismus opotřebování objektu neobecně představuje souhrn příčin, které vedou ke změně rozměru a ke ztrátě hmotnosti. Moderní tribologie rozlišuje 4 základní mechanismy opotřebování, které jsou výsledkem vzájemné interakce minimálně dvou objektů:

Abrazivní mechanismus opotřebování – tvrdost elementů materiálu nástroje je většinou větší než tvrdost elementů materiálu objektu. Element s definovanou tvrdostí vlivem akce působí na měkký element objektu. Tvrdý element odebrává z objektu vrstvu plasticky deformovaného materiálu. Odpor je menší než velikost působícího zatížení.

V praxi se můžeme střetnout s různými projevy tvrdých částic. Tvrdou částicí může být element řezné části nástroje, element objektu, externí element procesu řezání, element procesního média (nečistota). V současné době se na analýzu abrazivního mechanismu opotřebování aplikuje parametr poměru tvrdosti volné tvrdé částice ku tvrdosti materiálu řezné části nástroje. Jestliže je parametr větší jak 1, je velká pravděpodobnost, že dojde k opotřebování části nástroje abrazivním mechanismem. [5]

4.2 Parametry drsnosti povrchu

Pro správnou funkci strojních součástí je mimo tvarové a rozměrové přesnosti důležitá i jakost povrchu funkčních ploch. Na povrchu součásti lze vidět velice jemné nerovnosti, které jsou tvořeny prohlubněmi a výstupky podobného průběhu na celé ploše. Velikost a tvar nerovností jsou závislé hlavně na způsobu obrábění, obráběném materiálu a na technologických podmínkách.

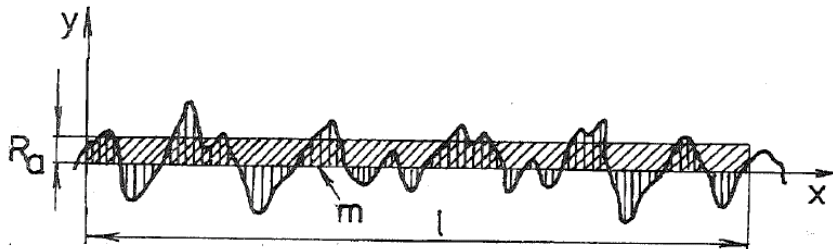
Stupeň drsnosti obrobené plochy bývá určen dvěma způsoby. Buď je to porovnáním podle vzorových etalonů, nebo změřením některých hodnot udávajících charakteristiku drsnosti povrchu přístrojem. Mezinárodní norma ISO 468 uvádí tyto parametry drsnosti povrchu:

- **střední aritmetická úchylka profilu R_a** (Obr. 20), která je určena vztahem (10):

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \quad (10)$$

l... Základní délka

y... absolutní úchylka profilu v rozsahu základní delky



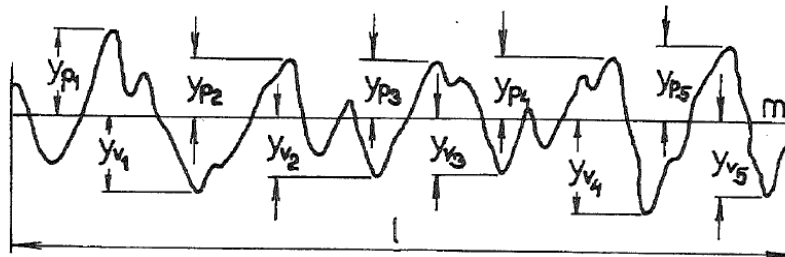
Obr. 20. Grafické vyjádření R_a [18]

- **výška nerovností profilu z deseti bodů R_z** (Obr. 21), která je dána vztahem (11):

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{j=1}^5 |y_{vj}|}{5} \quad (11)$$

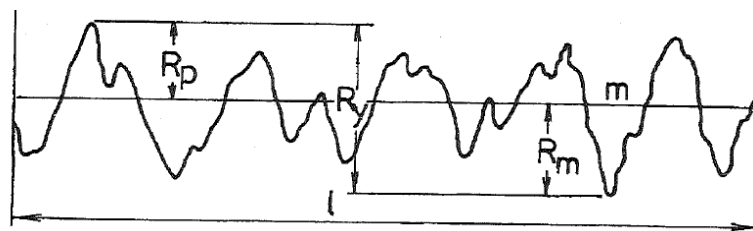
y_{pi} ...výška i-tého nejvyššího výstupku profilu

y_{vj} ...hloubka j-té nejnižší prohlubně profilu



Obr. 21. Grafické znázornění R_z [18]

- **největší výška nerovností profilu R_t (R_y)** (Obr. 22), která je dána součtem výšky nejvyššího výstupku profilu R_p a hloubky nejnižší prohlubně profilu R_v , tj. vzdálenost čáry prohlubní a čáry výstupku.



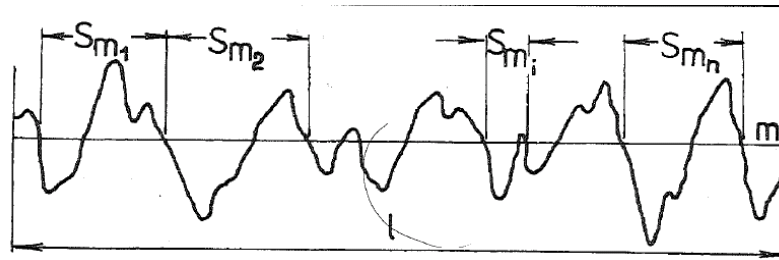
Obr. 22. Grafické znázornění R_y [18]

- **střední rozteč nerovností profilu S_m** (Obr. 23) která je dána vztahem (12):

$$S_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n S_{mi} \quad (12)$$

S_{mi} ...rozteč nerovností profilu

n ... počet roztečí nerovností profilu v rozsahu základní délky



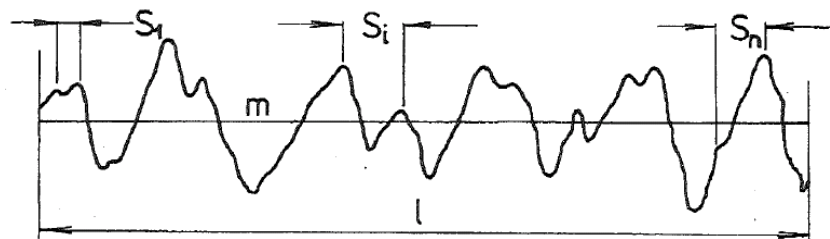
Obr. 23. Grafické vyjádření S_m [18]

- **střední rozteč místních výstupků profilu S** (Obr. 24), která je uvedena ve vztahu (13):

$$S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j \quad (13)$$

S_j ...rozteč místních výstupků profilu

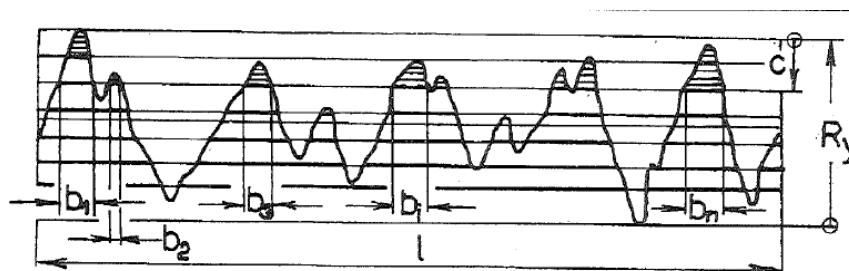
n ... počet místních výstupků profilu v rozsahu základní délky [18]



Obr. 24. Grafické vyjádření S [18]

- **materiálový podíl drsnosti profilu R_{mr}** (Obr. 25), procentuální podíl součtu délek materiálových přímk b_x v dané výšce profilu (c) k měřené délce l . Křivka podílu materiálu udává podíl materiálu jako funkci hladiny (výšky) řezu. [26]

$$R_{mr}(c) = \frac{b_1 + b_2 + \dots + b_x}{l} \quad (14)$$



Obr. 25. Grafické vyjádření t_p [18]

4.3 Určování složek řezné síly

Máme několik způsobů určování řezných sil:

- na základě analytických vzorců (z geometrie nože a rozměru třísky)
- určování řezných sil pomocí měrného řezného odporu
- určování řezných sil z empirických vzorců
- měření řezných sil při obrábění

Jelikož velikost jednotlivých složek řezné síly je ovlivňována řeznými podmínkami, jsou výsledky získané výpočtem ze vzorců pouze přibližné a v praxi je nutno je porovnávat s experimentálně zjištěnými výsledky. Řeznou sílu a její složky můžeme při obrábění měřit:

- přímým měřením dynamometrem
- nepřímým měřením sil [16]

4.3.1 Přímé měření sil

Metoda záleží v měření pružných deformací některého vhodného elementu dynamometru, které vznikají při zatížení řeznou silou (její složkou). Z deformací tohoto elementu se po zesílení usuzuje na velikost i směr jednotlivých složek řezné síly. Řezné síly můžeme vhodnými prostředky sledovat nejen staticky, ale i dynamicky znázorňovat jejich průběh oscilografy. Měření deformací zatěžovaného elementu dynamometru může být na principu mechanické, hydraulické, kapacitní, elektrické, optické atd.

Podle počtu složek řezných sil, které současně měříme, dělíme dynamometry na jednosložkové, dvousložkové a tříložkové. Často jimi měříme kroutící moment.

Podle druhu operací, pro něž dynamometr používáme, rozlišujeme dynamometry pro soustružení, vrtání, frézování atd. [19]

Síly, které má dynamometr měřit, se zachycují pomocí vhodně zvolených deformačních členů. Působením těchto sil se pak tyto deformační členy přímo úměrně deformují a tyto deformace se převádí opět vhodně zvolenými snímači na signál, který zpracovává dále přijímač a ve vhodné formě ho vyčísluje na zobrazovacím zařízení.

Deformační členy se konstruují pro každé řešení jinak a standardizované tvary mohou většinou pouze pomoci v řešení. Pro snímače a přijímače se dají použít standardizované sériově vyráběné součásti jako polovodičové, fóliové a drátkové tenzometry. Aplikace tenzometrů v deformačních členech zachycujících statické síly, tlaky nebo kroutící momenty, jsou v porovnání s jinými principy měření mechanických veličin nejpřesnější.

Požadavky na aparaturu k měření řezných sil jsou:

- tuhost – nutná k zachování řezných podmínek
- malá setrvačnost - je důležitá k tomu, aby jim bylo možno měřit síly, které kolísají v rychlém sledu za sebou
- přesnost
- citlivost - ovlivňuje minimální zachycenou změnu měřené složky řezné síly.
- stabilita cejchování
- dostatečný měřicí rozsah – ovlivněna univerzálnost dynamometru
- minimální ovlivňování složek navzájem
- minimální rozměry a hmotnost
- jednoduchá obsluha
- spolehlivost.

Dynamometr se obvykle skládá ze tří základních částí:

- a) Pružný článek, který se vlivem vnějšího zatížení pružně deformuje nebo pružně se přemísťuje atd.
- b) Snímač, který mění mechanickou změnu pružného článku na hodnotu elektrickou nebo tlakovou.
- c) Přijímač, který zpracovává signál snímače, zesiluje jej, a popřípadě jeho velikost zaznamenává.

Existují dva druhy zařízení, dynamometr s pasivním a s aktivním snímačem.

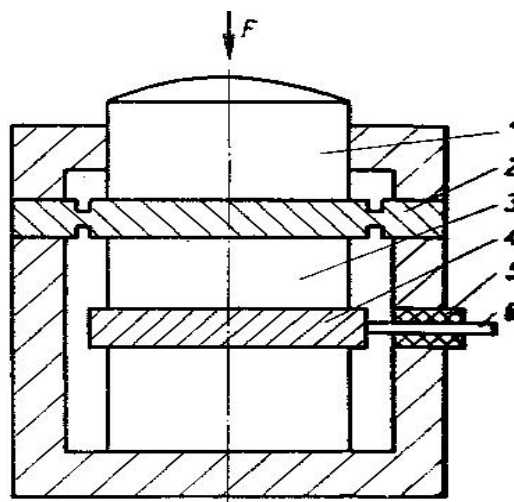
Snímač aktivní (generátorový): je to snímač, jehož výstupní veličina je elektrický proud, napětí, nebo veličina, již lze po případném zesílení měřit. Zde můžeme přidělit:

Dynamometry piezoelektrické (Obr. 26) – jsou založeny na zatěžování krystalů určitých látek, přičemž vznikají statické elektrické náboje přímo úměrné vnějšímu zatížení. Používají se při měření sil při obrábění s úběrem třísek menšího průřezu, např. u broušení

Dynamometry mechanické – zde se používá pružného článku a snímače úchylkoměr, pružné membrány, cejchované pružiny nebo pákové ústrojí.

Dynamometry hydraulické - se využívá se nestlačitelnosti kapalin.

Dynamometry pneumatické - používá k měření sil siloměrných tělísek



Obr. 26. Piezoelektrický snímač sil [16]

1 – přenosový prvek, 2 – membrána,

3 – piezoelektrický prvek, 4 – elektroda,

5 – izolace, 6 – přívod

Snímač pasivní (parametrický): je to snímač, který mění měřenou veličinu na jinou elektrickou veličinu, která je potom parametrem elektrického obvodu. Zde patří: [19]

Dynamometr odporový

- a) Snímače s kontaktním odporem
- b) Snímače drátkové

Dynamometr indukčnostní

- a) Snímač s malou vzduchovou mezerou
- b) Snímač transformátorový [16]

Dynamometr pro určení kroučícího momentu při vrtání

Síly točivého momentu dynamometru na měření točivého momentu působící kolem osy senzoru. Kompaktní dynamometr (Obr. 27) má vysokou tuhost, a proto vysokou přirozenou frekvenci, což umožňuje měřit i malé dynamické změny. Dynamometr se skládá ze snímače točivého momentu, který je namontován s vysokým předpětím mezi základní deskou a horní deskou. Snímač obsahuje sadu citlivých krystalů křemene na disku. Uspořádání disků je realizováno tak, aby vynesl elektrický náboj, který je úměrný momentu M_z působící kolem osy dynamometru. Impuls je veden přes elektrody do konektoru TNC. [19]



Obr. 27. Dynamometr pro určení kroučícího momentu [19]

4.3.2 Nepřímé měření sil

Oproti přímému měření sil na dynamometrech je tohle měření méně přesnější, ale pro běžná měření v praxi nám to obvykle vystačuje. Střední hodnoty řezné síly určujeme změřením výkonu motoru stroje nebo kroučícího momentu na vřetenu. Z těchto hodnot vypočítáme tangenciální složku F_z . Zde patří:

- Měření výkonu zatížení obráběcího stroje wattmetrem

- Určování řezné síly pomocí brzdy s dynamometrem.[16]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

V Praktické části se vrtalo (různou rychlostí vřetene a rychlostí posuvu) do materiálu vrtáky, vyrobené různou technologií a různým typem ostření. Porovnává se jakost vrtané díry.

Dále se hodnotilo, kolik děr jsme schopni vyrobít těmito nástroji, než dojde k stanovenému ztupení (dané normou) a následně úplnému znehodnocení vrtáku bez chlazení a opětovného naostření.

Cílem této práce je zjistit, jaké vrtáky je výhodné používat.

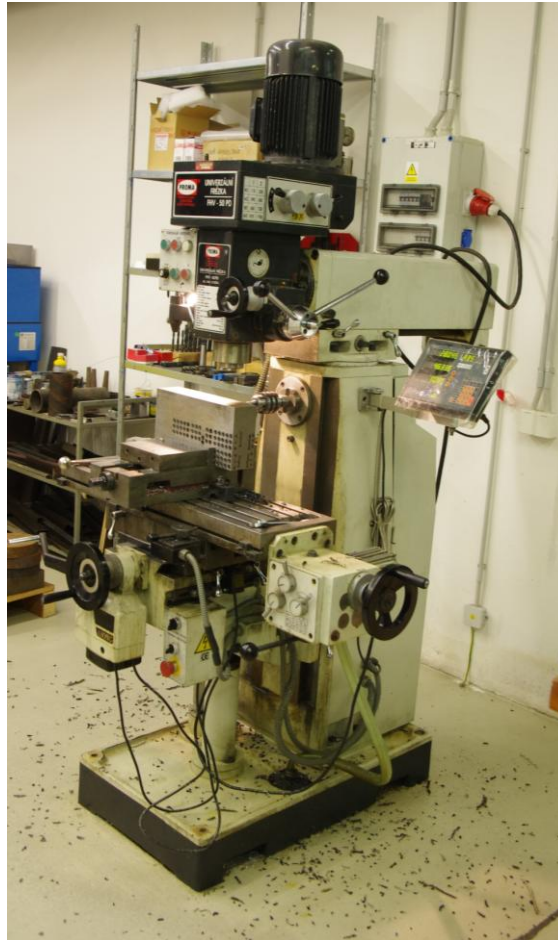
6 CHARAKTERISTIKA STROJŮ, NÁSTROJŮ, OBROBKU A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ

6.1 Frézka

Abychom dosáhli různých rychlostí vřetena a rychlostí posuvu, museli jsme použít frézku PROMA FHV – 50PD (obr. 28). Na ní jsme mohli nastavit otáčky vřetene a plynule regulovat posuv. Základní parametry (tab. 6):

Tab. 6. Technické parametry universální frézky PROMA FHV – 50PD.

Rok výroby	2004
Otáčky horizontálního vřetene	60 – 1350 ot/min
Počet stupňů	9
Kužel horizontálního vřetena	Mk IV
Napětí	3/N PE AC/400V 50Hz
Příkon motoru horizont. vřetene	1,5kW
Otáčky motoru	1430 otúmin
Krytí motoru	IP 54
Rozměry frézky	1280 x 1100 x 1920 mm
Hmotnost	700 Kg
Pracovní prostor	
Výška [mm]	
Hloubka [mm]	
Šířka [mm]	



Obr. 28. Frézka PROMA FHV – 50PD

6.2 Nástroje

Pro vyhodnocování drsnosti děr a opotřebování nástrojů byly použity tyto šroubovitě vrtáky (obr. 29):

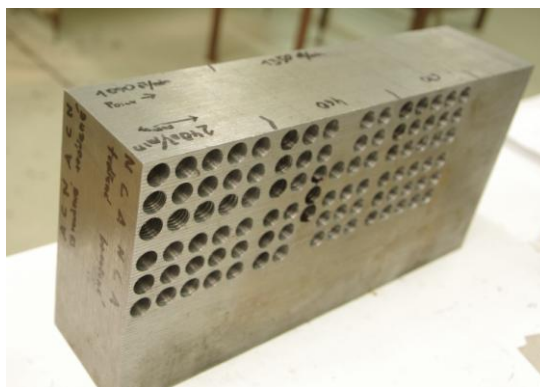
- Šroubovitý vrták $\varnothing 1\text{ mm}$ tvářený pasivovaný
 - form N
 - form C
 - form A
- Šroubovitý vrták $\varnothing 1\text{ mm}$ vybrušovaný
 - form N
 - form C
 - form A



Obr. 29 Šroubovité vrtáky $\varnothing 11\text{mm}$

6.3 Obrobek

Materiál obrobku byl ČSN 12060 zušlechťený na 700N/mm^2 (obr. 30).



Obr. 30 Materiál zkušebního vzorku

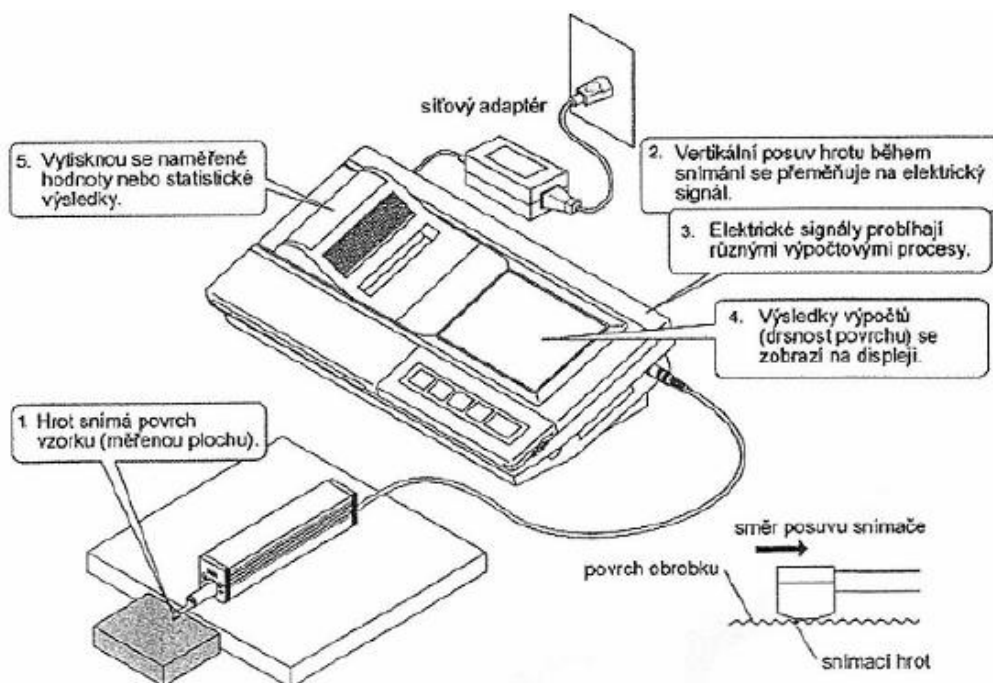
6.4 Měřicí přístroje

6.4.1 Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ-301

Přenosný a robustní měřicí přístroj je určený k měření drsnosti povrchu pro použití

v dílenském prostředí. Svým snímacím hrotem dokáže měřit strukturu povrchu a charakterizovat ji za pomoci různých parametrů podle několika národních a mezinárodních norem (měření bylo charakterizováno za pomoci normy ČSN EN ISO 4287). Přístroj odpovídá mezinárodním standardům DIN, ISO, ANSI a JIS.

Přístroj má posuv (rozsah osy X) 12,5 mm, zdvih (rozsah osy Z) 350 μm a lze na něm získat až 37 parametrů. Poloha snímacího hrotu vůči obrobku musí být zajištěna tak, aby posuv při měření byl rovnoběžný s povrchem obrobku. Výsledky měření se zobrazí digitálně a graficky na dotek citlivé ovládací obrazovce a pomocí vestavěné tiskárny se mohou průběhy drsnosti i s jeho hodnotami vytisknout (obr. 31). [25]



Obr. 31 Přístroj k měření drsnosti Mitutoyo SJ-301 [25]

Pro ukázkou je zde vyobrazena reálná podoba drsnoměru (obr. 32).



Obr. 32 Reálná podoba přístroje k měření drsnosti Mitutoyo SJ-301

6.4.2 Mikroskop

Pomocí dílenského mikroskopu Carl-Zeis MWD (obr. 33) jsme schopni zjistit opotřebení hlavních břitů vrtáků, které nastalo po vyvrtání děr do obrobku. Součástí mikroskopu je i digitální kamera pro mikroskopickou techniku Dino-eye včetně softwaru, se kterým můžeme snadno a přesně naměřit potřebné hodnoty. Zvětšené údaje jsem viděl na obrazovce a pomocí osového kříže, který se mi zobrazí, a posuvu stolu můžu přesně určit, jaké opotřebení nastane po daném počtu děr.

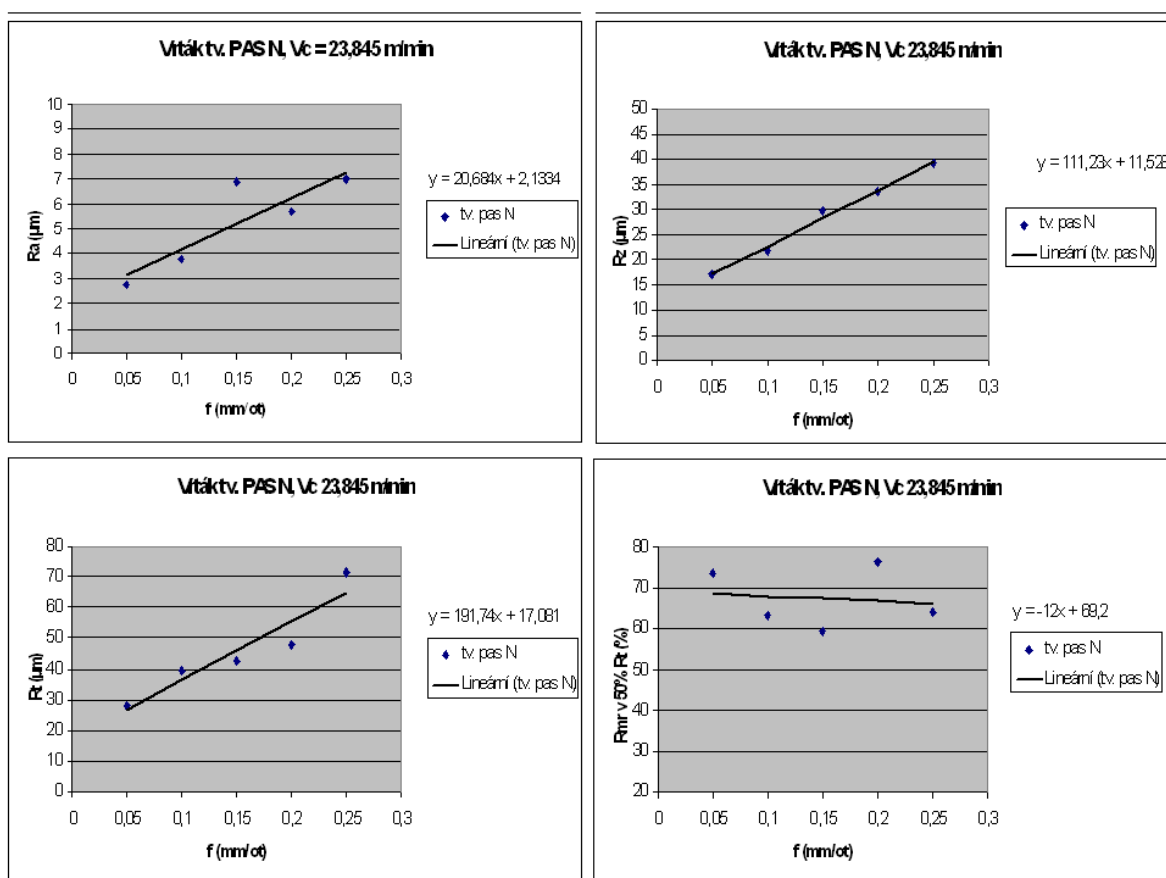


Obr. 33 Reálná podoba mikroskopu Carl-Zeiss MWD

7 MĚŘENÍ DRSNOSTI DĚR

Toto měření bude pojednávat o tom, jaké řezné rychlosti, rychlosti posuvu a jaké vrtáky budou z hlediska drsnosti a materiálového podílu vrtané díry nejvýhodnější použít. Díry byly vrtány na frézce vždy po 5 dírách do hloubky $3 \times \text{ØD}$ a vyhodnocení v grafu je vždy aritmetický průměr. Měření se provádělo přístrojem Mitutoyo SJ – 301.

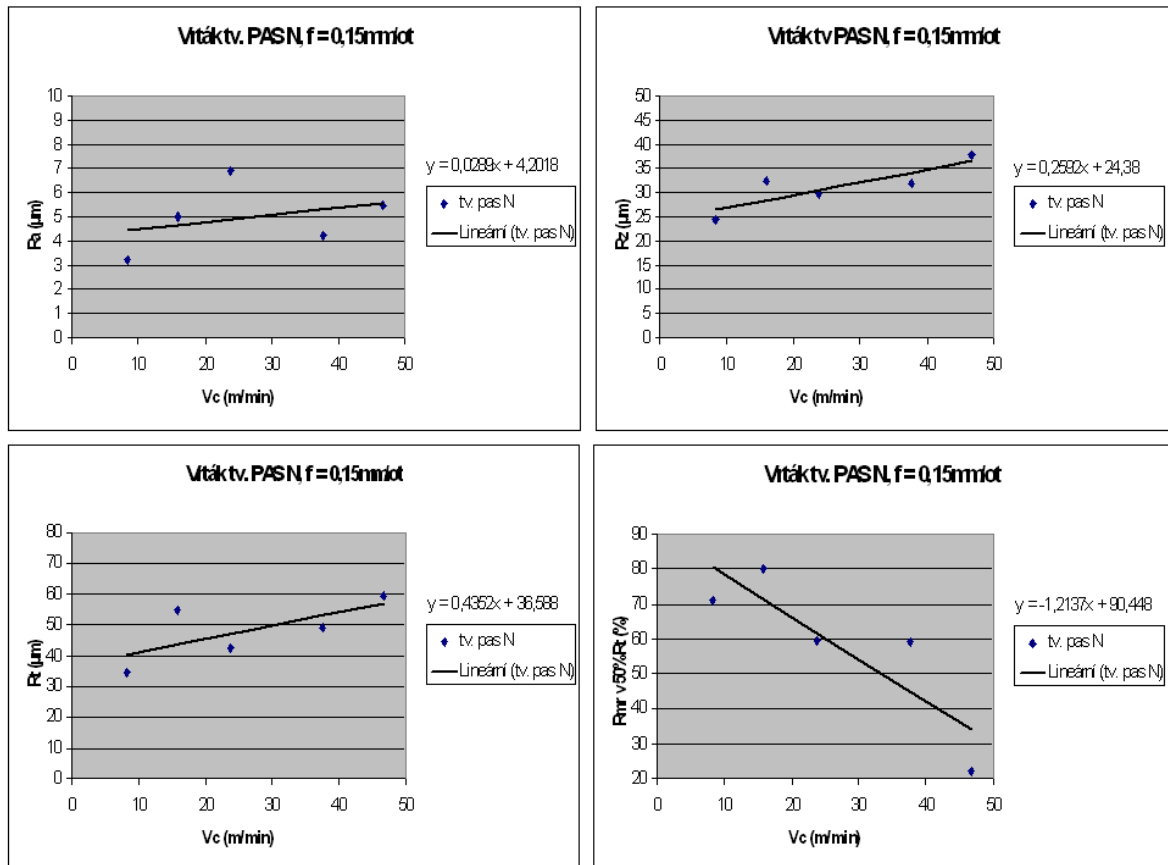
Na obr. 34 je příklad vyhodnocení drsnosti a materiálového podílu děr vrtákem tvářeným pasivovaným $\text{Ø}11\text{mm}$ v závislosti na posuvu. Řezná rychlost je zde $23,845\text{m/min}$. Tato rychlost je nejblíže doporučené řezné rychlosti.



Obr. 34 Vyhodnocení drsnosti děr a mat. podílu v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845\text{ m/min}$.

Můžeme si všimnout, že drsnost díry se zhoršuje a materiálový podíl je tím pádem menší s rostoucí rychlostí posuvu. Podobně je to u ostatních vrtáků a řezných rychlostech. V příloze I. můžeme vidět všechny grafy vyhodnocované drsnosti a materiálového podílu v závislosti na posuvu. Budou však pro velký počet grafů vloženy pouze na CD.

Na obr. 35 je příklad vyhodnocení drsností a materiálového podílu děr vrtákem tvářeným pasivovaným Ø11mm v závislosti na řezné rychlosti. Posuv je zde 0,15 mm/ot. Tato rychlost posuvu je nejbližší k doporučenému posuvu.

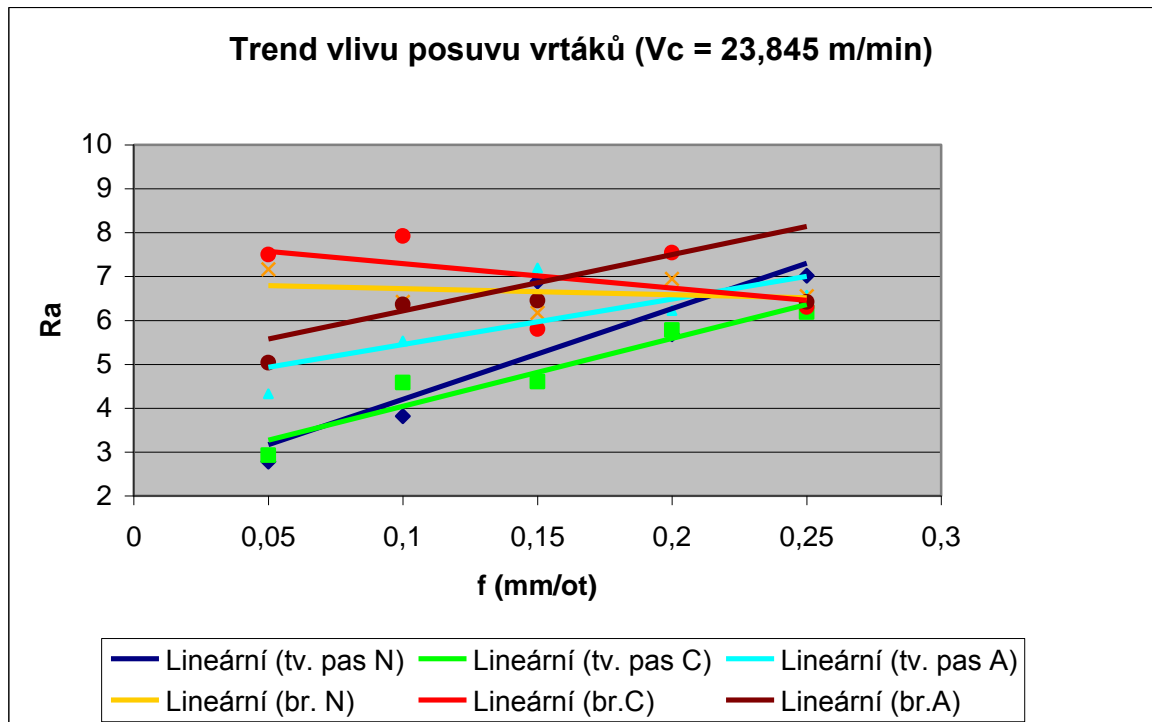


Obr. 35 Vyhodnocení drsnosti děr a mat. podílu v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15$ mm/ot

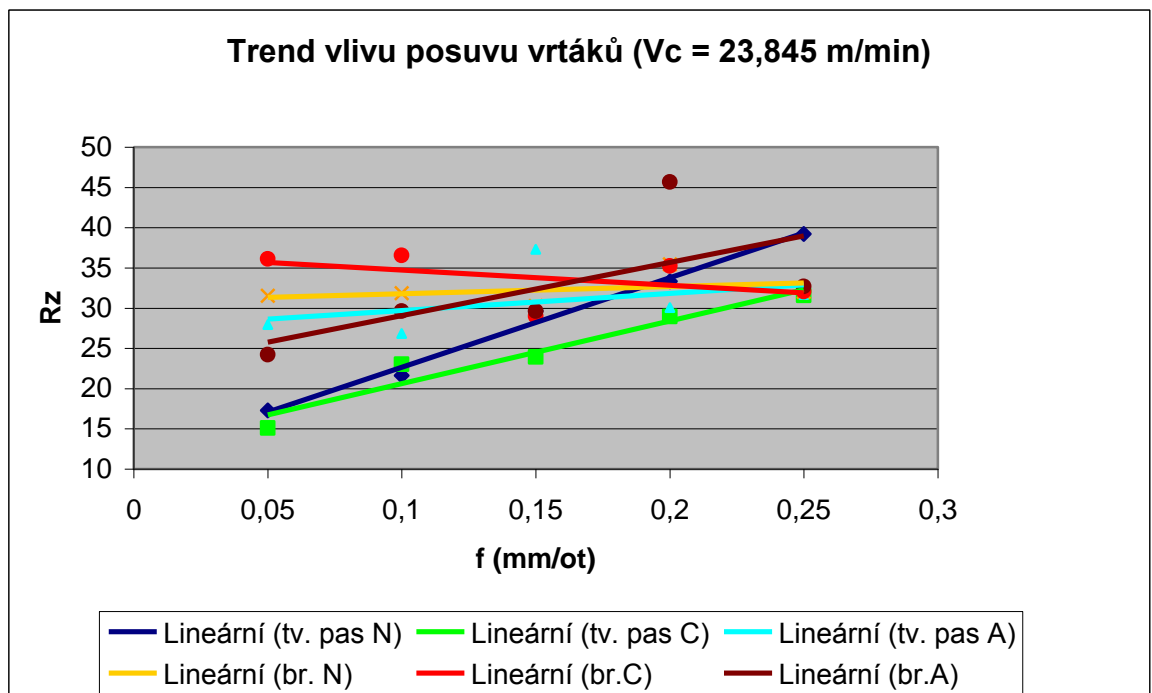
Zde lze vidět, že s rostoucí řeznou rychlostí drsnost díry se lehce zhoršuje. Však není tomu tak u ostatních grafů, kde s rostoucí řeznou rychlostí zůstává drsnost téměř neměnná. Materiálový podíl klesá s rostoucí řeznou rychlostí. Zbylé grafy můžeme opět nalézt v příloze I na CD

Abychom zjistili, jaký typ vrtáku (tvářený pasivovaný nebo broušený bez pasivace) a metoda ostření je z hlediska jakosti děr lepší, byly vypracovány grafy jednotlivých trendů. Na obr. 36 – 39 je příklad trendů vyhodnocení drsností a materiálového podílu děr v závislosti

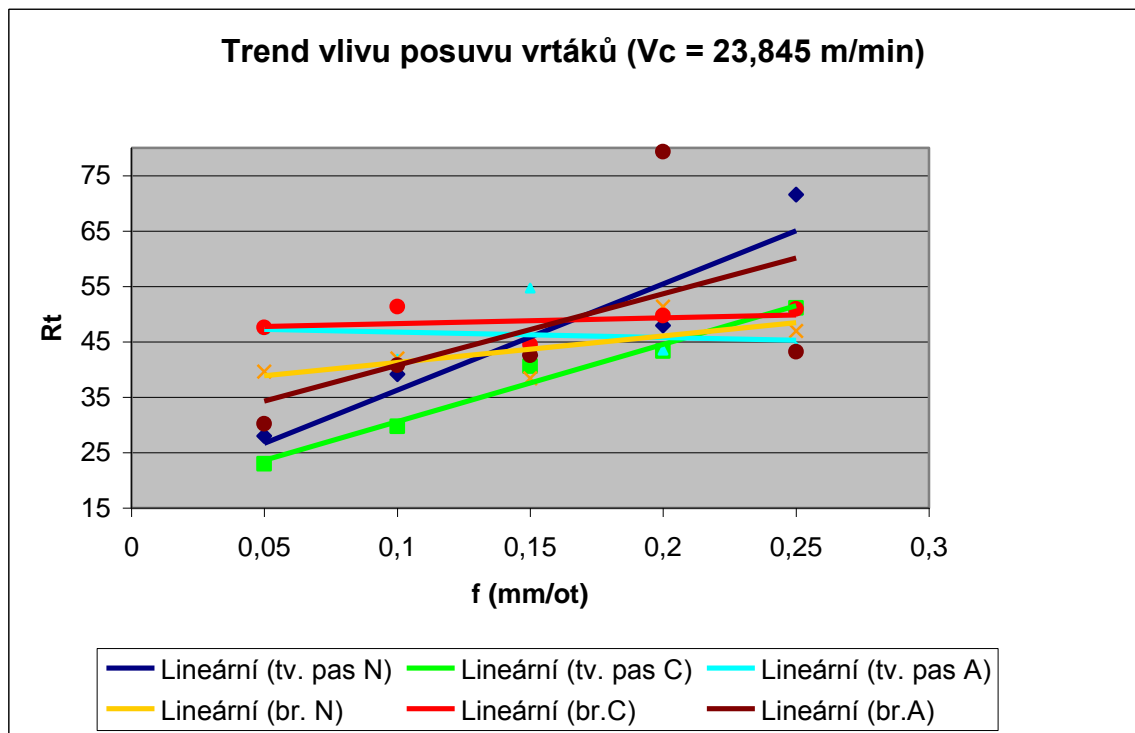
na posuvu. Řezná rychlost je zde 23,845m/min. Tato rychlost je nejbližše doporučené řezné rychlosti.



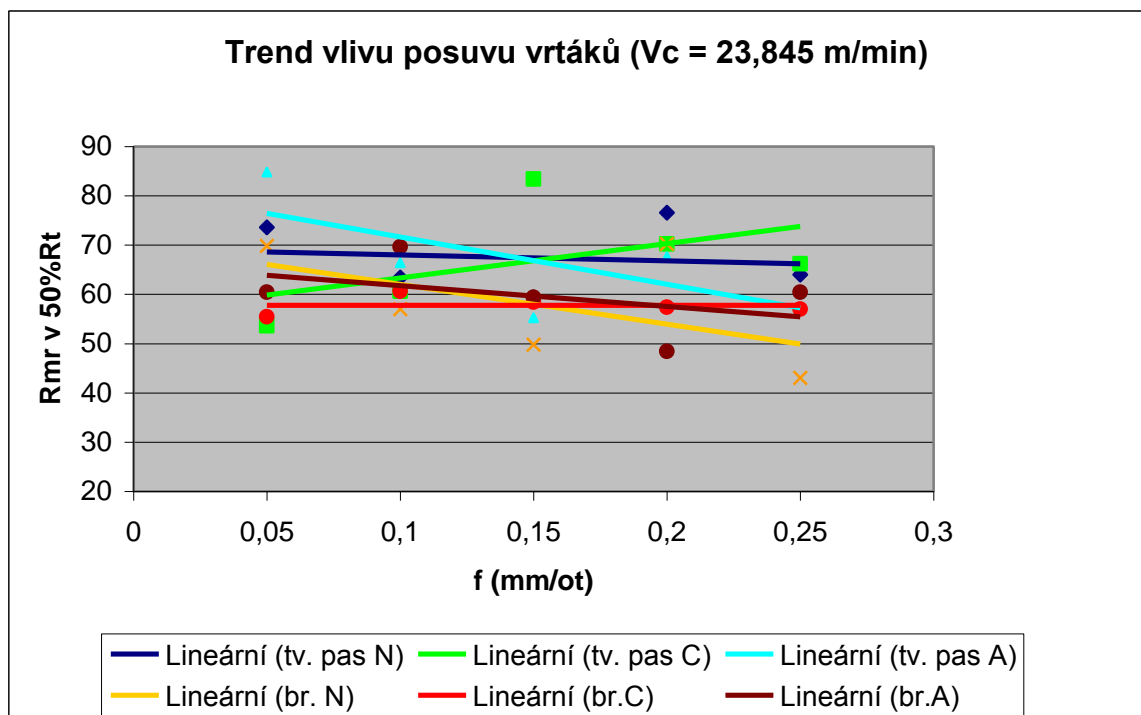
Obr. 36 Trend vyhodnocení drsnosti Ra v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845$ m/min.



Obr. 37 Trend vyhodnocení drsnosti Rz v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845$ m/min.



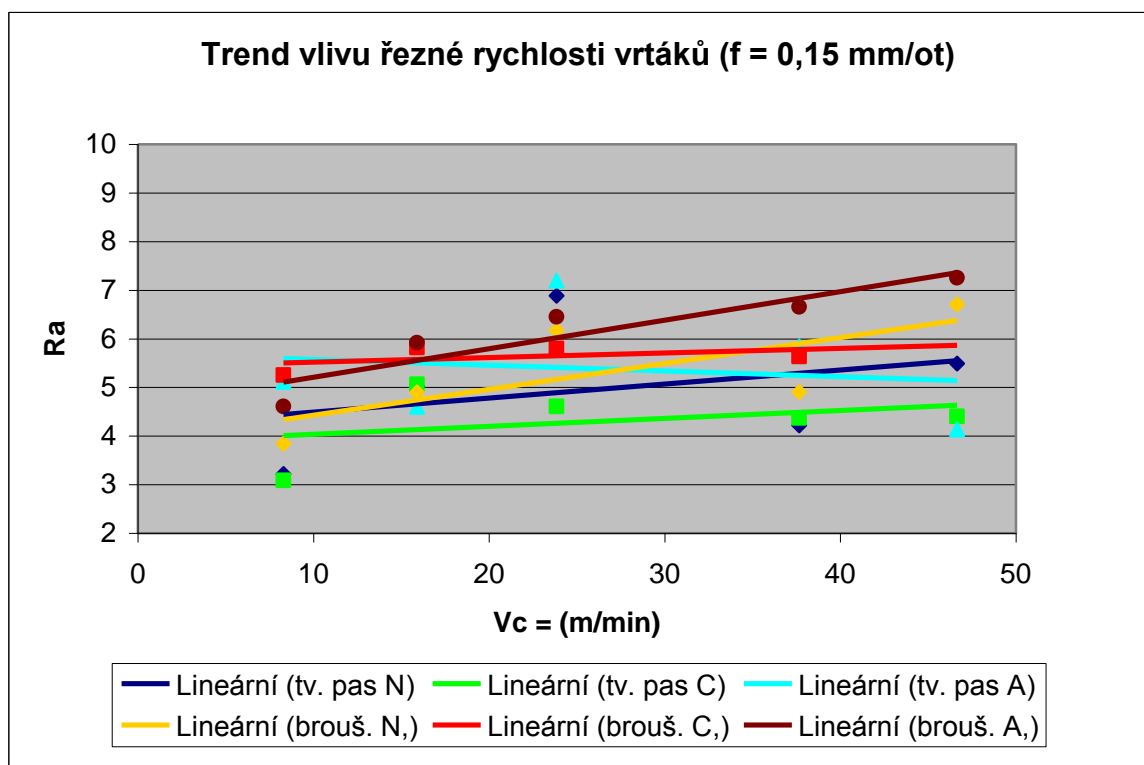
Obr. 38 Trend vyhodnocení drsnosti R_t v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845$ m/min.



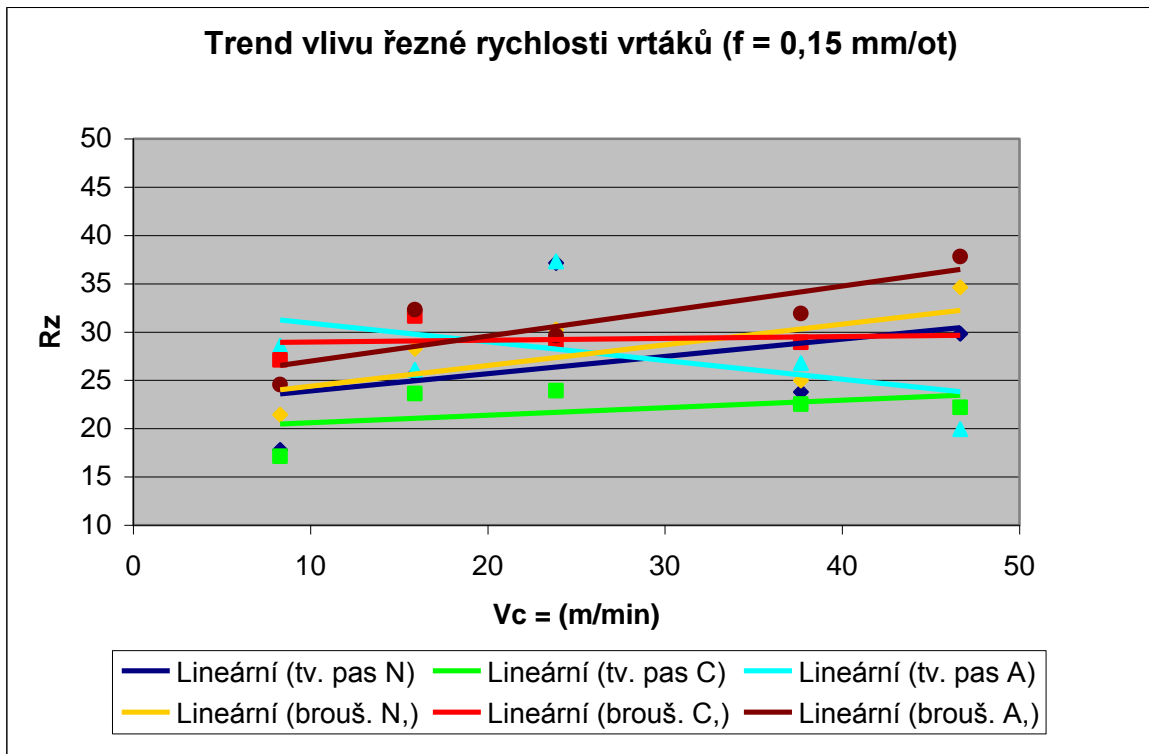
Obr. 39 Trend vyhodnocení materiálového podílu R_{mr} v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845$ m/min.

Z grafů lze jednoznačně usoudit, že vrtáky tvářené pasivované mají kvalitu povrchu díry lepší. Z hlediska metod ostření je drsnost díry nejlepší vrtákem tvářeným pasivovaným form C. Platí to takřka u všech takových grafů s měnící se rychlostí vřetene, které lze najít v příloze I na CD.

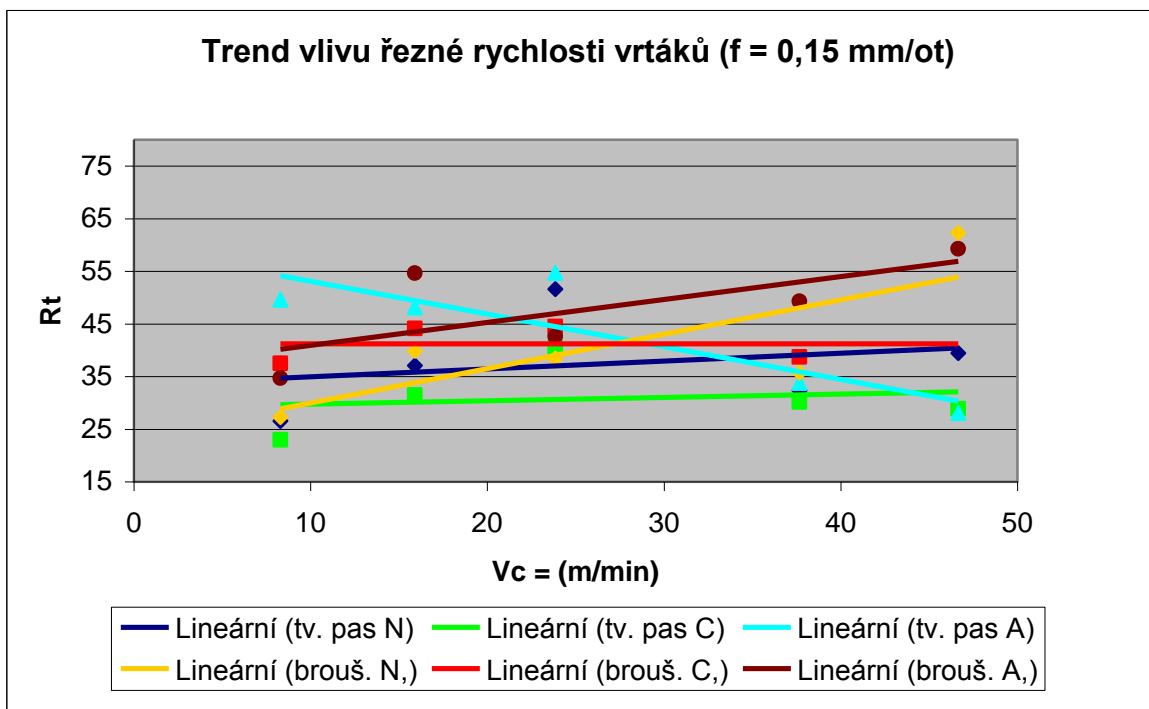
Na obr. 40 - 43 je příklad trendů vyhodnocení drsností a materiálového podílu děr vrtákem Ø11mm v závislosti na řezné rychlosti. Posuv je zde 0,15 mm/ot. Tento posuv je nejbližší k doporučenému posuvu.



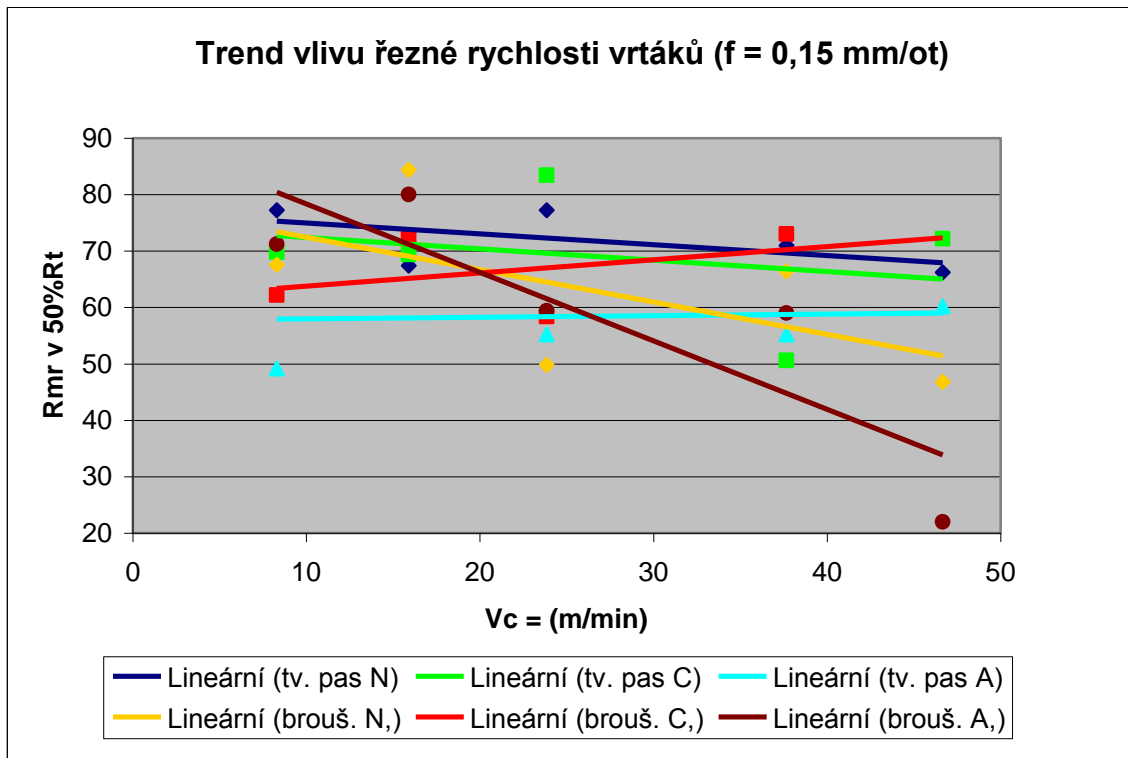
Obr. 40 Trend vyhodnocení drsnosti R_a v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15$ mm/ot



Obr. 41 Trend vyhodnocení drsnosti Rz v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$



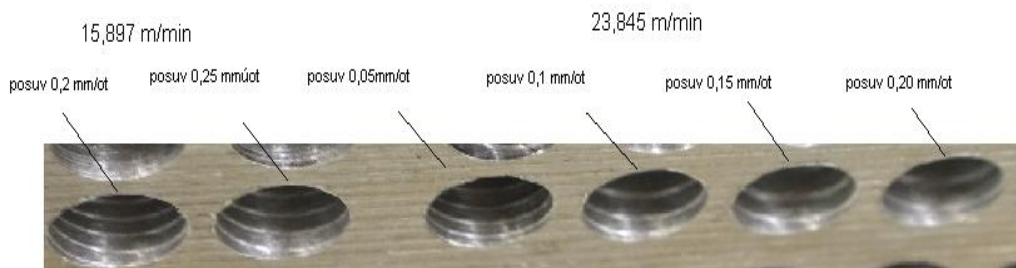
Obr. 42 Trend vyhodnocení drsnosti Rt v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$



Obr. 43 Trend vyhodnocení materiálového podílu Rmr v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$

Z grafů jakosti a materiálového podílu v závislosti na řezné rychlosti V_c je tvrzení velmi podobné jako u předchozích grafů.

Zajímavým jevem při vrtání do materiálu vrtákem form.A je, že v díře zanechává pravidelnou stopu po břitu nástroje, jako by byla rychlost posuvu cca. 20x větší (obr. 44).



Obr. 44 Ukázka vrtaných děr šroubovitým vrtákem form. A

Je to způsobeno zřejmě tím, že tvar hrotu form A je broušen ručně za pomoci stojanové brusky. Tím pádem nemůžeme dosáhnout toho, aby špička vrtáku byla přesně ve středu průměru vrtáku, jako je to například u vrtáku form C, který je propíchnutý strojně.

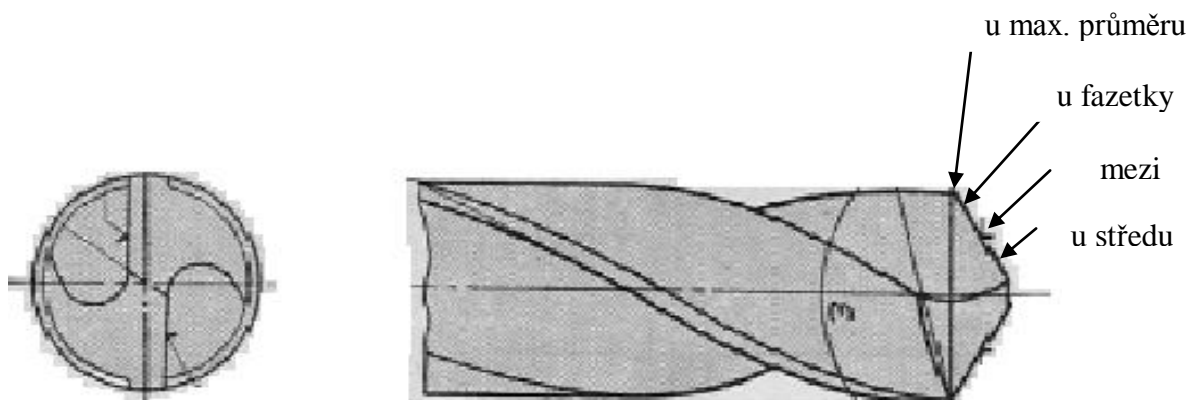
Tento fakt nám bohužel zkresluje i jakost měřené díry.

8 MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ VRTÁKU

Je také důležité vědět, po jakou dobu nám vydrží nástroj vrtat, respektive kolik děr dokáže vyrobit, než ho znova nabrousíme. Je stanoveno dovolené otupení, po kterém musíme vrták přebrousit. Toto otupení konkrétně pro $\varnothing 11\text{mm}$ je $0,36\text{mm}$ na největším průměru nástroje. Kromě tohoto dovoleného otupení se zde zkoušelo, kolik děr dokáže šroubovitý vrták vyrobit, než dojde k jeho úplnému otupení od vnější špičky po celé šířce fazetky nebo po dobu, kdy se vrták bude protáčet ve sklíčidle. Opět se vrták nechladí.

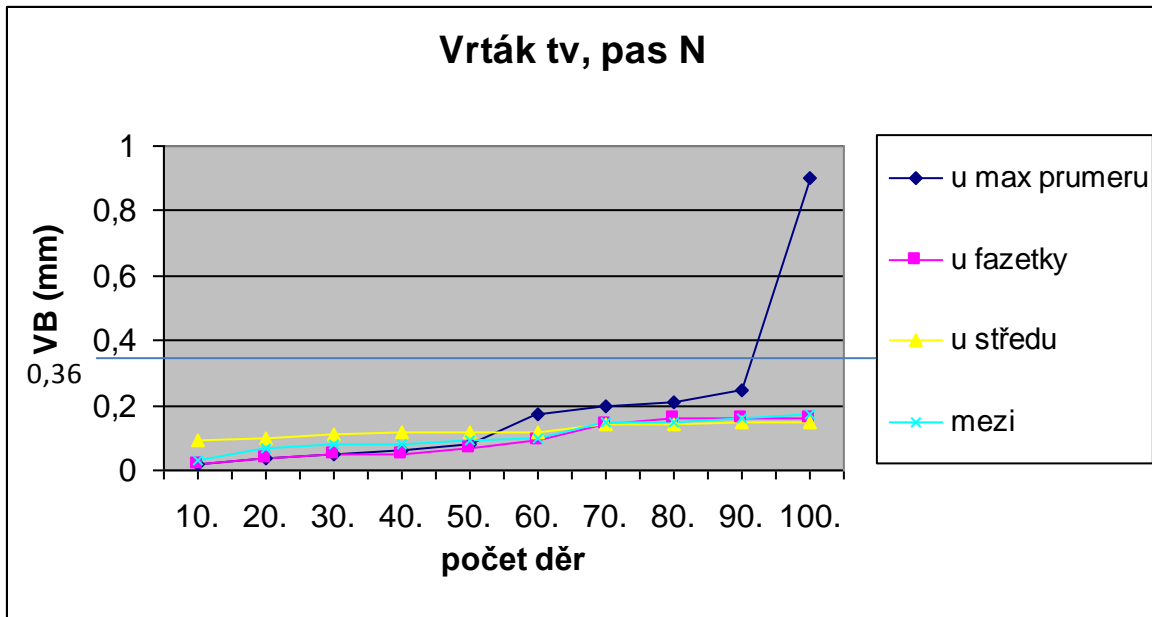
Pro měření bylo použito 6 různých vrtáků průměru $\varnothing 11\text{mm}$ vrtaných do hloubky $3D$. Strojem k vrtání byla použita univerzální frézka. Měřicí přístroj byl mikroskop, který dokázal zvětšit řeznou hranu až $15\times$ a vyfotit ji.

Měření bylo prováděno po 10 vrtaných dírách na čtyřech místech hlavního břitu (obr. 45) a výsledky se zaznamenávaly do grafu.

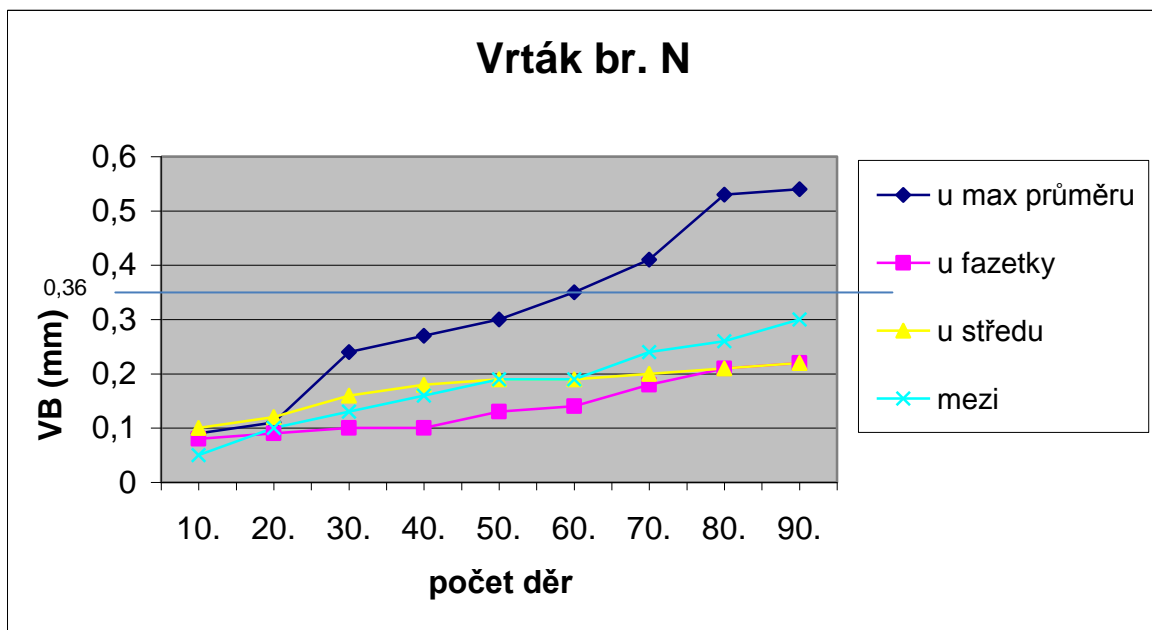


Obr. 45 Místa měření opotřebení

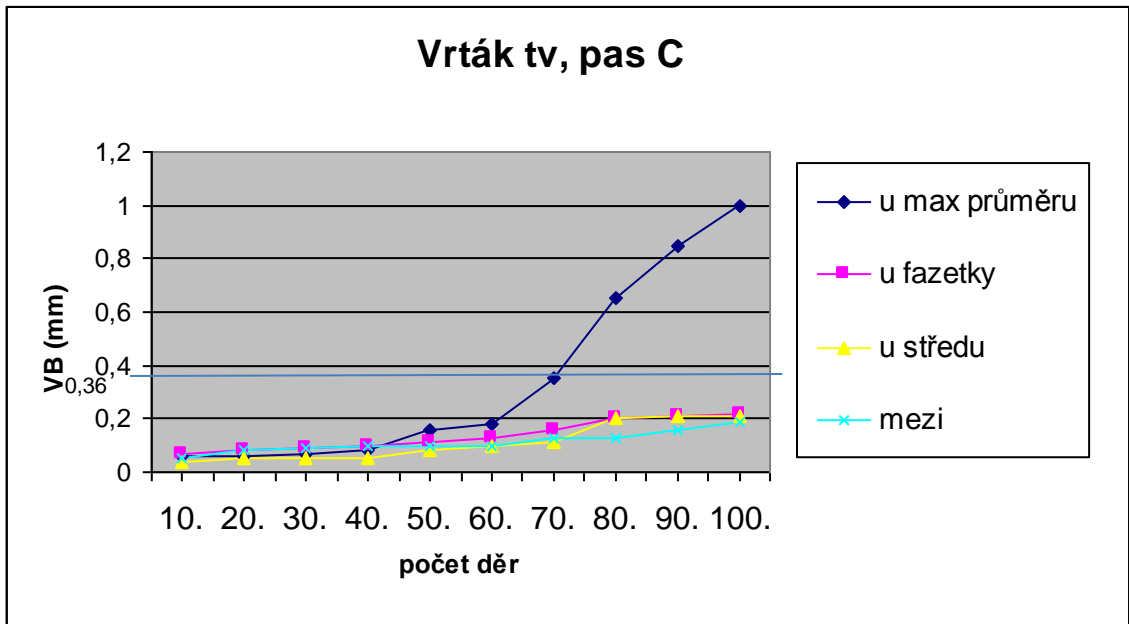
Na obrázcích 46 - 51 můžete vidět spojnicové grafy pro šroubovité vrtáky $\varnothing 11\text{mm}$ jak vzrůstalo opotřebení na všech 4 místech břitu.



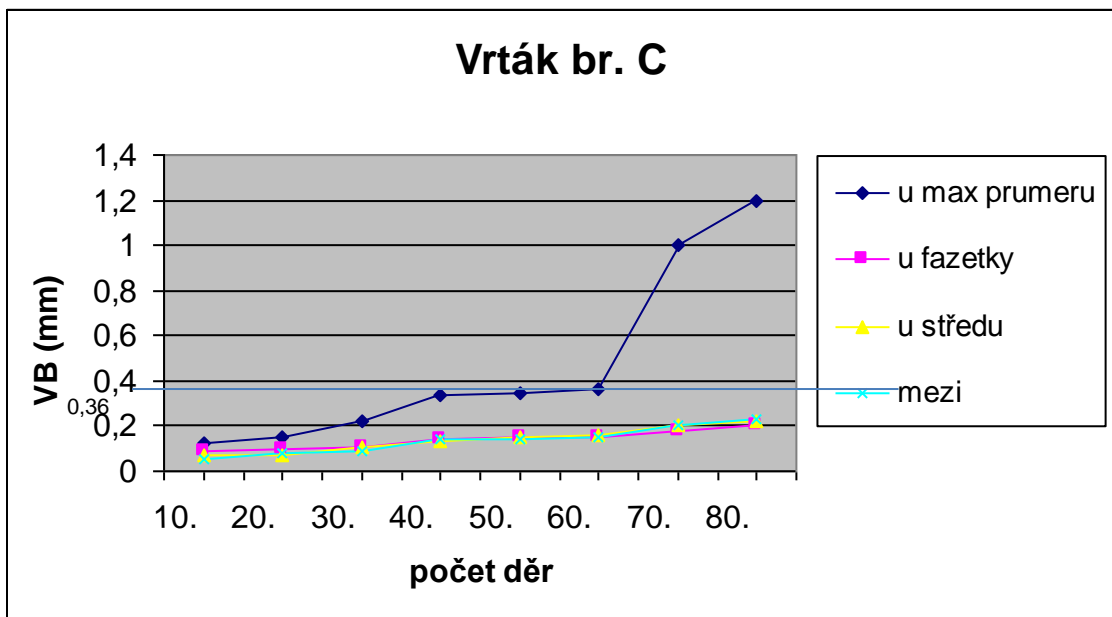
Obr. 46 Průběh opotřebení u tvářeného vrtáku form N



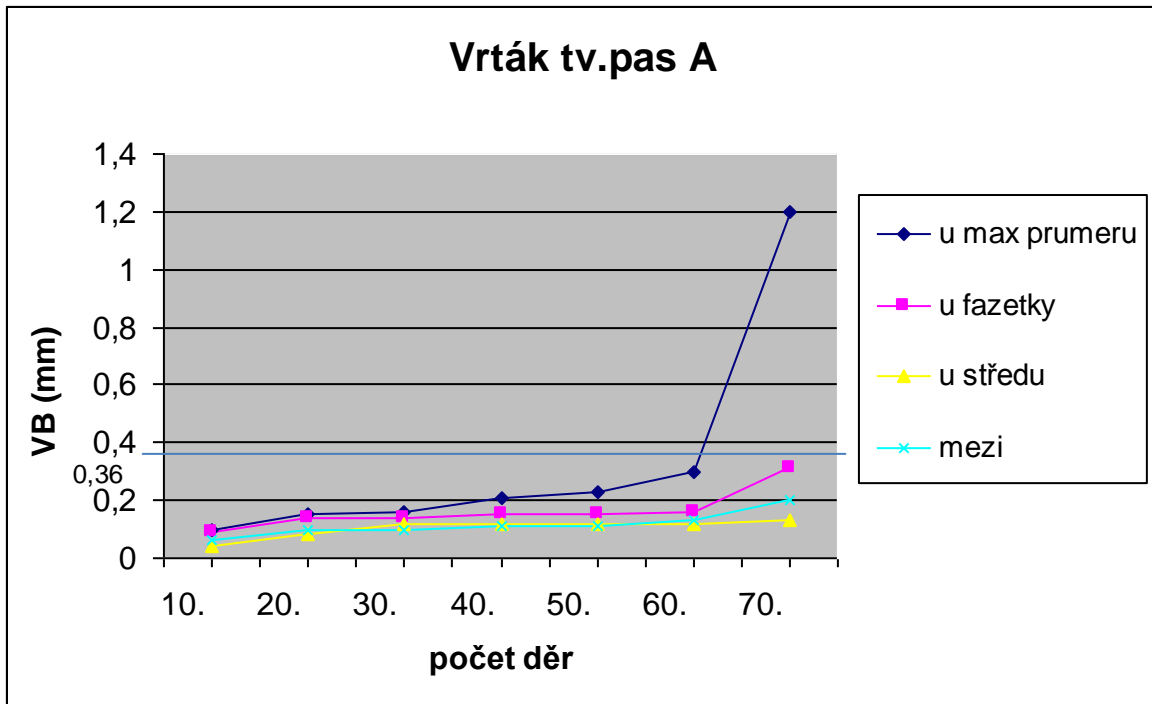
Obr. 47 Průběh opotřebení u broušeného vrtáku form N



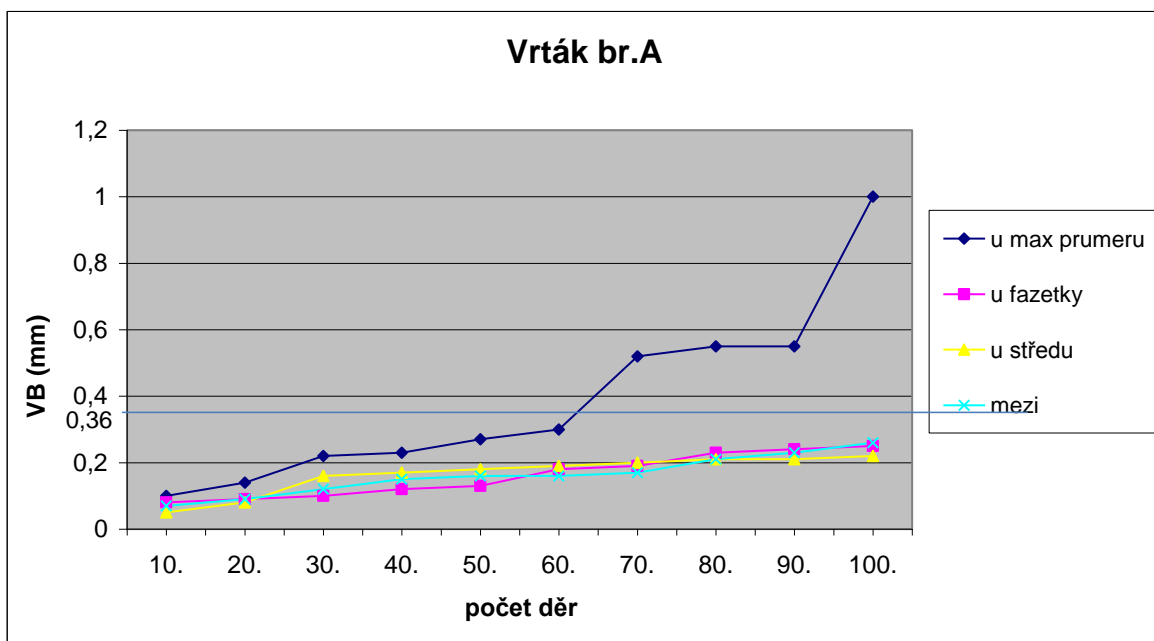
Obr. 48 Průběh opotřebení u tvářeného vrtáku form C



Obr. 49 Průběh opotřebení u broušeného vrtáku form C



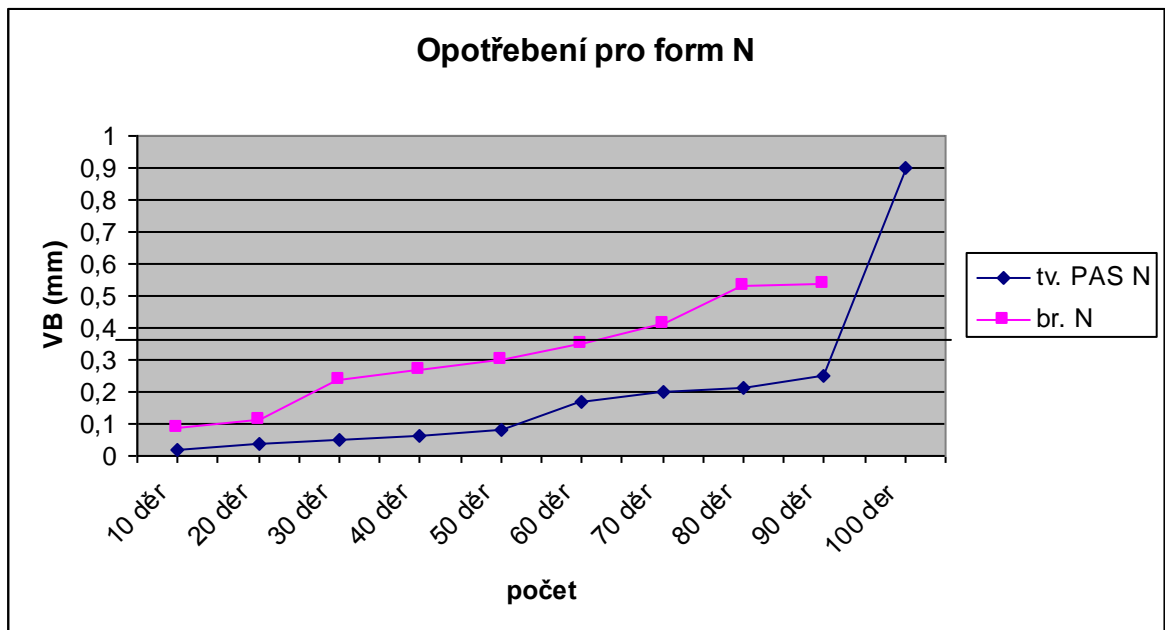
Obr. 50 Průběh opotřebení u tvářeného vrtáku form A



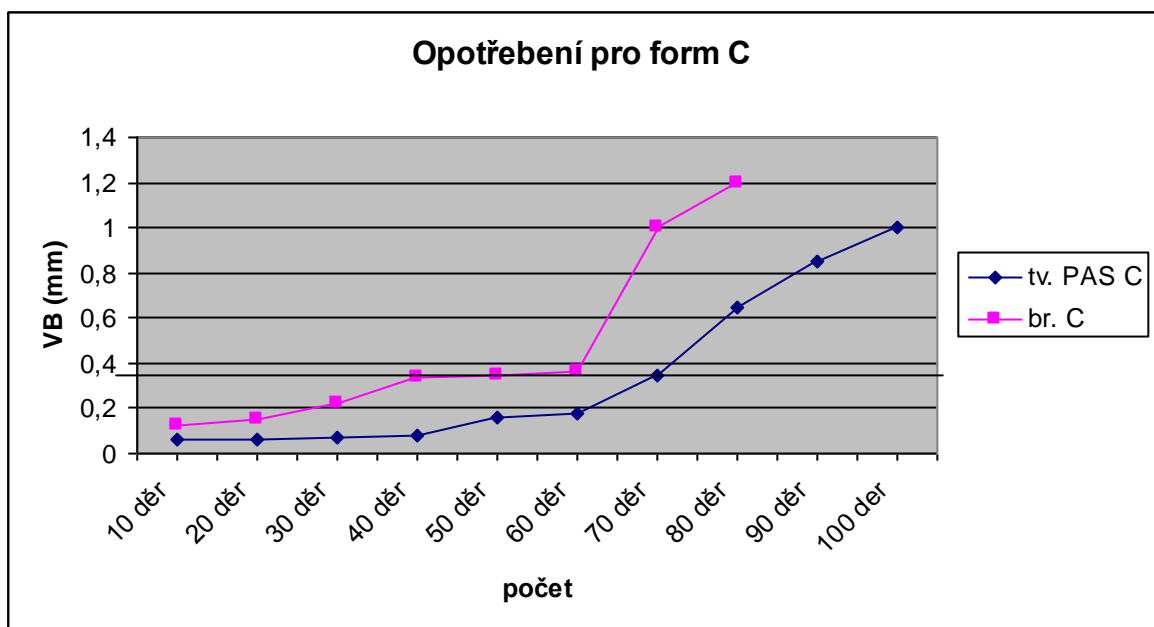
Obr. 51 Průběh opotřebení u broušeného vrtáku form A

V těchto grafech je zřejmé, že největší opotřebení je skutečně na největším průměru a po určitém počtu děr jde hodnota opotřebení prudce nahoru.

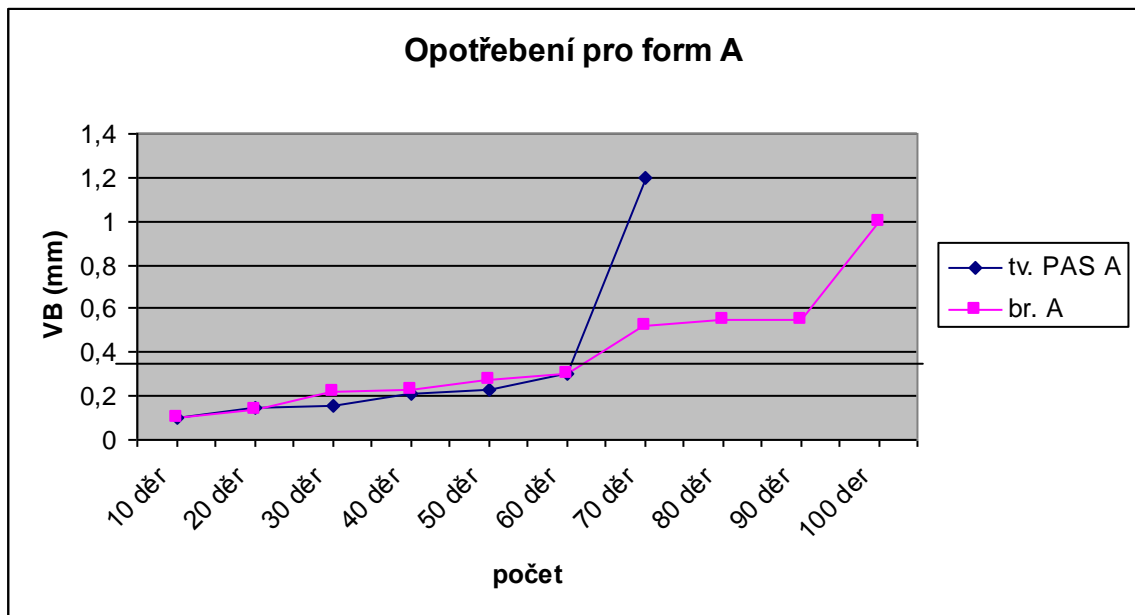
Dle grafů na obr. 52 - 54 můžeme určit, která technologie výroby vrtáku je z hlediska opotřebení výhodnější.



Obr. 52 Průběh opotřebení u max. průměru vrtáků form N



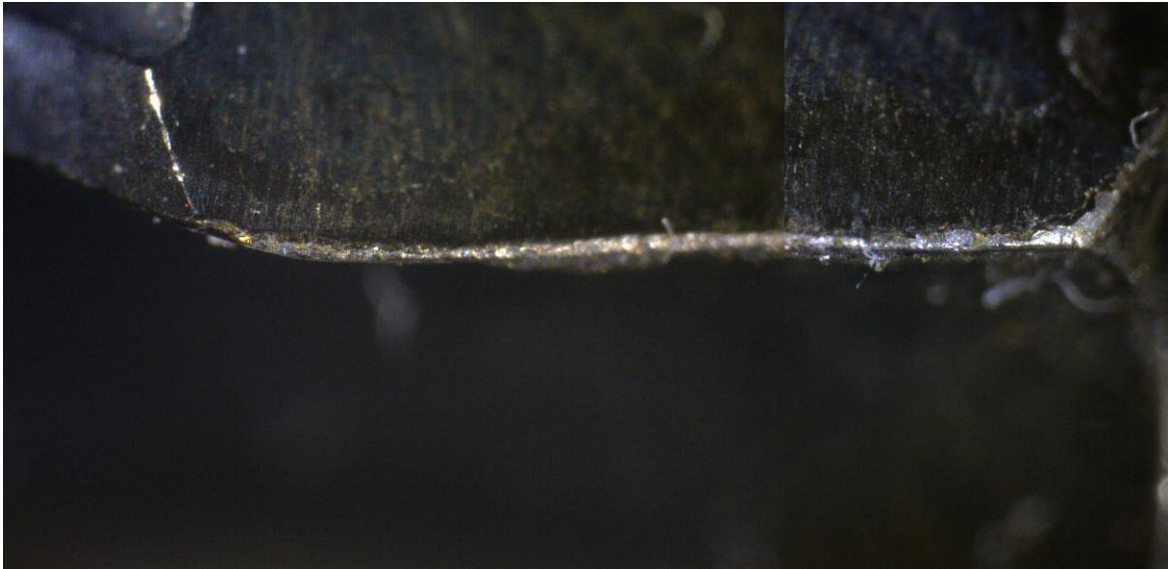
Obr. 53 Průběh opotřebení u max. průměru vrtáků form C



Obr. 54 Průběh opotřebení u max. průměru vrtáků form A

Můžeme říci, že dříve se opotřebují vrtáky broušené bez povrchové úpravy. Nejdéle vydržel ostrý (do povolené hranice otupení) vrták tvářený pasivovaný bez úpravy hrotu. Dá se říci že až o třetinu více než ostatní zkoušené vrtáky. Naopak vrták tvářený pasivovaný form A se zadřel už při 67 díře, kde byla silně poškozena i fazetka. Může to být způsobeno tím, že vrták s tvarem hrotu form A nebyl chlazen a proto nevydrží takovou tepelnou zátěž.

Na obr. 55 je zobrazeno, jak břit vrtáku tvářeného pasivovaného form N vypadá po 70 dířích. Zbytek fotek opotřebení z mikroskopu naleznete v příloze II , která bude vzhledem k velkému počtu fotek k nalezení na CD.



Obr. 55. Opotřebení u tvářeného vrtáku form N po 70 dířách

9 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VRTÁKŮ

Vycházíme s prodejní ceny vrtáků a ceny doplňkových operací, které jsou:

- Tvářený vrták pasivovaný $\varnothing 11\text{mm}$ form N 62,00 Kč
- Vybrušovaný vrták bez pasivace $\varnothing 11\text{mm}$ form N 107,90 Kč
- Navýšení ceny při ostření form A 5,80 Kč
- Navýšení ceny při ostření form C 5,80 Kč
- Navýšení ceny při pasivaci 0,20 Kč

Mezi vrtáky vybrušovanými bez pasivace z hlediska opotřebení se vyplatí volit tvar hrotu form N. Vydržel totiž vrtat stejný počet děr po povolenou hranici otupení jak ostatní vybrušované a nevyžaduje další operace, které by navyšovaly cenu.

Mezi vrtáky tvářenými pasivovanými z hlediska opotřebení se vyplatí volit tvar hrotu form N. Vydržel vrtat takřka o třetinu děr více bez následného přeastření než ostatní zkoušené vrtáky.

Vzhledem k faktům, vyplývající z předchozích grafů jakosti děr, k vyšší ceně vrtáků vybrušovaných bez pasivace se jednoznačně oplatí volit tvářené pasivované. Pokud bychom potřebovali nejlepší jakost díry pouze vrtákem, použily bychom vrták tvářený pasivovaný form C. Navýšení ceny už není tak veliké.

ZÁVĚR

Po vyvrtání a následném vyhodnocení bylo zjištěno:

- Z hlediska jakosti děr
 - Jakost díry vyjádřená průměrnou aritmetickou drsností se zhoršuje a materiálový podíl je tím pádem menší s rostoucí rychlostí posuvu. Podobně je to i s rostoucí řeznou rychlostí (průměrná aritmetická drsnost se mírně zhoršuje s rostoucí řeznou rychlostí).
 - Vrtáky tvářené pasivované mají kvalitu povrchu díry lepší než vrtáky broušené bez povrchové úpravy. Z hlediska metod ostření je jakost jednoznačně nejlepší vrtákem tvářeným pasivovaným form C a nejhůře dopadl vrták vybrušovaný bez povrchové úpravy form A.
 - Vrták form A vytváří v díře stopu po nástroji. Je to nežádoucí jev, a k jeho odstranění by mohlo pomoci podbrousit vrták form A strojně
- Z hlediska opotřebení vrtáku
 - Nejvíce se vrták opotřebuje na největším průměru. Opotřebení zde po určitém počtu děr prudce stoupá.
 - Vrtáky broušené bez povrchové úpravy vydrží vrtat 60 děr. Po té se musí přebrousit.
 - Vrták tvářený pasivovaný form A vydržel vrtat 60 děr po povolenou hranici otupení. Po té se zadřel na fazetce a znehodnotil se. Mohlo to být zapříčiněno vrtáním bez chlazení.
 - Vrták tvářený pasivovaný form C vydrží vrtat 70 děr po povolenou hranici otupení.
 - Nejlepší výsledky se dosáhly vrtákem tvářeným pasivovaným form N (bez úpravy hrotu) vydržel nejdéle vrtat. Až 90 děr bez přebroušení.

Vzhledem k vyhodnoceným datům jakosti, materiálového podílu, opotřebení a z ekonomického hlediska se vyplatí nakupovat vrtáky tvářené pasivované form N a form C. Avšak při měření rozměrové přesnosti to může být jinak. To však nebylo předmětem práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HLUCHÝ, Miroslav. KOLOUCH, Jan. Strojírenská technologie 1: 1díl. Nauka o materiálu. Praha : Scientia, 2002. 266 s. ISBN: 9788071832621
- [2] PTÁČEK, Luděk. a kol. Nauka o materiálu 2. Brno : CERM, 2002. 392 s. ISBN: 807204248
- [3] HLUCHÝ, Miroslav. HANĚK, Václav. Strojírenská technologie 2 : Koroze, základy obrábění, výrobní postupy. 2 Díl. Praha : Scientia, 2001. 176 s. ISBN: 8071832456
- [4] HUMÁR, Antonín. Materiály pro řezné nástroje. Praha : MM publishing, 2008. 235 s. ISBN: 9788025422502
- [5] [1] JURKO, Jozef. LUKOVICS, Imrich. Vrtanie : Technologická metóda výroby dier. UTB ve Zlíně, 2007. 191 s. ISBN: 9788073184889
- [6] LUKOVICS, Imrich.: Konstrukční materiály a technologie. VUT Brno. 1992. ISBN 80-214-0399-3. 274 s.
- [7] KOČMAN, K.: Technologie obrábění. CERM Brno. 2011. ISBN 978- 80-7204-722-2
- [8] NOVOTNÝ, Jiří. ŠANOVEC, Jan. BEDNÁŘ, Bohumír. KREJBICH Viktor.: Technologie I (Slévání, tváření, svařování, a povrchové úpravy). ČVUT Praha 2006. 227s. ISBN 80-01-02351-6.
- [9] KRAUS, Václav.: Povrchy a jejich úpravy. Západočeská univerzita v Plzni 2000. 218s. ISBN 80 – 7082 - 668 – 1.
- [10] SCHMIDT, Eduard a kolektiv.: Příručka řezných nástrojů. Praha; SNTL 1974. 580 s. ISBN nevedeno.
- [11] FRISCHHER, Adolf. SKOP, Paul. KNOUREK, Jiří.: Technologie zpracování kovů 1. SNLT Praha 1996. 268 s. ISBN 80 – 902110 – 0 – 3.
- [12] DILLINGR, Josef a kolektiv.: Moderní strojírenství pro školu i praxi. Europa – Sobotáles cz Praha 2007. 612 s. ISBN 978 – 80 – 86706 – 19 – 1.
- [13] STIM ZET. Katalog 2009. Vsetín: Narex consult, 2008. 132 s. ISBN nevedeno.

- [14] STIM ZET. Výroba nástrojů na otvory. [DVD]. Vsetín. ISBN neuvedeno.
- [15] KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav . Technologie obrábění. 2. vyd. Olomoučany : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2005. 270 s. 80-ISBN: 214-3068-0
- [16] LIEMERT, G. DRÁBEK, F. ONDRA, J. VAVŘÍK, I. Obrábění. Praha : SNTL, 1974. 351 s. ISBN neuvedeno.
- [18] Slanař, Václav,. Technické kreslení : pravidla pro tvorbu strojnických výkresů podle mezinárodních norem /. 2. vyd. Písek : J & M, 1999. 156 s. ISBN: 80-902366-2-6
- [19] Kocman, Karel,. Speciální technologie : obrábění /. 3., přeprac. a dopl. vyd. Brno : CERM, 2004. 227 s. ISBN: 8021425628
- [20] Podnikové zdroje firmy STIM ZET.
- [21] ČSN 22 1101 - Šroubovitě vrtáky, Technické požadavky. Vydaná před r. 1993, 12s.
- [22] KOČMAN, Karel ; PROKOP, Jaroslav . *TECHNOLOGIE VÝROBY II, Řešené příklady* [online]. Olomoučany : Cerm, 2002 [cit. 2010-01-09]. Dostupné z WWW: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnVyroby_II.pdf>.
- [23] *Wikipedia.org* [online]. 17. 12. 2012 [cit. 2010-12-28]. Soubor: Třídy oceli. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/T%C5%99%C3%ADdy_oceli#Oceli_t.C5.99.C3.ADdy_12
- [24] *Tollshop.mihu.cz* [online]. 2003 - 2013 [cit. 2013-01-05]. Soubor: Třídy oceli. Dostupné z WWW: <http://www.toolshop.mihu.cz/index.php?akc=novinka&novid=8>
- [25] Mitutoyo SJ – 301, Přístroj na měření drsnosti povrchu. Návod k použití.
- [26] *Hommel-etamic.cz* [online]. 1991 - 2011 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.hommel-etamic.cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

v_c	[m/min]	Řezná rychlost
d, D	[mm]	Průměr vrtáku
n_c	[min ⁻¹]	Otáčky za minutu
f	[mm]	Posuv
v_f	[mm/min]	Rychlost posuvu
b	[mm]	Šířka třísky
κ_r	[°]	Úhel nastavení hlavní řezné hrany
a_p	[mm]	Hloubka řezu
F_c, F'_c	[N]	Tangenciální složky řezné síly
C_{F_c}, C_{F_f}		konstanta určena druhem a vlastnostmi materiálu a geometrie nástroje
M_k	[Nm]	Kroutící moment
F_f, F'_f	[N]	Posunové (axiální) složky řezné síly
F_p, F'_p	[N]	Radiální složky řezné síly
F_o	[N]	Osová síla
d_0	[mm]	Průměr jádra vrtáku
K		Stlačení třísky
γ_f	[°]	Boční úhel čela
R_a	[μ m]	Střední aritmetická úchylka profilu
R_z	[μ m]	Výška nerovností profilu z deseti bodů
R_t	[μ m]	Největší výška nerovností profilu
R_{mr}	[%]	Materiálový podíl drsnosti profilu
tv. pas. N		Šroubovitý vrták tvářený pasivovaný form. N
tv. pas. C		Šroubovitý vrták tvářený pasivovaný form. C

tv. pas. A	Šroubovité vrták tvářený pasivovaný form. A
br. N	Šroubovité vrták broušený form. N
br. C	Šroubovité vrták broušený form. C
br. A	Šroubovité vrták broušený form. A
Lineární (..)	Křivka regrese v grafu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Šroubovitý vrták [13].....	13
Obr. 2. Zóna řezání a oblast plastické deformace [5]	14
Obr. 3. Kinematika vrtacího procesu [15].....	15
Obr. 4. Průřez třísky při vrtání do plna a označení parametrů vrtání [5]	16
Obr. 5. Řezné síly při vrtání [5].....	17
Obr. 6. Oblast plastických deformací v odřezávané vrstvě při ortogonálním řezání [22]	18
Obr. 7. Zjednodušený model tvorby elementů třísky při ortogonálním řezání [22]	19
Obr. 8. Nárustek na břitu vrtáku [5].....	20
Obr. 9. Vliv chromu na tvar křivek IRA (izometrické přeměny) [3].....	25
Obr. 10. Závislost tvrdosti karbidů na teplotě [4]	29
Obr. 11. Závislost tvrdosti řezných materiálů na teplotě. [7].....	31
Obr. 12. Oblast ekonomického použití řezných podmínek. [7].....	32
Obr. 13. Schéma rozvrstvení materiálu v bubnu při omílání [9].....	34
Obr. 14. Schéma způsobu omílání: a - odstředivé, b, c, d – rotační, e – vibrační [9].....	35
Obr. 15. Profil frézy pro obrábění drážek šroubovitého vrtáku [10].....	36
Obr. 16. Metody ostření [10]	41
Obr. 17. Úpravy hrotů vrtáku [13]	42
Obr. 18. Adhezni opotřebení [5]	48
Obr. 19. Abrzivni opotřebení [5]	48
Obr. 20. Grafické vyjádření Ra [18]	49
Obr. 21. Grafické znázornění Rz [18].....	50
Obr. 22. Grafické znázornění Ry [18]	50
Obr. 23. Grafické vyjádření S_m [18]	51
Obr. 24. Grafické vyjádření S [18]	51
Obr. 25. Grafické vyjádření t_p [18].....	51
Obr. 26. Piezoelektrický snímač sil [16]	54
Obr. 27. Dynamometr pro určení kroutícího momentu [19].....	55
Obr. 28. Frézka PROMA FHV – 50PD.....	60
Obr. 29. Šroubovitě vrtáky $\varnothing 11\text{mm}$	61
Obr. 30. Materiál zkušební vzorku	61

Obr. 32 Přístroj k měření drsnosti Mitutoyo SJ-301 [25]	62
Obr. 32 Reálná podoba přístroje k měření drsnosti Mitutoyo SJ-301	63
Obr. 33 Reálná podoba mikroskopu Carl-Zeis MWD	64
Obr. 34 Vyhodnocení drsnosti děr a mat. podílu v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845$ m/min.	65
Obr. 35 Vyhodnocení drsnosti děr a mat. podílu v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15$ mm/ot.	66
Obr. 36 Trend vyhodnocení drsnosti R_a v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845$ m/min.	67
Obr. 37 Trend vyhodnocení drsnosti R_z v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845$ m/min.	67
Obr. 38 Trend vyhodnocení drsnosti R_t v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845$ m/min.	68
Obr. 39 Trend vyhodnocení materiálového podílu R_{mr} v závislosti na posuvu při řezné rychlosti $V_c = 23,845$ m/min.	68
Obr. 40 Trend vyhodnocení drsnosti R_a v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15$ mm/ot.	69
Obr. 41 Trend vyhodnocení drsnosti R_z v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15$ mm/ot.	70
Obr. 42 Trend vyhodnocení drsnosti R_t v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15$ mm/ot.	70
Obr. 43 Trend vyhodnocení materiálového podílu R_{mr} v závislosti na řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15$ mm/ot.	71
Obr. 44 Ukázka vrtaných děr šroubovitým vrtákem form. A.	71
Obr. 45 Místa měření opotřebení.	73
Obr. 46 Průběh opotřebení u tvářeného vrtáku form N.	74
Obr. 47 Průběh opotřebení u broušeného vrtáku form N.	74
Obr. 48 Průběh opotřebení u tvářeného vrtáku form C.	75
Obr. 49 Průběh opotřebení u broušeného vrtáku form C.	75
Obr. 50 Průběh opotřebení u tvářeného vrtáku form A.	76
Obr. 51 Průběh opotřebení u broušeného vrtáku form A.	76
Obr. 52 Průběh opotřebení u max. průměru vrtáků form N.	77

Obr. 53 Průběh opotřebení u max. průměru vrtáků form C.....	77
Obr. 54 Průběh opotřebení u max. průměru vrtáků form A.....	78
Obr. 55. Opotřebení u tvářeného vrtáku form N po 70 dířách.....	79

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Důsledky a příčiny změn na povrchu po řezu [5]	21
Tab. 2. Charakteristiky aplikací rychlořezných ocelí [7].....	27
Tab. 3. Rozměry profilu frézy pro obrábění šroubovitého vrtáku [10].....	36
Tab. 4. Typy sklonu drážek šroubovitého vrtáku. [12]	38
Tab. 5. Doporučené vrstvy pro různé druhy obráběného materiálu [13].....	44
Tab. 6. Technické parametry universální frézky PROMA FHV – 50PD.....	59

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Drsnost děr a materiálový podíl při různých řezných rychlostech a různých posuvech
- P II Opatření šroubovitých vrtáků doporučeným posuvem a doporučenou řeznou rychlostí