

Vliv ostření vrtáků a vyvrtávacích nástrojů na doprovodní jevy procesu obrábění.

Karel Babica

Bakalářská práce
2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel BABICA**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vliv ostření vrtáků a vyvrtávacích nástrojů na doprovodní jevy procesu obrábění**

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte studium literatury z teorie a technologie vrtání a vyvrtávání**
- 2. Hodnoťte doprovodní jevy procesu obrábění**
- 3. Určete vliv technologických podmínek na dynamiku vrtání a vyvrtávání**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

Kocman,K.;Prokop,J.: Technologie obrábění. CERM Brno, 2005

Jurko,J.; Lukovics,I.: Vrtanie-Technologická metoda výroby dier. UTB ve Zlíně, 2007

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

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2010**

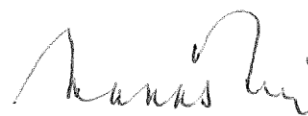
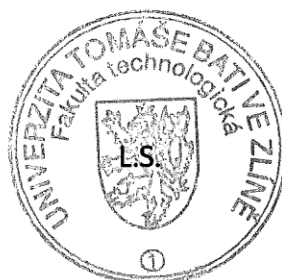
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2010**

Ve Zlíně dne 18. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.

děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

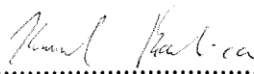
vedoucí katedry

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 užit 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 Zlíně30.5.2010


.....

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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Práce zobrazuje závislosti vrtání na technologických podmínkách procesu řezání. Úkolem práce je zhodnotit osovou sílu, která nastává při vrtání různých druhů materiálů. Dále porovnat rozdíly osové síly mezi zvětšováním díry šroubovým vrtákem a vyvrtávacím nožem. Práce zahrnuje nejen teorii a technologii vrtání či vyvrtávání, ale i doprovodní jevy vznikající při řezném procesu.

Klíčová slova: vyvrtávací nástroj, osová síla, šroubovitý vrták, doprovodní jevy

ABSTRACT

Work shows, depending on drilling conditions of technological process of cutting. The task of this work is to evaluate the axial force, which occurs when drilling different materials. Furthermore, the axial force equal to the difference between enlarging the hole šroubovitým bit boring and well-ground. Work includes both theory and technology of drilling and boring, but also accompanying phenomena arising during the cutting process.

Keywords: boring tool, axial force, twist drill, Toy Phenomena

Poděkování

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Imrichovi Lukovicsovi, CSc. za vstřícný přístup a rady, týkající se technologie vrtání a doprovodných jevů při tvorbě bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Rokytovi za zaučení a pomoc při měření v programu.

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

Ve Zlíně

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 HISTORIE VRTÁNÍ.....	12
1.2 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA VRTÁNÍ.....	13
1.2.1 Kinematická charakteristika	15
1.2.2 Dynamická charakteristika	17
1.2.3 Mikrogeometrická charakteristika.....	19
1.2.4 Tvarování a tvoření třísky	20
1.3 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA VYVRTÁVÁNÍ	22
1.3.1 Kinematická charakteristika	26
1.3.2 Tvoření třísky	27
2 DOPROVODNÍ JEVI PROCESU OBRÁBĚNÍ	28
2.1 OPOTRĚBENÍ BŘITU ŠROUBOVITÉHO VRTÁKU	29
2.2 URČOVÁNÍ SLOŽEK ŘEZNÉ SÍLY	35
2.2.1 Přímé měření sil	36
2.2.1.1 Dynamometr pro určení kroutícího momentu při vrtání.....	38
2.2.2 Nepřímé měření sil	39
2.3 PARAMETRY DRSNOSTI POVRCHU	39
2.4 EKONOMIKA VRTÁNÍ	42
2.5 TUHOST VYVRTÁVACÍ TYČE	44
II PRAKTICKÁ ČÁST	49
3 CÍLE A CHARAKTERISTIKA PRAKTICKÉ ČÁSTI	50
3.1 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	50
3.2 CHARAKTERISTIKA	50
3.2.1 Stroj	50
3.2.2 Nástroj	51
3.2.3 Obrobek.....	52
3.2.4 Měřicí sestava.....	52
4 OSOVÁ SÍLA A JEJÍ ZÁVISLOST PŘI VRTÁNÍ	54
4.1 ZÁVISLOST OSOVÉ SÍLY NA ŘEZNÉ RYCHLOSTI.....	56
4.2 ZÁVISLOST OSOVÉ SÍLY NA POSUVU	59
5 ZÁVISLOST OSOVÉ SÍLY NA TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNKÁCH PŘI VYVRTÁVÁNÍ	61
5.1 POROVNÁNÍ SIL PŘI VYVRTÁVÁNÍ DĚR ŠROUBOVITÝM VRTÁKEM A VYVRTÁVACÍM NÁSTROJEM.....	62
ZÁVĚR	66
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	67

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
SEZNAM OBRÁZKŮ	70
SEZNAM TABULEK.....	73

ÚVOD

Ve zhotovené bakalářské práci na téma: „Vliv ostření vrtáků a vyvrtávacích nástrojů na doprovodní jevy procesu obrábění“, byla přiblížena problematika obrábění a jevy s nimi souvisejícími. Cílem téhle práce bylo objasnit některé poznatky z daného oboru a přinést informace těm, které tahle práce zaujme.

Bakalářská práce byla rozdělena na teoretickou a praktickou část. Obě tyto části byly dále seřazeny do jednotlivých bodů a kapitol pro lepší orientaci. Teoretická část se skládá z dvou hlavních bodů. V prvním z nich byla zaměřena především na teorii z oblasti technologie vrtání a vyvrtávání. Druhý bod obsahuje doprovodní jevy a jejich měření či určování, které nastávají při vrtání a vyvrtávání. Zahrnuta je zde i hospodárnost vrtání, která je velmi důležitým kritériem.

Zaměření praktické části bylo vypracovat závislosti osově síly na technologických podmínkách při vrtání do materiálů o různých vlastnostech. Dále také porovnat rozdíly při zvětšování díry šroubovitými vrtáky a vyvrtávacím nožem. Měření bylo prováděno na převodové vrtačce a dynamometru. Výsledky pak byly zpracovány v programu Excelu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. TEORIE A TECHNOLOGIE VRTÁNÍ A VYVRTÁVÁNÍ

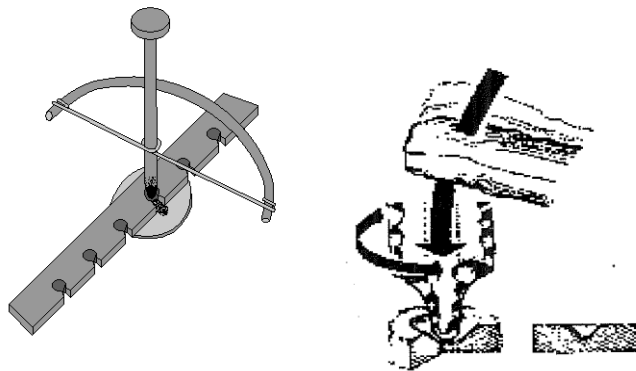
1.1 Historie vrtání

Proces vrtání vznikl někdy v době kamenné. Vrtací nástroje byli upravené kosti větších zvířat anebo kameny zhotovené do určitých klínů (obrázek 1). První principy vrtání byly prováděny ručně (obr. 2.). Práce na těchto strojích vyžadovala poměrně velkou sílu.



Obr. 1. Tvar nástroje z kamene pro výrobu děr [1]

V pozdějším období si lidé usnadnili výrobu děr a vynalezli tzv. „lukový princip vrtání“ (obr. 2), kde nebyla zapotřebí tak velká fyzická síla a vrtání bylo efektivnější.



Obr. 2. Základní principy vrtání [8]

Pár set let zpět se tvar vrtáků zlepšil, avšak geometrie byla stále primitivní. Velkým pokrokem ve vývoji manufaktury bylo použití parního stroje jako zdroj energie na pohyb řezného předmětu. Vzniklo i několik druhů speciálních nástrojů, např. vrtací tyče, závitníky, šroubovitě vrtáky....

Nejvýznamnější poznatky a vlastnosti v oblasti vrtání a opotřebení řezných částí nástrojů přinesli vědci v první polovině 19. století, mezi které patří například Coquilhat (1848 – 1849, proces vrtání), Wiebe (1858 – řezné tlaky), Brown (1861 – zavedl do výroby frézovací stroje a urychlil tak výrobu drážek šroubových vrtáků), Clarinval (1862 – vrtání bronzu), Morse (1863 – patentoval šroubový typ vrtáku, který zlepšil odvod třísek, ale měl nízkou životnost protože tehdejší nástrojová ocel měla nízkou odolnost vůči opotřebení). [1]

1.2 Technologická charakteristika vrtání

Vrtání je nejrozšířenější metodou výroby děr v porovnání se soustružením, frézováním, atd. Díry jsou vyráběny řezným nástrojem, který má řezné hrany symetrické podle osy vrtáku. Nejčastěji používané vrtáky pro výrobu děr jsou šroubovitě (Obr. 3). Jedny z prvních typů vrtáků vyráběné z nástrojové oceli nahradili rychlořezné, a v současné době se vrtáky vyrábějí ze spěkaných karbidů nebo s karbidovou vyměnitelnou řeznou destičkou. Vzniklé třísky jsou odváděny šroubovitou drážkou na těle vrtáku. Technologická metoda vrtání se aplikuje 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 $l = \text{až } 150 \times \text{ØD}$)



Obr. 3. Šroubovitý vrták [2]

V současné době můžeme základní operace vrtání klasifikovat:

Vrtání do plna – je operace kdy se vrtá díra do plného materiálu v jediné operaci přes celou tloušťku daného materiálu (obr. 4a).

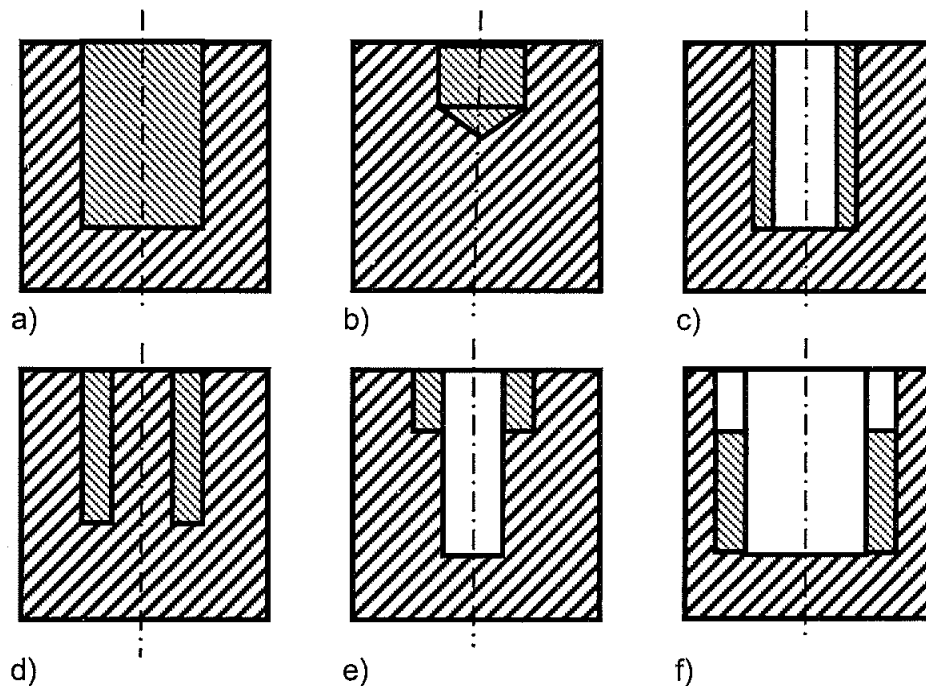
Vrtání na hřbetovou plochu – je operace kdy se vrtá díra do plného materiálu v jediné operaci do určité hloubky, která je menší než tloušťka vrtaného materiálu (obr. 4b).

Vrtání na jádro (vyvrtání) je operace, kdy se aplikuje postupné vrtání. Využívá se hlavně pro větší průměry, jelikož má pak menší požadavky na příkon stroje než u vrtání do plna (obr. 4c).

Vrtání na věnec – je operace používaná pro výrobu mezikružích. Na třísku se nemění všechen materiál, neboť uprostřed zůstává plné jádro (obr. 4d).

Zahlubování (vrtání ponorem) – je operace na zvětšování průměru předvrtané díry speciálně konstrukčně upraveným nástrojem, který ubírá podstatné množství materiálu po obvodě díry (obr. 4e).

Vystružování a vyhrubování – jedná se o operaci na zvýšení kvality vyvrtané díry (obr. 4f).

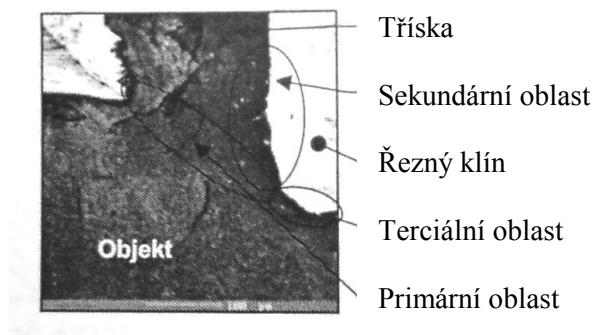


Obr. 4. Základní operace vrtání [1]

Řezání, je proces plastické deformace, jejichž 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 materiálem. Tato oblast se nazývá tzv. zóna řezání (obr. 5), 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 výstupné prvky:

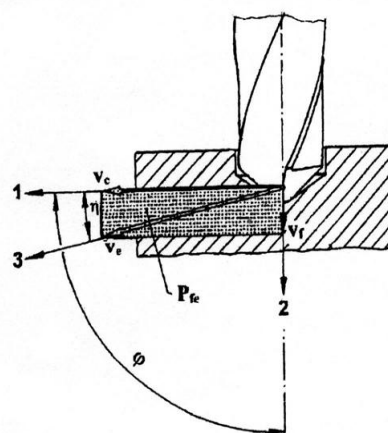
- objekt s povrchem po řezu
- tříska
- opotřeбенá řezná část nástroje



Obr. 5. zóna řezání a oblast plastické deformace [1]

1.2.1 Kinematická charakteristika

Při vrtání vykonává hlavní rotační pohyb řezný nástroj, a současně i vedlejší pohyb (posuv) ve směru osy (Obr. 6).



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

Obr. 6. Kinematika vrtacího procesu [3]

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), řezný vykonává jen vedlejší pohyb (posuv) 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 katalogích tzv. doporučené řezné rychlosti, které jsou nejvyšší obvodovou řeznou rychlostí.

Pohyb vrtáku při vrtání ve směru osy se nazývá posuv f a jednotkou je 1mm. 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).

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

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

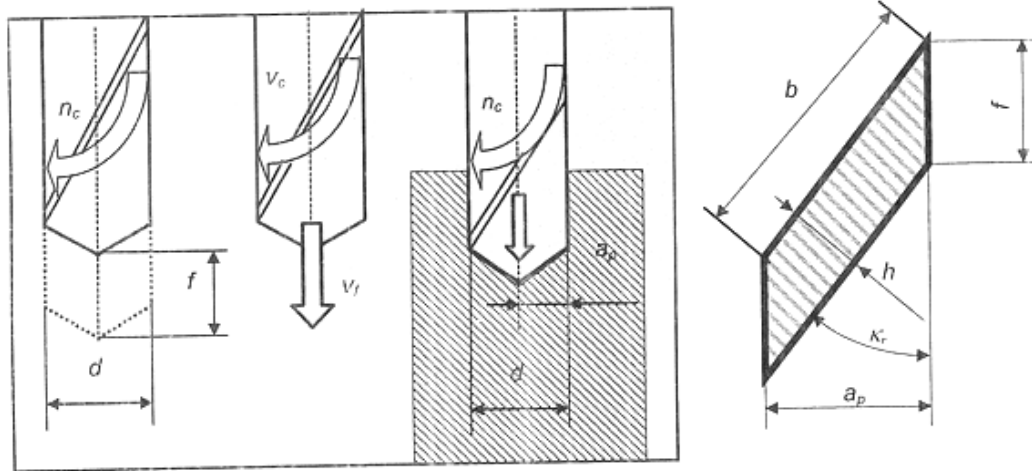
n_cpočet otáček za minutu

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. 8) se vztahuje k té části, kterou nástroj objekt opracovává a její velikost je rovna polovině průměru nástroje d .



Obr. 7. Průřez třísky při vrtání do plna a označení parametrů vrtání [1]

Bez ohledu na to, zda je vrták vyrobený ze spékaného karbidu nebo jestliže se jedná o vrták s výměnnými destičkami, zůstávají základní definice pro podmínky procesu řezání vždy stejné. [1]

1.2.2 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. 8).

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 přenáší 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).

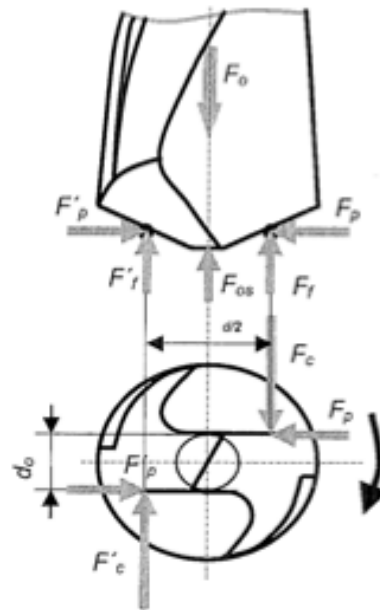
$$F_C = C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \quad (5)$$

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

$$M_K = 2F_C \cdot \frac{d}{4} - 2F_P \cdot \frac{d_o}{2} \quad (7)$$

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. 8. Řezné síly při vrtání [1]

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 přemění 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 , tříška se pěchuje (je stlačena). Stlačení třísky je jedna z charakteristických veličin plastické deformace materiálu objektu a určuje se výpočtem (8). Čím větší je hodnota K , tím víc je tříška deformována a tím větší jsou řezné síly. Tříška je také deformována třením o čelní plochu řezné části nástroje v tzv. oblasti sekundární plastické deformace. [1, 3]

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

1.2.3 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 [1]

Vliv	Účinek
<i>Chemický</i>	Mezi krystalické na padnutí, mezi krystalická koroze, mezi-krystalické 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, rekrystalizace
<i>Materiálovo–mechanický</i>	Plastická deformace, změna tvrdost, zbytkové napětí, mikrotrhliny 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 posilnily vliv kladných faktorů a tlumily vliv záporných faktorů. Projev technologické dědičnosti je potřeba zkoumat komplexně ve všech ukazatelích. Bez těchto náležitostí nelze 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 opotřebením, protikorozní stabilitu, kvalitu lícování apod. Tyto ukazatele budou mít velký význam zejména pro dynamicky namáhané strojové součástky a součástky podléhající opotřebením.

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.) [1]

1.2.4 Tvarování a tvoření třísky

Tvoření třísky při řezání je výsledkem procesu plastické deformace materiálu, který nastane po překročení hranice pevnosti materiálu (Obr. 9), 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. 10). Rovina stříhu dělí nedeformovanou strukturu materiálu objektu od deformované struktury třísky.

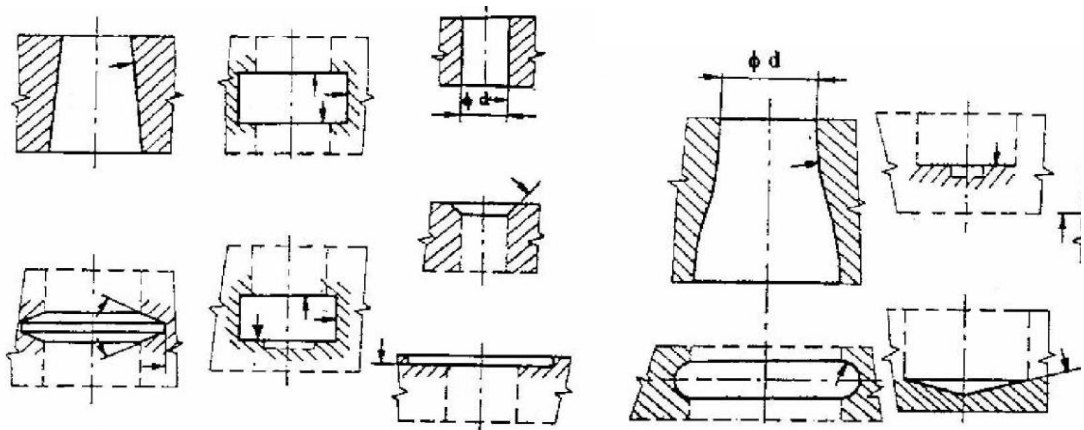
Deformace třísky je vyjádřena veličinou stlačení třísky. Tvoření třísky můžeme popsat na základě teorie o plastické deformaci, která probíhá v rovině stříhu, kde se akumuluje podstatná část energie. Deformovaná vrstva - tříska se pohybuje po čelní ploše řezné části nástroje a vytváří kontaktní zónu, ve které dochází k zadírání materiálu objektu na čelní ploše v oblasti hrotu. Probíhají adhezní a difúzní děje. V oblasti, kde tříska 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. 11). Závisí nám to především na materiálu objektu, geometrii nástroje, řezné rychlosti, posuvu a volbě procesního média (chladicí a mazací účinek, čistící účinek, ochranný účinek atd..). [1, 9]



Obr. 11. nárůstek na břítu vrtáku [1]

1.3 Technologická charakteristika vyvrtávání

Vyvrtávání je metoda obrábění, při níž se rozšiřují předlité, předkované, předlisované, předvrtané nebo jinými způsoby před hotovené vnitřní rotační plochy na požadovaný rozměr nebo tvar kruhového průřezu (Obr. 12). Obráběné rotační plochy mají geometrický tvar válce, kužele, čelního mezikruží nebo rotační tvarové plochy. U složitějších obrobků mohou být tyto tvarové prvky kombinovány v různém uspořádání na jedné nebo více osách rozložených v rovině nebo prostoru. [3]



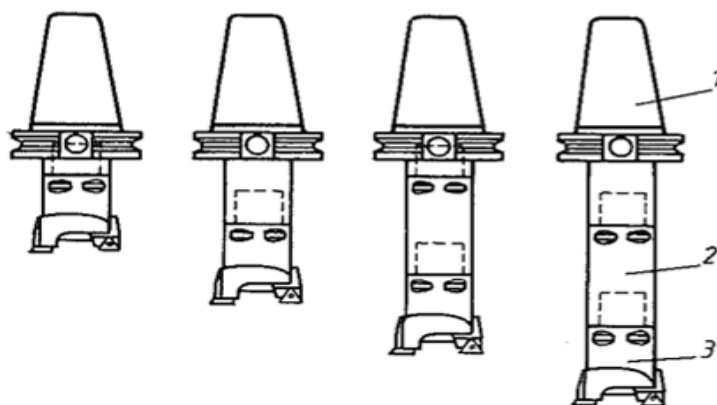
Obr. 12. Příklady rotačních ploch vytvořené vyvrtáváním [3]

Tato metoda se používá jak pro hrubování, tak pro práci na čisto.

Pro hrubování se používají dvou (Obr. 13) a vícebřité vyvrtávací tyče, aby bylo možné zvýšit úběr materiálu. Břity musí být přesně seřízeny tak, aby pracovaly na stejném průměru a odebíraly stejný průřez třísky; pak je tyč namáhána pouze točivým momentem a ne ohybem.

Pro obrábění na čisto se většinou používají jednobřité vyvrtávací tyče, kterými se dosahuje při odebrání malých průřezů třísek vysoké přesnosti díry a jakosti obrobeného povrchu.

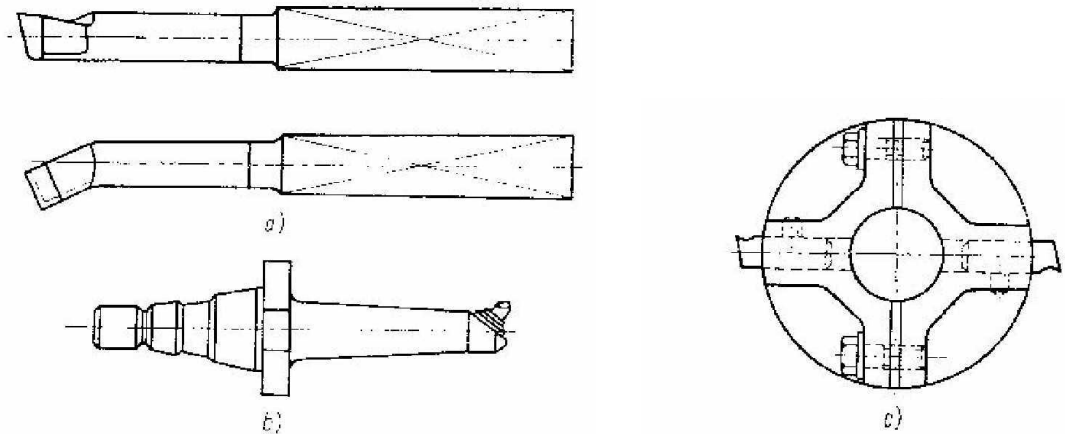
Můžeme opracovávat průchozí i neprůchozí díry velikou přesností a jakostí obrobeného povrchu. Obvykle vyvrtáváme díry průměru nad 40 mm, někdy, zejména při jemném vyvrtávání, vyvrtáme i díry průměru 15 až 20 mm. [4]



Obr. 13. Dvoubřité vyvrtávací tyče s prodlužovacími nástavci [4]

1 – upínací část, 2 – prodlužování část, 3 – vyvrtávací hlava

Při vyvrtávání se obrábí přímo vyvrtávacími noži (obr.14a), nebo noži upevněnými ve vyvrtávacích tyčích (obr.14b) nebo hlavách (obr.14c).

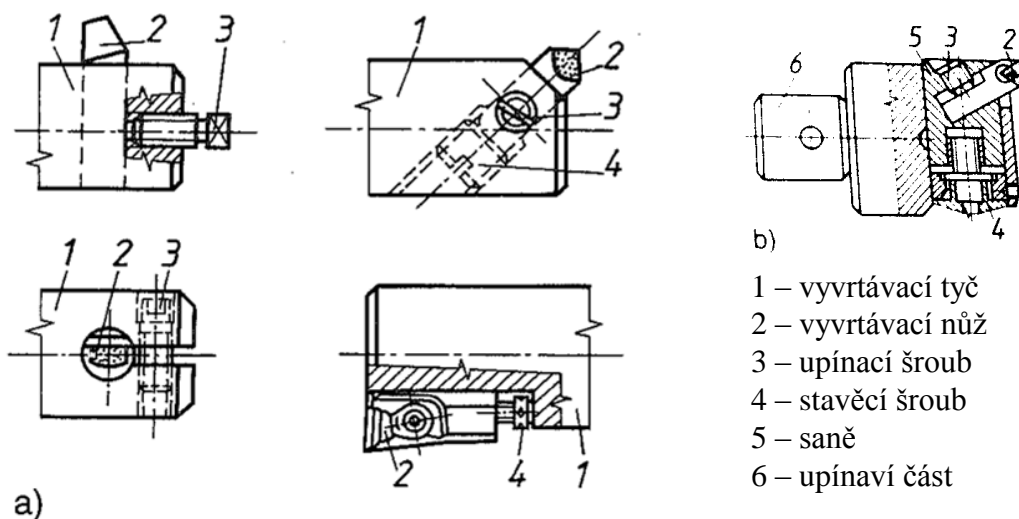


Obr. 14. Způsoby vyvrtávání [2]

- a) jednostranný vyvrtávací nůž kruhového průřezu, b) nůž upnutý ve vyvrtávací tyči, c) dva nože upnuté ve vyvrtávací hlavě

Vyvrtávací nůž je do vyvrtávací tyče upnut různými způsoby (obr. 15a), ale vždy tak, aby bylo možné seřizovat polohu nože, a tím velikost vyvrtávaného průměru.

U vyvrtávacích tyčí pro vyvrtání přesných děr je vyvrtávací nůž uložen v saních, které se na požadovaný průměr díry nastaví mikrometrickým šroubem.(obr. 15b)



a)

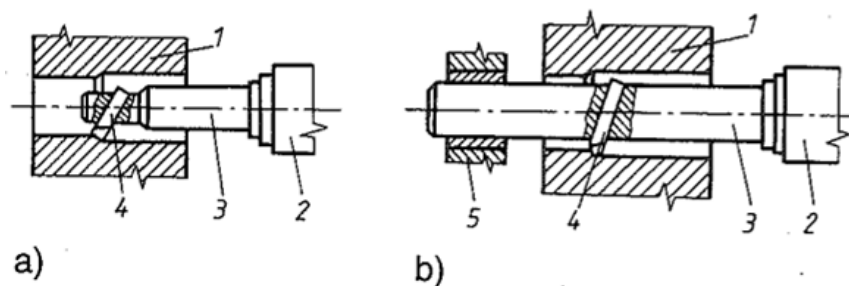
b)

- 1 – vyvrtávací tyč
- 2 – vyvrtávací nůž
- 3 – upínací šroub
- 4 – stavěcí šroub
- 5 – saně
- 6 – upínací část

Obr. 15. Způsoby upínání vyvrtávacích nožů do vyvrtávacích tyčí [4]

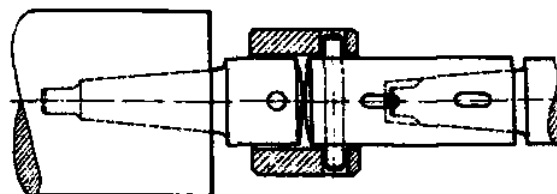
- a) jednoduché upnutí šrouby
- b) vyvrtávací hlava s mikrometrickým stavěcím šroubem pro přesné nastavení polohy nástroje

. Vyvrtávací tyč může být upnuta letmo ve vřetenu stroje (Obr. 16a), nebo vedena jedním koncem v opěrném ložisku (Obr. 16b), nebo je vedena dvěma samostatnými ložisky a pracovní vřeteno stroje jí uděluje pouze točivý pohyb a přenáší kroutící moment. V tomto případě je vyvrtávací tyč spojena s vřetenem stroje kloubem, aby možná nesouosost vodičích pouzder s osou vřetena stroje nezpůsobovala přičení tyče (obr.17). Tento způsob upnutí umožňuje nejpřesnější práci.



Obr. 16. Upnutí vyvrtávací tyče [4]

- a) Vyvrtávací tyč uložená letmo, b) Vyvrtávací tyč podepřená ložiskem



Obr. 17. Upnutí vyvrtávací tyče s kloubem [2]

Vzhledem k vysoké ceně přesných vyvrtávacích tyčí se často užívají stavebnice nástrojů pro NC stroje, které lze velmi ekonomicky využívat.

Velmi častou prací na vyvrtávacích je vyvrtání několika děr v jedné stěně obrobku, při němž je třeba přesně dodržet jejich rozteče. Lze to uskutečnit několika způsoby.

a) Nejjednodušší způsob je nastavení nástroje, podle orýsovaných os a průměru všech vyvrtávaných děr na stěně obrobku. Tento způsob je málo přesný a dosáhne se jím maximální přesnosti roztečí 0,2 až 0,5 mm.

b) Přesněji se nastavuje vyvrtávací tyč na osy jednotlivých děr podle jejich souřadnic. Ve vodorovném směru přestavením pracovního stolu vyvrtávací, ve svislém

směru přestavením vřeteníku po vedení stojanu. Délka přestavení stolu i vřeteníku se určí přímo na třech pevných kovových měřítkách, z nichž jedno je pevně spojeno se stojanem (pro odečítání délky svislého přestavení), druhé s ložem (pro odečítání podélného představení) a třetí s podélným stolem (pro odečítání příčného přestavení). Délku přestavení čteme buď přímo, nebo pomocí mikroskopu a nonia. V tomto případě je možno nastavit pracovní vřetení s přesností drsnosti 0,03 až 0,05 mm.

Přesněji lze nastavit rozteče vrtaných der základními měrkami a číselníkovým úchylkoměrem. Postupujeme tak, že stavitelnou narážkou upevněnou na měřítkové tyči a úchylkoměrem pevně spojeným s vřeteníkem zjistíme výchozí polohu pracovního vřetení. Vřeteník přesuneme z výchozí polohy o požadovanou vzdálenost tím, že do prizmatu měřítkové tyče uložíme základní merku a vřeteník přestavíme na takovou vzdálenost, až ručička úchylkoměru ukáže při dotknutí se plochy merky stejnou hodnotu, jako při postavení vřeteníku v základní poloze. Stejně přestavujeme pracovní stůl podélně i příčně.

c) Nejrychleji a nejpřesněji zajistíme přestavení vřeteníku na požadované hodnoty přípravkem, v němž je vrtací tyč na obou koncích vedena na vodicích pouzdech. [2, 4]

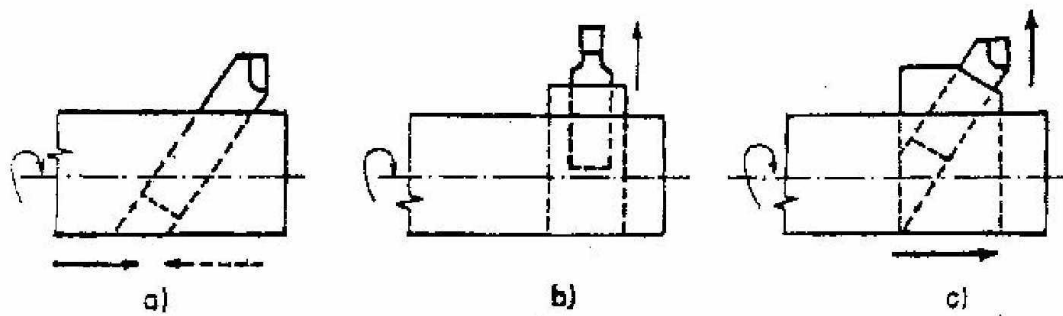
1.3.1 Kinematická charakteristika

Kinematika vyvrtávání může být identifikována několika základními způsoby:

a) Nástroj koná hlavní pohyb, vyvrtávací nůž je pevně uložen ve vyvrtávací tyči nebo hlavě a obrobek (nebo vyvrtávací tyč) koná podélný posuv do řezu. Radiální posuv je roven nule, nůž je vůči obrobku nastaven na obráběný průměr (Obr. 18a).

b) Nástroj koná hlavní pohyb, nůž se vysouvá s vyvrtávací tyče nebo hlavy plynule nebo po postupně (obvykle vždy za jednu otáčku) radiálním posuvem v příčném směru. V tomto případě je podélný posuv roven nule (Obr. 18b).

c) Nástroj nebo obrobek koná hlavní pohyb i podélný posuv, přičemž se nůž tyče nebo hlavy plynule nebo postupně vysouvá v příčném směru radiálním posuvem (Obr. 18c). []



Obr. 18. Kinematika vyvrtávání [3]

- a) podélný posuv nástroje, b) příčný posuv nástroje, c) podélný a příčný posuv nástroje

Řezná rychlost je při vyvrtávání určena počtem otáček vyvrtávací tyče a průměrem vrtávané díry. Vypočte se podle rovnice (9):

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n_c}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (9)$$

Posuv se stejně jako u vrtání udává délkou dráhy nože v axiálním směru za jednu otáčku vyvrtávací tyče s [mm/ot]. Posuvový pohyb na vyvrtávacích strojích koná pracovní stůl s obrobkem, nebo jej vykonává pracovní vřeteno stroje. Posuvový pohyb pracovního stolu a axiální požadované vazby mezi oběma pohyby. [2]

1.3.2 Tvoření třísky

Princip tvoření třísky při vyvrtávání je obdobný jako tvoření třísky při soustružení vzhledem k tomu, že je obdobná kinematika pohybu, charakter a řádově i velikost hlavních řezných podmínek (řezná rychlost, posuv, hloubka řezu) i druh geometrie nástroje včetně nástrojových materiálů. Avšak vzhledem k tomu, že na rozdíl od soustružení se vyvrtávání týká ploch vnitřních, čelních popř. i tvarových, je poněkud větší (horší) přechování, utváření a tvoření třísky, zpevnění obrobenej plochy, a tedy jsou i větší řezné odpory. [2]

2 DOPROVODNÍ JEVY PROCESU OBRÁBĚNÍ

Kterákoli technologická metoda je charakteristická svým uspořádáním technologických systémů a podmínkami procesu řezání. Jevy doprovázející proces řezání 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 obrobené plochy a především na trvanlivost nástroje. Na povrchu obrobku mohou tyto teploty vyvolat pnutí i strukturální přeměny.
- 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 obrobené plochy. [5]
- Opotřebování břitu nástroje – Je to nežádoucí změna povrchu nebo rozměru tuhých těles způsobených buď vzájemným působením funkčních povrchů, nebo funkčního povrchu a prostředí, které opotřebování vyvolá při jejich vzájemném relativním pohybu. Opotřebování řezného nástroje je produktem kombinace zatěžujících faktorů, které působí na řeznou část nástroje. Nastává tedy třením mezi řeznou částí nástroje a objektem. [1]
- 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. [5]

2.1 Opatření břitů šroubovitých vrtáků

U šroubovitých vrtáků nastává první kontakt tím, že výstupky povrchu vrcholu šroubovitěho vrtáku se zatlačí do materiálu objektu, potom dochází k postupnému vřezávání příčné řezné hrany do materiálu objektu a v poslední etapě vstupu šroubovitěho 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 postupně 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 opotřebením prvků řezné části nástroje a to hlavně při středu vrtáku, resp. na příčné řezné hraně, dále postupným vřezáváním hlavní řezné hrany (hran) dochází k opotřebením na hlavní zadní ploše a na čelní ploše, až proces opotřebením pokračuje u průměru, postupuje na vedlejší řeznou hranu a v konečném důsledku ovlivňuje i vedlejší zadní plochy. Druh a průběh opotřebením, které vznikly na řezné části nástroje, podávají důležité informace o průběhu operace procesu řezání.

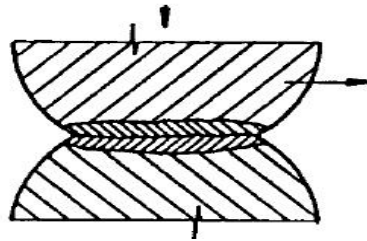
Příčiny poškození řezné části nástroje můžeme charakterizovat pomocí tří faktorů:

- a) externí příčiny procesu řezání (házání 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 břitů 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 břitů nástroje. Tyto částice vyvolávají u nástroje brousící, případně abrazivní efekt.

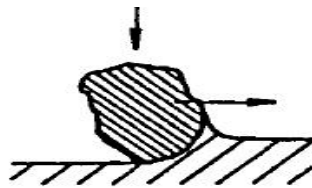
Opatření dělíme na 6 základních druhů:

Adhezní (Obr. 19) - příčinou je kluzný pohyb součástí, vytrhování a přenášení částíček - řada hypotéz (mikrospoje následkem mikrone rovností a plastické deformace) - dle podmínek: elastický (únava), plastický (nizkokycklová 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.



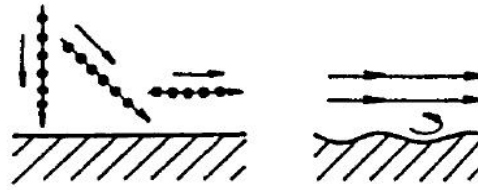
Obr. 19. Adhezní opotřebení

Abrazivní (Obr. 20) - částice mezi kluznými plochami (obvykle tvrdé) - analogie adhezního - vliv tvaru, množství a vlastností částic (částice volné nebo vázané) - oddělování závisí na úhlu částice s povrchem – vliv tzv. kritické velikosti částic.



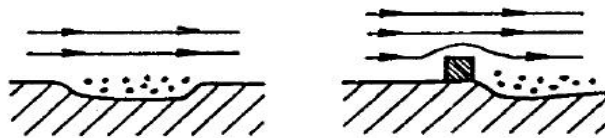
Obr. 20. Abrazivní opotřebení

Erozivní (Obr. 21) - následek opakovaných srážek tuhých částic unášených proudícím médiem (plyn, kapalina) - ovlivnění: podmínkami nárazu (úhel a rychlost dopadu), vlastnostmi media a částic (velikost, tvar, tvrdost a rozložení částic, druh a teplota media), vlastnosti materiálu - energie nárazu (deformační práce) – rozdílné chování materiálů - např. dobrá erozní odolnost tvrdých a křehkých materiálů (kalená ocel, tavený čedič apod.) při malých úhlech dopadu a naopak při velkých úhlech dopadu materiály s velkou pružnou deformací (pryže) nebo velkou houževnatostí (měkká ocel) - absorpce kinetické energie.



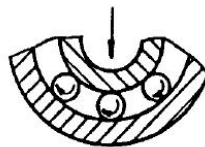
Obr. 21. Erozivní opotřebení

Kavitační (Obr. 22) - dynamické účinky vyvolané vznikem a zánikem bublin vyplněných sytou párou - modely: sférické rázové vlny a náraz paprsků kapaliny - řada působících faktorů.



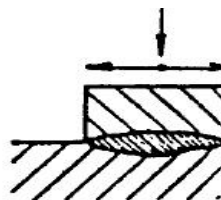
Obr. 22. Kavitační opotřebení

Únavové (Obr. 23) - opakovaný styk dvou těles za působení normálových a smykových sil (valivá ložiska, ozubená kola) - důležitá maximální smyková napětí pod povrchem - typ únavového porušení (zdrsnění povrchu, odlupování částic kovu - pitting).



Obr. 23. Únavové opotřebení

Vibrační (Obr. 24) - vzájemný kmitavý pohyb částí - analogie vibrační koroze - kombinace adheze, abraze a oxidace.



Obr. 24. Vibrační opotřebení

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

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

Abrazivní mechanismus opotřebenosti – 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 opotřebenosti 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 opotřebenosti části nástroje abrazivním mechanismem.

Adhezní mechanismus opotřebenosti – Charakteristickým znakem adhezního mechanismu opotřebenosti je vznik mikrosváru, které jsou porušeny vlivem pohybu mezi dvěma kontaktními povrchy na objektech. Vzájemná interakce objektů je ovlivněna silovým účinkem normálových sil, důsledkem je deformace kontaktních povrchů. Materiál nástroje přenáší část materiálu objektu na materiál nástroje a naopak. Typickým příkladem je rozmělněná vrstva na čelní ploše řezné části nástroje nebo stopy na povrchu po řezu na objektu.

Únavový mechanismus opotřebenosti – je vždy doprovázená abrazivním a adhezním mechanismem. Únava povrchu při tření je důsledkem účinku pružné a plastické deformace. Zpevnění povrchu třecí dvojice doprovázeného tvorbou a šířením únavových mikrotrhlin na anebo pod zatíženým povrchem. Produkt opotřebenosti může být částice lístkového tvaru resp. laminárního tvaru, který je typický pro houževnaté ma-

teriály řezné části nástroje. U křehkých materiálů únava povrchu doprovází mezikrystalické křehké štěpení. Únavové trhliny se vyvíjejí z tzv. ohnisek, které vznikají v místech koncentrace napětí nebo materiálových chyb. Jsou známé dvě pásma únavového lomu:

I. pásmo – pásmo únavového rozrušení má hladký povrch. Během postupného růstu trhliny a změn hodnot napětí jsou oba dva povrchy k sobě cyklicky přitlačované, což má za následek jejich odtláčování a otěr. Čím větší je počet těchto dotyků, tím hladší a zdánlivě drobnozrnější je povrch lomu. Je to jev, při kterém nedochází k rekrystalizaci důsledkem nízké teploty.

II. pásmo – pásmo únavového s viditelně hrubozrnější strukturou vzniká náhle v posledním období práce nástroje (před destrukcí). Tomuto pásmu se říká statické nebo taky pásmo konečného rozrušení. Takový lom je velmi podobný lomu při statické zkoušce.

Mechanismus opotřebování tribochemickou reakcí – je důsledkem tvoření, štěpení, úběru a přenos lidských vrstev. Podstatou mechanismu je vytvoření nového chemicky čistého povrchu na kontaktních plochách interakčních objektů.

Každé opotřebení řezné části nástroje se vyznačuje změnou tvaru prvků a hmotnosti řezné části nástroje, které vyjadřuje charakteristická křivka opotřebování. Změna charakteristického rozměru určuje vnější jevy opotřebování. Některé z nich, pro austenitické nerezavějící oceli, jsou:

Opotřebení zadní plochy řezné části nástroje (Obr. 25) – je to abrazivní forma opotřebování, která je obvyklá a při rovnoměrně se zvětšujícím opotřebování je považována často jako ideální. Velké opotřebování má za následek zhoršení kvality povrchu objektu po řezu, nepřesnost rozměrů narůstající tření vzniklé změnou geometrie řezné hrany.



Obr. 25. Opotřebení břitu [3]

Opotřebení ve tvaru žlábků na čelní ploše řezné části nástroje (Obr. 26) – je důsledkem působení mechanismů difúzního opotřebování a obraze. Žlábek vzniká působení

ním tvrdých částic obsažených v materiálu objektu a difúzí v lokálním místě řezné hrany s nejvyšší teplotou. Tendenci ke vzniku žlábků snižuje tvrdost bříty za tepla a malá afinita mezi materiálem a břitem. Velké opotřebování může změnit geometrii bříty a ovlivnit tvar třísky, změnit směr působení řezných sil a zeslabit řeznou hranu.



Obr. 26. Opotřebování čela ve tvaru žlábků [3]

Plastická deformace řezné hrany (Obr. 27) – je způsobeno vysokými teplotami a řeznými tlaky na řezné hraně, které vznikají vysokými posuvy, rychlostmi a tvrdostmi objektu. Tato deformace má za následek změnu geometrie bříty a změny odchodu třísky. Toto opotřebování můžeme eliminovat volbou správné geometrie a poloměru zaoblení řezné hrany.



Obr. 27. Plastická deformace bříty [3]

Opotřebování ve tvaru vrubu na hlavní zadní ploše řezné části nástroje (Obr. 28) – patří k typickým adhezním opotřebováním a také oxidačním opotřebováním. Vruby vznikají v místě kontaktu hřbetu a bokem třísky kde proniká vzduch do zóny řezání. Velké opotřebování ovlivňuje tváření třísky a může dojít k lomu.



Obr. 28. Opotřebování hřbetu ve tvaru vrubu [3]

Vznik hřbenovitých trhlin na řezné hraně (Obr. 29) - je formou únavového opotřebování a vzniká tepelnými šoky. Trhliny jsou tvořeny kolmo na řeznou hranu. Teplota se zvyšuje změnou hloubky třísky, ale chlazení se nedoporučuje kvůli tepelným rozdílům, které by nastávaly.



Obr. 29. Hřebenovité trhliny na ostrí [3]

Únavový lom (Obr. 30) – vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, kde jednotlivé zatížení nejsou dost velké, aby to břit najednou ulomily.



Obr. 30. Únavový lom [3]

Vydrolování řezné hrany (Obr. 31) – je opotřebování, kde se řezná hrana rovnoměrně drolí. Drobné elementy materiálu řezné části se začnou oddělovat z povrchu řezné hrany. Nejčastější příčinou opotřebení jsou přerušované řezy.



Obr. 31. Vydrolování ostrí [3]

Lom (Obr. 32) – je velmi nebezpečný a mělo by se mu za každou cenu zabránit. Křehký lom je způsobený špatnou volbou materiálu řezné části nástroje, málo houževnatý, apod. [1]



Obr. 32. Křehký lom [3]

2.2 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 [5]

2.2.1 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, hydraulického, kapacitního, elektrického, optického atd.

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

Podle druhu operací, pro něž dynamometr používáme, rozlišujeme dynamometry pro soustružení, vrtání, frézování atd. [6]

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 kroučící 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.

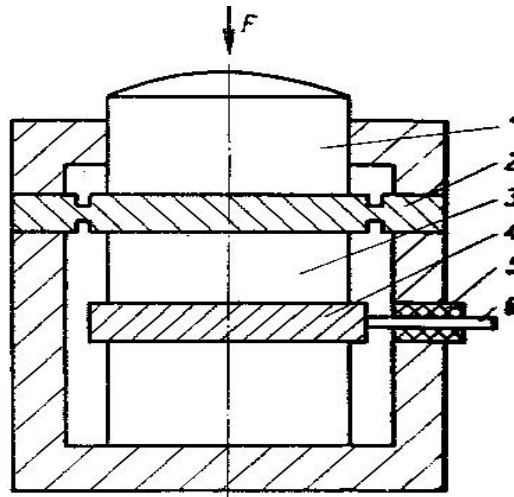
Snímač aktivní (generátorový): je to snímač, jehož výstupní veličina je elektrický proud, napětí, nebo veličina, již lze po případném zesílení měřit. Zde můžeme přidělit:

Dynamometry piezoelektrické (Obr. 33) – jsou založeny na zatěžování krystalů určitých látek, přičemž vznikají statické elektrické náboje přímo úměrné vnějšímu zařízení. 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. 33. Piezoelektrický snímač sil [5]

- 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: [6]

Dynamometr odporový

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

Dynamometr indukčnostní

- a) Snímač s malou vzduchovou mezerou
- b) Snímač transformátorový [5]

2.2.1.1 Dynamometr pro určení kroutícího momentu při vrtání

Síly točivého momentu dynamometru na měření točivého momentu působící kolem osy senzoru. Kompaktní dynamometr (Obr. 34) 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. [10]



Obr. 34. Dynamometr pro určení krouticího momentu [10]

2.2.2 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 krouticího 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.[5]

2.3 Parametry drsnosti povrchu

Pro správnou funkci strojních součástí je kromě tvarové a rozměrové přesnosti důležitá i jakost povrchu funkčních ploch. Na povrchu součástí jsou vidět velice jemné nerovnosti, které jsou tvořeny prohlubněmi a výstupky podobného průběhu v celé ploše. Tvar a velikost nerovností jsou závislé především na způsobu obrábění, obráběném materiálu a na technologických podmínkách.

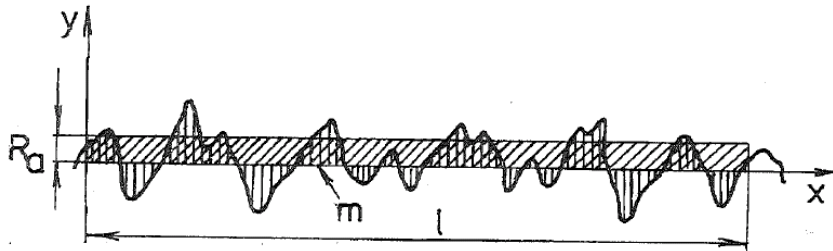
Stupeň drsnosti obrobené plochy se určuje dvěma způsoby. Buď je to porovnáním dle vzorových etalonů, nebo změřením některých hodnot udávajících charakteristiku drsnosti povrchu. Mezinárodní norma ISO 468 uvádí tyto parametry drsnosti povrchu:

- **střední aritmetická úchylna profilu R_a** (Obr. 35), která je určena vztahem (10):

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

l...Základní délka

y...absolutní úchylka profilu v rozsahu základní delky



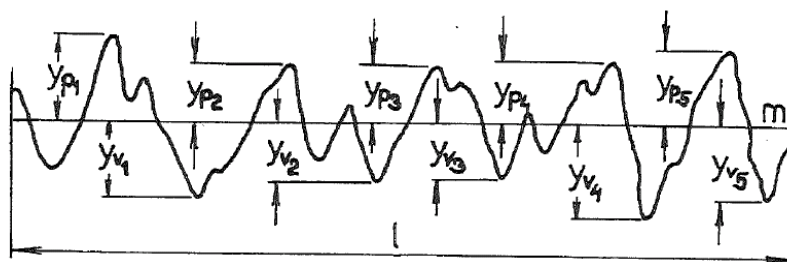
Obr. 35. Grafické vyjádření R_a

- **výška nerovností profilu z deseti bodů R_z** (Obr. 36), která je dána vztahem (11):

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

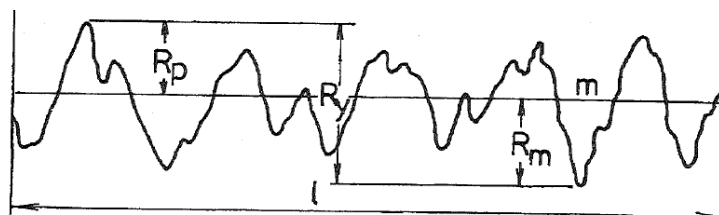
y_{pi} ...výška i-tého nejvyššího výstupku profilu

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



Obr. 36. Grafické znázornění R_z

- **největší výška nerovností profilu R_y** (Obr. 37), která je dána součtem výšky nejvyššího výstupku profilu R_p a hloubky nejnížší prohlubně profilu R_v , tj. vzdálenost čáry prohlubní a čáry výstupku.



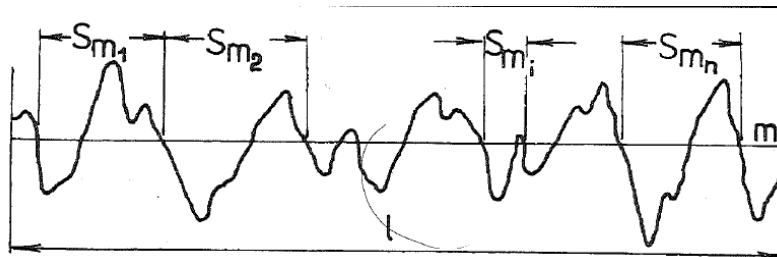
Obr. 37. Grafické znázornění R_y

- střední rozteč nerovností profilu S_m (Obr. 38) 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

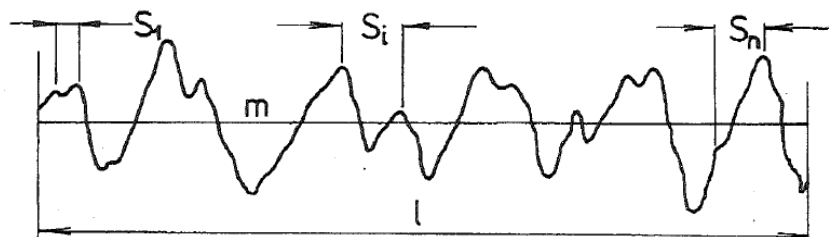
Obr. 38. Grafické vyjádření S_m

- střední rozteč místních výstupků profilu S (Obr. 39), která je uvedena ve vztahu (13):

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

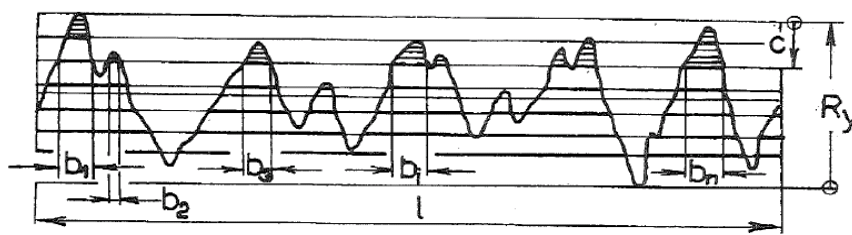
S_j ...rozteč místních výstupků profilu

n ...počet místních výstupků profilu v rozsahu základní délky

Obr. 39. Grafické vyjádření S

- nosný podíl profilu t_p (Obr. 40), který je definován jako poměr nosné délky η_p k základní délce l

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \quad (14)$$

Obr. 40. Grafické vyjádření t_p [7]

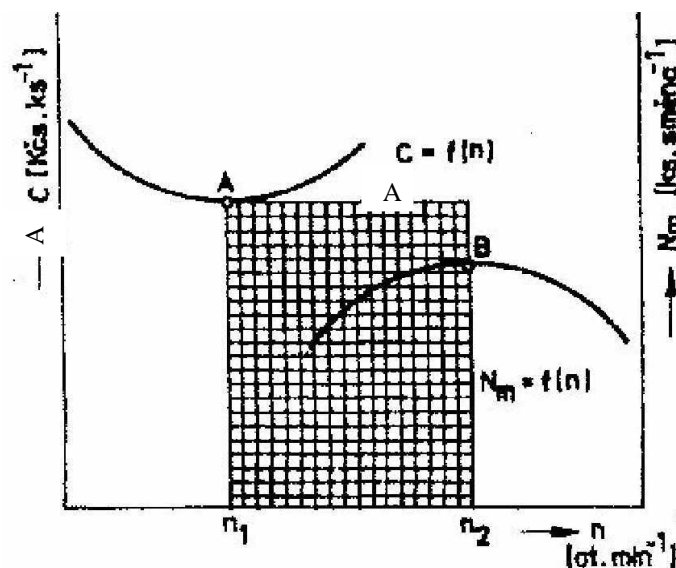
2.4 Ekonomika vrtání

Ekonomika výroby děr je spojována s trvanlivostí břitu definované časem, během kterého nástroj pracuje od svého naostření až po dosažení kritéria otupení břitu. Stav otupení lze hodnotit z hlediska technologického nebo ekonomického.

Z technologického hlediska se břit považuje za otupený, není-li nástroj schopen obrábět dále danou plochu v požadované jakosti.

Z ekonomického hlediska se hodnotí optimální otupení břitu buď z hlediska maximální životnosti, nebo je vztaženo na podíl nákladů na nástroj připadající na obrobení jednoho kusu.

Z průběhu nákladů a výrobnosti v závislosti na otáčkách (Obr. 41) plyne, že správně volené otáčky mají být v rozmezí od n_1 do n_2 . Klademe-li důraz na hospodárnost, volíme otáčky blíže k n_1 . Požadujeme-li vyšší výrobnost, volíme otáčky, které se budou blížit otáčkám n_2 .



Obr 41. Průběh nákladů a výrobnosti v závislosti
na otáčkách vřetene. [6]

n_1 ...otáčky vřetene stroje, které odpovídají min. nákladům na výrobu jedné součástky

n_2 ...otáčky vřetene stroje, při kterých je výrobnost stroje maximální

Při odvozování vztahu pro optimální trvanlivosti řezné hrany nástroje pro minimální náklady, tj. dosažení hospodárneho úběru, vycházíme z přímých nákladů na obrobení jednoho dílce A:

$$A = t_{AS} \cdot \frac{E}{60} \cdot \frac{B}{Q} \quad (15)$$

Lze vztah (15) upravit, aby náklady byly funkcí trvanlivosti. Musíme však za t_{AS} a Q dosadit:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot p}{n \cdot s \cdot h} = \frac{L \cdot p \cdot D \cdot \pi}{v \cdot 10^3 \cdot s \cdot h} = \frac{L \cdot p \cdot D \cdot \pi}{c_v \cdot h \cdot s \cdot 10^3} \cdot T^{1/m} = c_o \cdot T^{1/m} \quad (16)$$

$$Q = \frac{T}{\lambda \cdot t_{AS}} = \frac{1}{c_o \cdot \lambda \cdot T^{(1/m-1)}} \quad (17)$$

$$\lambda = \frac{l}{L} \quad (18)$$

$$A = c_o \cdot \frac{E}{60} \cdot T^{1/m} \cdot B \cdot \lambda \cdot c_o \cdot T^{(1/m-1)} \quad (19)$$

A..... přímé náklady na obrobení 1 kusu [Kč/ks]

t_{AS} čas automatický strojní [min]

E.....náklady na 1 hodinu práce stroje [Kč/hod]

B..... náklady na použití jednoho břitu [Kč/břit]

Q..... počet dílců obrobených mezi výměnami nástroje [ks]

l..... délka obráběné plochy [mm]

L.....celková délka, kdy je zapnut strojní posuv [mm] [6]

2.5 Tuhost vyvrtávací tyče

Na geometrickou i rozměrovou přesnost vyvrtané díry má značný vliv tuhost vyvrtávací tyče a nástroje. Tuhost vyvrtávací tyče závisí, kromě způsobu jejich upnutí, na použití materiálu tyče.

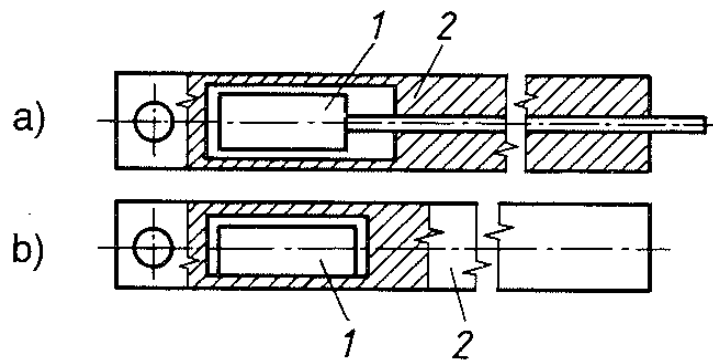
Při vyvrtávání přesných rozměrů musíme dbát na tzv. štíhlostní poměr, při jehož překročení narážíme na pevnou překážku v podobě samobuzeného chvění soustavy. Na rozdíl od chvění vynuceného, které známe např. z obrábění přerušovaných řezů, samobuzené chvění při vyvrtávání je iniciováno pravděpodobně samotnou podstatou řezného procesu. V oblasti střižné roviny před břitem dochází k člankování třísky ve velmi vysoké frekvenci. Tím vzniká i stejně frekvenčně nestejněměrná velikost řezné síly s doprovodným rozkmitáním tyče ve vlastních cyklech soustavy. Při délkách tyčí s poměrem l nižším než udává tabulka (Tab. 2), je tato iniciace chvění utlumena.

Pokud použijeme provedení tyče bez speciálních tlumících mechanismů, mění se přípustný poměr délka/průměr s tyče. Jak ukazuje tabulka (Tab. 2), můžeme změnou materiálu délku tyče prodloužit v řádu 100% – 300% proti tyči ocelové: [11]

Tab. 2. Prodloužení tyče v závislosti na modulu pružnosti. [11]

materiál tyče	ocel	těžký kov	slinutý karbid
Reálný poměr l (Poměr délky vyložení a kritického průměru tyče)	4	9	12
Modul pružnosti v tahu E [MPa]	1,9-2,4x10 ⁵	3,5x10 ⁵	4,5-7x10 ⁵

Existují také pro zvýšení štíhlostního poměru tzv. dynamické absorbéry kmitů (tlumiče) (Obr. 42), které jsou umístěny do vyvrtávací tyče. [4]



Obr. 42. Dynamické absorbéry kmitů vyvrtávací tyče [4]

a) laděný tlumič, b) rázový tlumič,

1 – tlumič, 2 – těleso vyvrtávací tyče

Důvod rozdílné tuhosti tyče vlivem materiálu je, že mají různý modul pružnosti. Charakter namáhání vrtací tyče lze přirovnat k letmo vetknutému nosníku kruhového průřezu zatíženého na konci silou F , která je zjednodušeně vzata kolmá na osu.

Síla F namáhá nosník ohybovým momentem $M_o = F \times L$ a zároveň posunem ve svém směru, který ale můžeme pro náš případ zanedbat. Ohybový moment vytváří tahové a tlakové napětí σ (sigma) především v krajních vláknech nosníku s největší hodnotou v místě kritického průřezu (20), zde tedy v místě změny průměrů.

$$\sigma = F/S_0 \quad [\text{Mpa}] \quad (20)$$

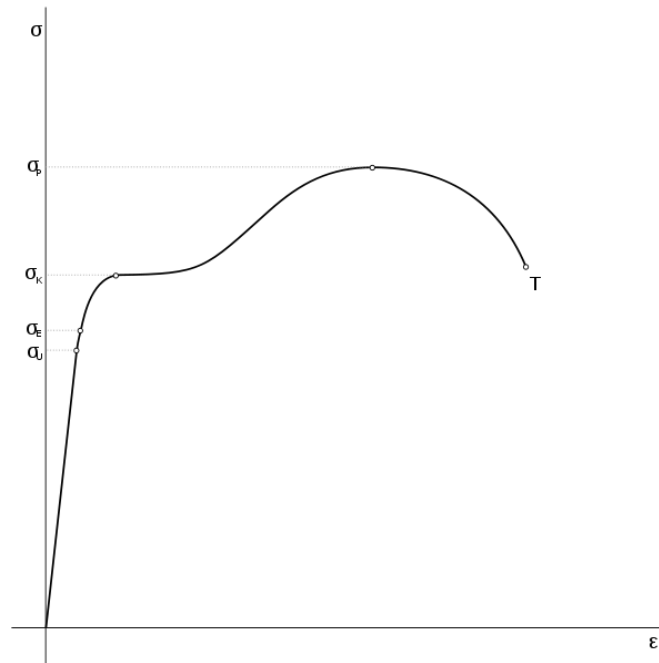
Fzatěžující síla,

S_0 počáteční průřez zkušební tyče

Pro vysvětlení deformačního chování kovů se využívá nejčastěji tzv. tahového diagramu (Obr. 43). Pro náš případ vrtací tyče nás zajímá pouze oblast deformace pružné. To znamená, že se tyč po odlehčení vrací do původního tvaru (chová se jako pružina). V této oblasti je závislost napětí na relativní deformaci lineární a popisuje ji tzv. Hookův zákon (21):

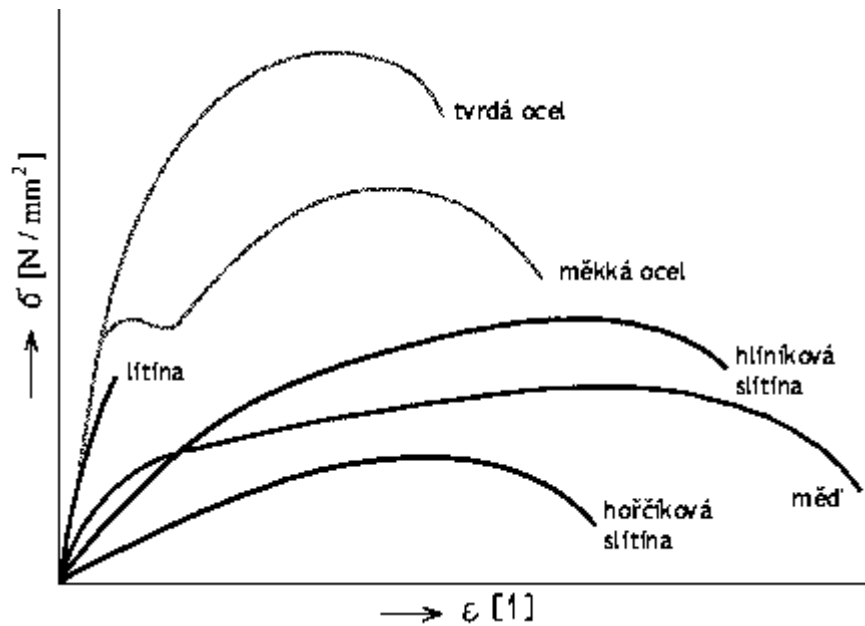
$$E = \sigma/\varepsilon \quad [\text{Mpa}] \quad (21)$$

E Modul pružnosti materiálu v tahu



Obr. 43. Tahový diagram [12]

Pro oceli používáme hodnotu modulu 2,1. 105 MPa (210 GPa). Změnit tuto velikost při konvenční metalurgické výrobě oceli např. přidáním wolframu jako legujícího prvku má velmi omezené možnosti, protože ocel, tuhý roztok uhlíku v železe, naráží na malou „vazební schopnost“ železa. Rovněž lidová tvořivost vylepšování tuhosti tyče kalením, cementováním, nitridováním prakticky nezmění modul pružnosti oceli. Jako důkaz nám poslouží obrázek (Obr. 44), kde sice vidíme výrazný rozdíl pevnosti v tahu u měkké a tvrdé oceli, ale to je oblast trvalých deformací. Oblast elastická, a tedy i modul pružnosti jsou u obou různě pevných ocelí pro naše rozlišení totožné.



Obr. 44. Tahový diagram měkkých a tvrdých ocelí [11]

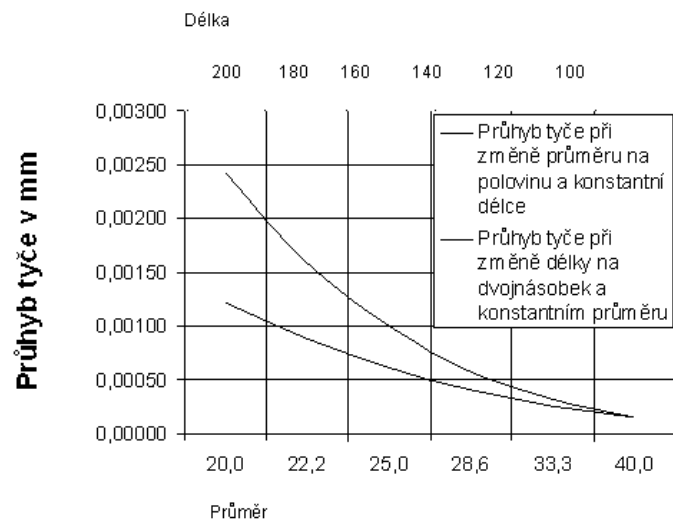
Dosažené výsledky jsou kvalitně vyvrtané otvory v předepsaném rozměru a drsnosti obrobené plochy. Jestliže pojem tuhost tyče nahradíme jejím průhybem při obrábění, můžeme ze vztahu (22), (23) vyhodnotit veličiny, jejichž změněním výsledky ovlivňujeme.

$$w = F \cdot l^3 / 3 \cdot E \cdot J \quad [\text{mm}] \quad (22)$$

$$J = \pi \cdot d^4 / 64 \quad [\text{mm}^4] \quad (23)$$

Vedle modulu pružnosti E , o kterém již byla řeč, nás budou zajímat rozměry d^4 a l^3 . Především jejich exponenty. Právě ony totiž změnění tu příjemnou lineární závislost „čím více, tím více“ na závislost exponenciální. Tady si již musíme vypomoci grafem (Obr. 45).

Při praktickém každodenním řešení problematiky vyvrtávání načisto nám může pomoci poznání vlivu materiálu a rozměrů nástroje. Pokud pro důkaz zmenšíme délku na polovinu, zvýší se tuhost 8x. Zvětšení průměru na dvojnásobek přinese zvýšení tuhosti dokonce 16x. Pokud rozměry změnit nemůžeme, nezůstává než změnit materiál vyvrtávací tyče. [11]



Obr. 45. Závislost průhybu tyče na průmětu a délce [11]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍLE A CHARAKTERISTIKA PRAKTICKÉ ČÁSTI

3.1 Cíle praktické části

Převážná část této Bakalářské práce byla prováděna v laboratořích, kde bylo zapotřebí naměřit hodnoty a pak je dále zpracovávat. Měření se uskutečnilo na vrtačce a vrtalo se do třech různých materiálů. Cíle práce jsou:

- vyjádření závislosti osové síly na řezné rychlosti
- vyjádření závislosti osové síly na rychlosti posuvu
- porovnání sil při zvětšování děr šroubovým vrtákem a vyvrtávacím nástrojem

3.2 Charakteristika

Zde budou přiblíženy prostředky, které byly použity pro měření a jejich následné vyhodnocení

3.2.1 Stroj

Pro měření osové síly bylo podmínkou, aby použitý stroj měl automatický posuv. Proto byla použita převodová vrtačka B40 GSM (obr. 46). Technické parametry jsou uvedeny v tabulce (Tab.3.).

Tab. 3. Technické parametry převodové vrtačky

Celkový příkon	3x400, 1,5kW, ~50Hz
Uložení vřetene	MK4
Posuv pinoly [mm/ot.]	0,1 a 0,2
Výška [mm]	2220
Hloubka [mm]	730
Šířka [mm]	560
Velikost stolu [mm]	560 x 560
Celková hmotnost [kg]	460
Otáčky [ot./min.]	50 - 1450
Počet stupňů	18
Pracovní prostor	
Výška [mm]	2400
Hloubka [mm]	1800
Šířka [mm]	1400



Obr. 46 Převodová vrtačka B40 GSM

3.2.2 Nástroj

Abychom mohli určit závislosti u měření, bylo použito více nástrojů.

Pro vrtání to byly:

- šroubovité vrtáky o průměrech $d = 5\text{mm}$, $d = 6\text{mm}$, $d = 8\text{mm}$, $d = 10\text{mm}$, upnutých ve sklíčidle.

Pro zvětšování díry:

- šroubovité vrtáky o průměrech $d = 9\text{mm}$, $d = 9,5\text{mm}$, $d = 10\text{mm}$, $d = 10,5\text{mm}$, $d = 12\text{mm}$, upnutých ve sklíčidle.
- vyvrtávací nůž upnutý ve vyvrtávací hlavě s mikrometrickým stavěcím šroubem pro přesné nastavení polohy nástroje

3.2.3 Obrobek

Pro porovnání řezných sil bylo zapotřebí, aby obrobky měly jiné vlastnosti. Proto byly vr-
tány a vyvrtávány díry do třech různých materiálů (Obr. 47):

- Ocel 12 020
- Polypropylen (PP)
- Polymethylmetakrylát (PMMA)



a)

b)

c)

Obr. 47. Zkoušený materiál: a) Ocel, b) Polypropylen, c) Polymethylmetakrylat

Jejich základní technické údaje jsou zaznamenány v tabulce (Tab. 4).

Tab. 4. Základní technické údaje

	Ocel	Polypropylen	Polymethylmetakrylat
Teplota tání T_m [°C]	1350-1450	170	170
Teplota skelného přechodu T_g [°C]		-25	100
Hustota ρ [kg/m ³]	7400 - 8000	905—912	1180
Modul pružnosti E [MPa]	220000	1 100—1 500	1400
Mez pevnosti σ_t [MPa]	380-750	34—38	67-70

3.2.4 Měřící sestava

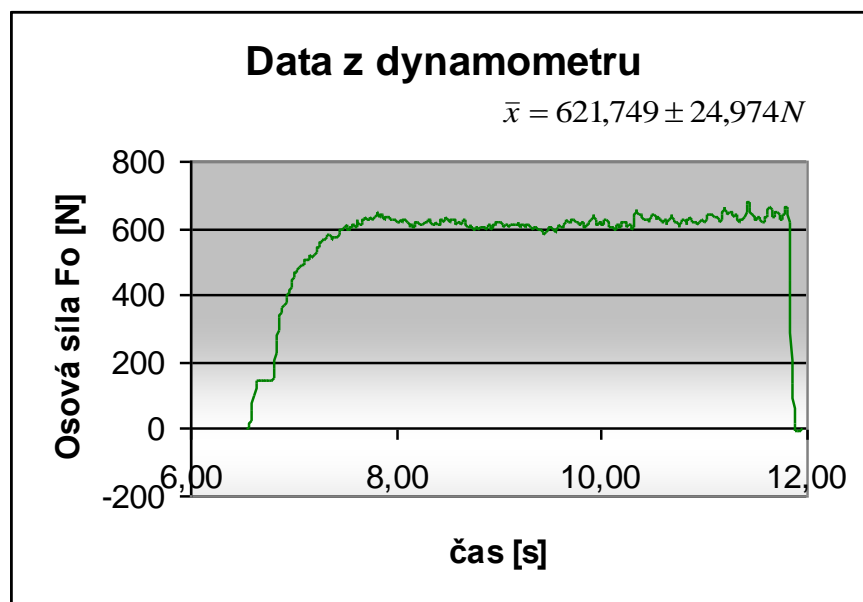
Používaný přístroj na měření osově síly byl dynamometr s drátkovými tenzometry (Obr. 48), který přenášel data do postprocesoru a dále do počítače, kde pak byly zpracovány.



Obr. 48. Dynamometr na měření pasivní složky při vrtání

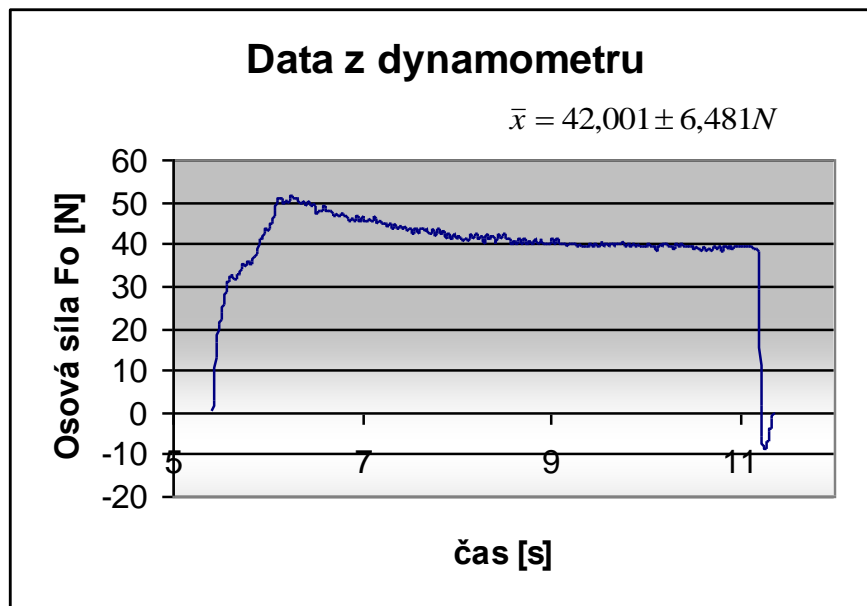
4 OSOVÁ SÍLA A JEJÍ ZÁVISLOST PŘI VRTÁNÍ

Vrtalo se čtyřmi různými velikostmi vrtáku do plného materiálu za různých technologických podmínek. Měnila se řezná rychlost a posuvová rychlost. Pro názornost, jak se měnila osová síla při řezném procesu u všech třech materiálů, tady byla vložena data z dynamometru graficky zobrazena.

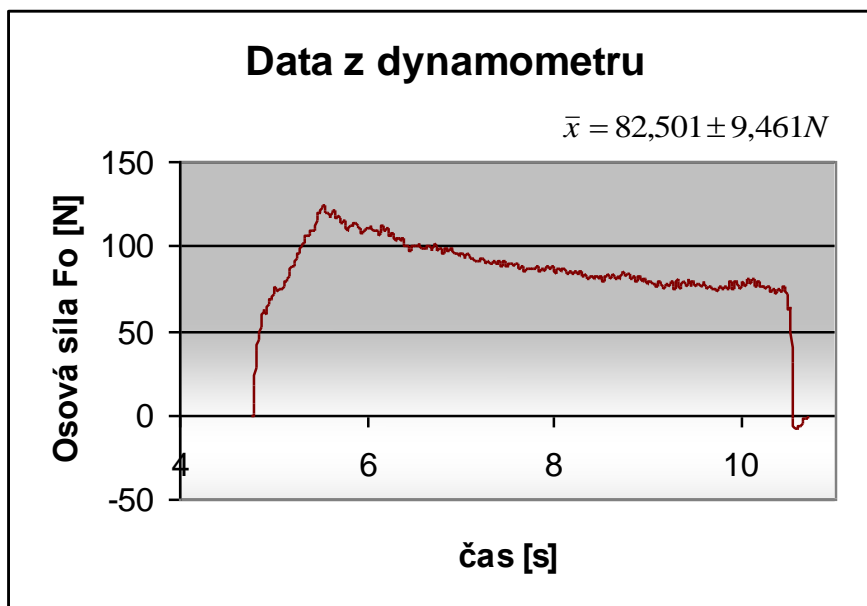


Obr. 49. Vrtání do kovu šroubovým vrtákem o $\varnothing 6\text{mm}$, $f = 0,1\text{mm/ot}$, $v_c = 19,132\text{m/min}$

U kovu (Obr. 49) je zřejmé z grafu, že síla při vrtání nijak výrazně nezměnila.



Obr. 50. Vrtání do polypropylenu šroubovým vrtákem o $\varnothing 6\text{mm}$, $f = 0,1\text{mm/ot}$, $v_c = 19,132\text{m/min}$

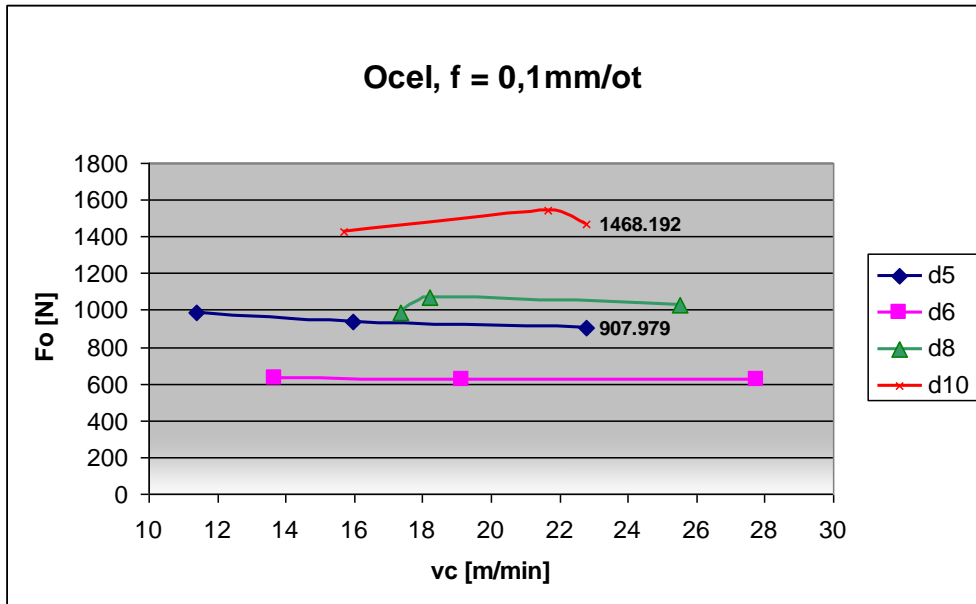


Obr. 51. Vrtání do PMMA šroubovým vrtákem o $\varnothing 6\text{mm}$, $f = 0,1\text{mm/ot}$, $v_c = 19,132\text{m/min}$

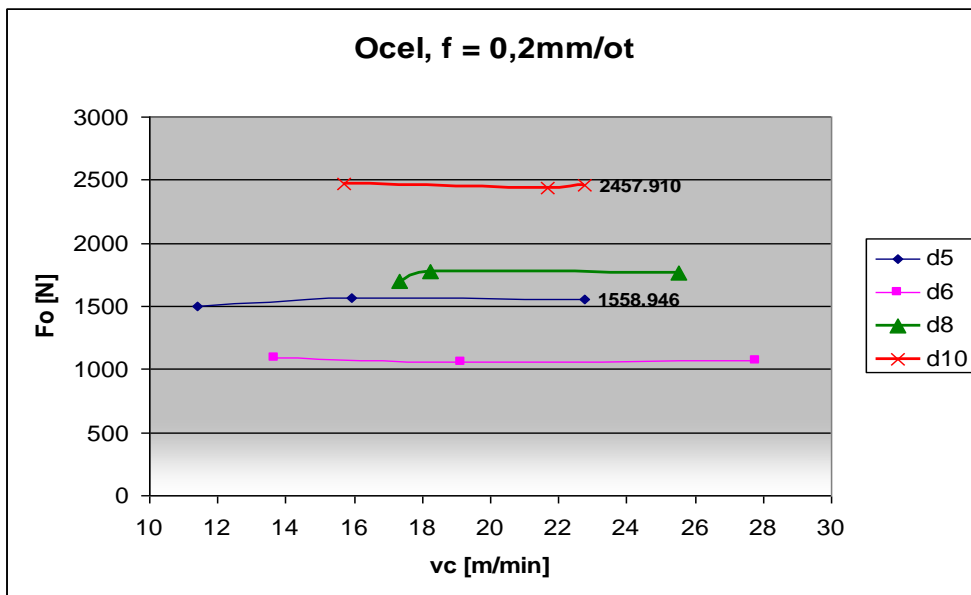
U plastů (Obr. 50), (Obr. 51) však síla při zavrtání byla veliká, a při dalším prohlubování díry síla postupně klesala. Oproti vrtání oceli se liší řádově o stovky newtonu.

4.1 Závislost osové síly na řezné rychlosti

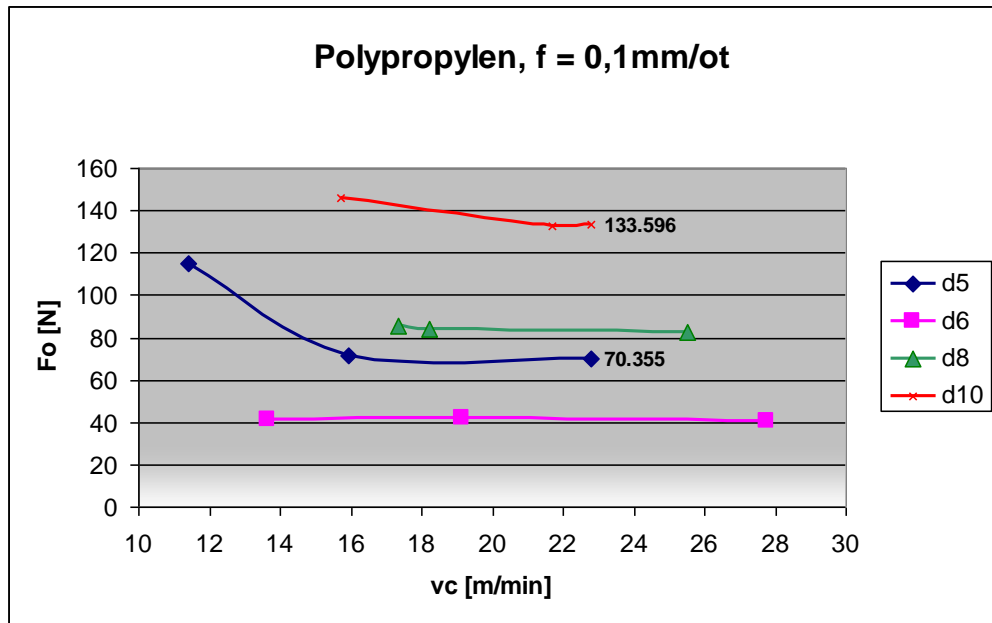
Zde jsou vyhodnoceny jednotlivé průměry za konstantního posuvu:



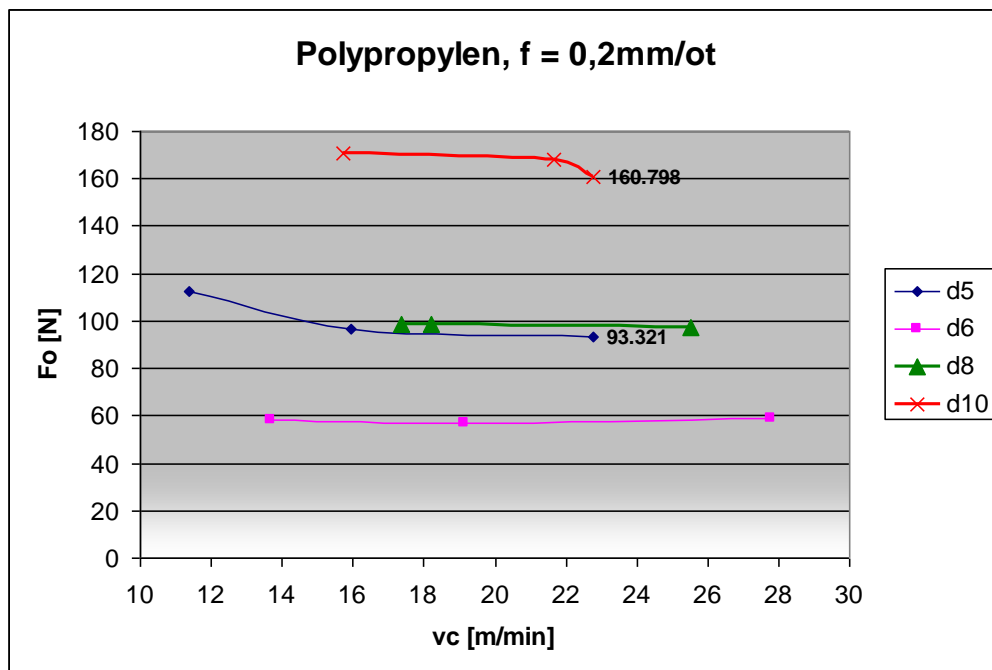
Obr. 52. Vyhodnocená data při vrtání do oceli rychlostí posuvu $f = 0,1$ mm/ot



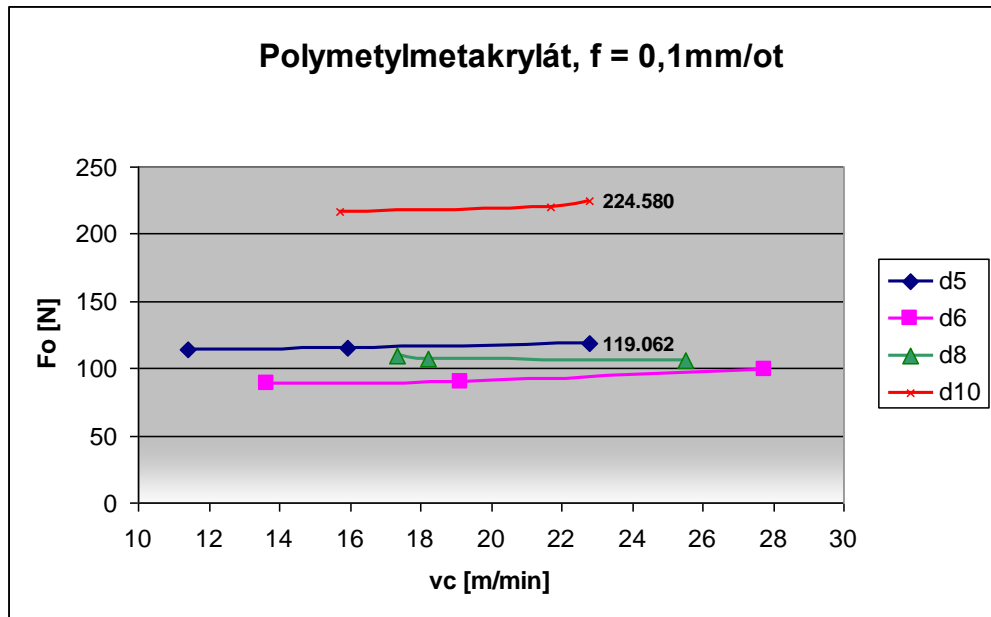
Obr. 53. Vyhodnocená data při vrtání do oceli rychlostí posuvu $f = 0,2$ mm/ot



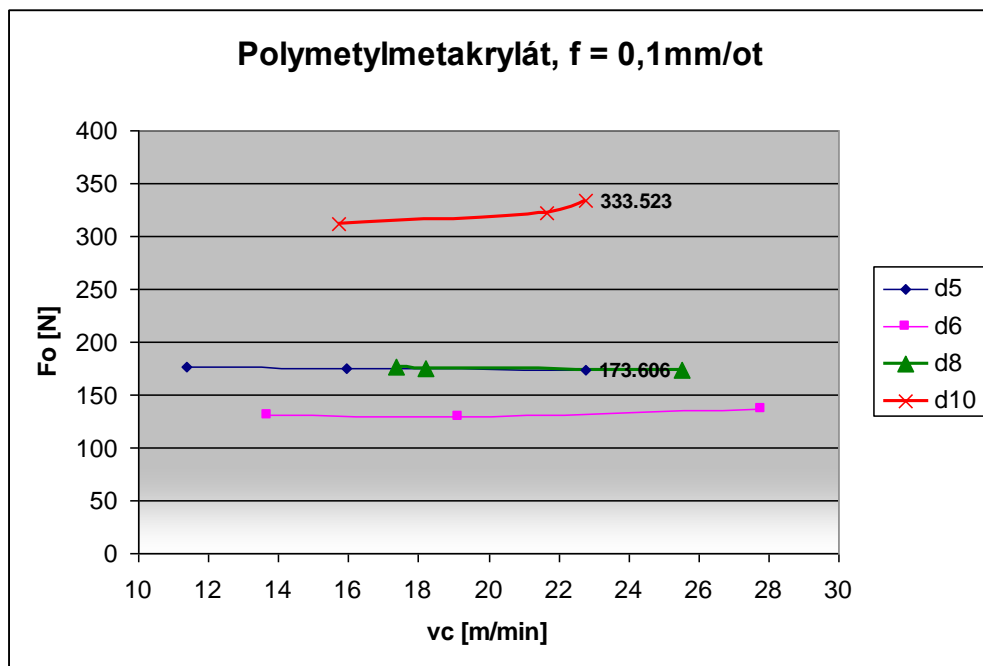
Obr. 54. Vyhodnocená data při vrtání do PP rychlostí posuvu $f = 0,1\text{ mm/ot}$



Obr. 55. Vyhodnocená data při vrtání do PP rychlostí posuvu $f = 0,2\text{ mm/ot}$



Obr. 56. Vyhodnocená data při vrtání do PMMA rychlostí posuvu $f = 0,1$ mm/ot



Obr. 57. Vyhodnocená data při vrtání do PMMA rychlostí posuvu $f = 0,2$ mm/ot

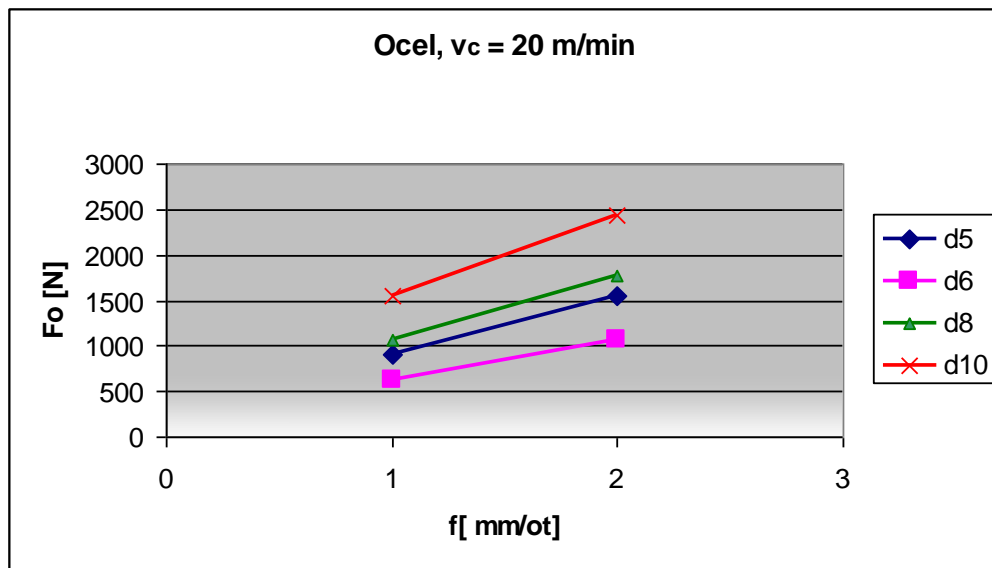
Z grafů je vidět, že při zvyšování řezné rychlosti se osová síla nijak výrazně nemění, a však se změnou průměru vrtané díry a změnou materiálu se mění také síla.

Čím větší je průměr vrtaného otvoru, tím větší je i osová síla působící proti posuvu vrtáku. Toto pravidlo neplatí u otvoru vrtaného šroubovitým vrtákem o $\varnothing 5\text{mm}$, zřejmě z důvodu nenabroušené řezné hrany nástroje.

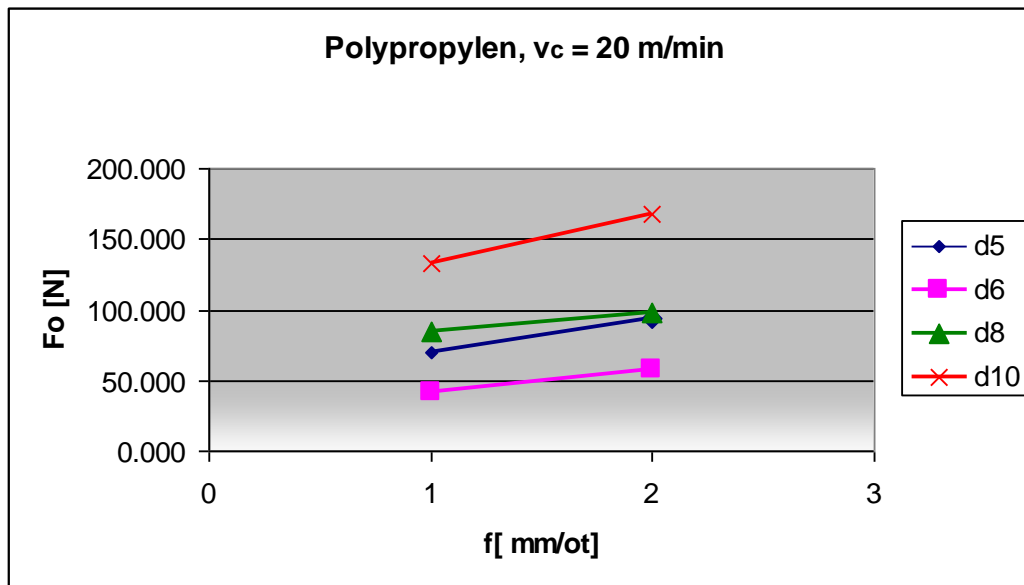
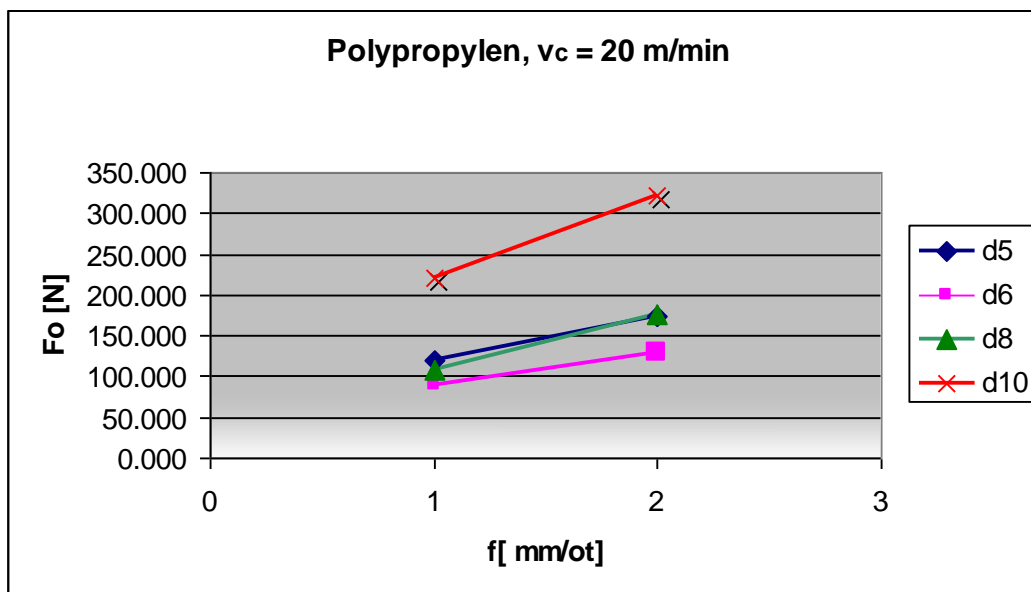
U oceli jsou pasivní síly největší, kde dosahují sil téměř 2500N, dále pak asi 8x menší jsou u polymethylmetakrylátu. Nejmenší síly byly naměřeny u polypropylenu. Dosahují zde hodnot ještě 2x menších než má PMMA.

4.2 Závislost osová síly na posuvu

V tomto případě jsou vyhodnoceny průměry za přibližně stejné řezné rychlosti. Totožnou rychlost ke všem průměrům vrtáků nelze na převodové vrtačce nastavit.



Obr. 58. Vyhodnocená data při vrtání do oceli řeznou rychlostí $v_c \approx 20 \text{ m/min}$

Obr. 59. Vyhodnocená data při vrtání do PP řeznou rychlostí $v_c \approx 20$ m/minObr. 60. Vyhodnocená data při vrtání do PMMA řeznou rychlostí $v_c \approx 20$ m/min

Změna rychlosti posuvu měla značný vliv na osové síly. U všech tří materiálů se při zvýšení rychlosti posuvu z $f = 0,1$ mm/ot na $f = 0,2$ mm/ot zvětšuje pasivní síla řádově o 20 – 55%. Závisí na \varnothing vrtané díry.

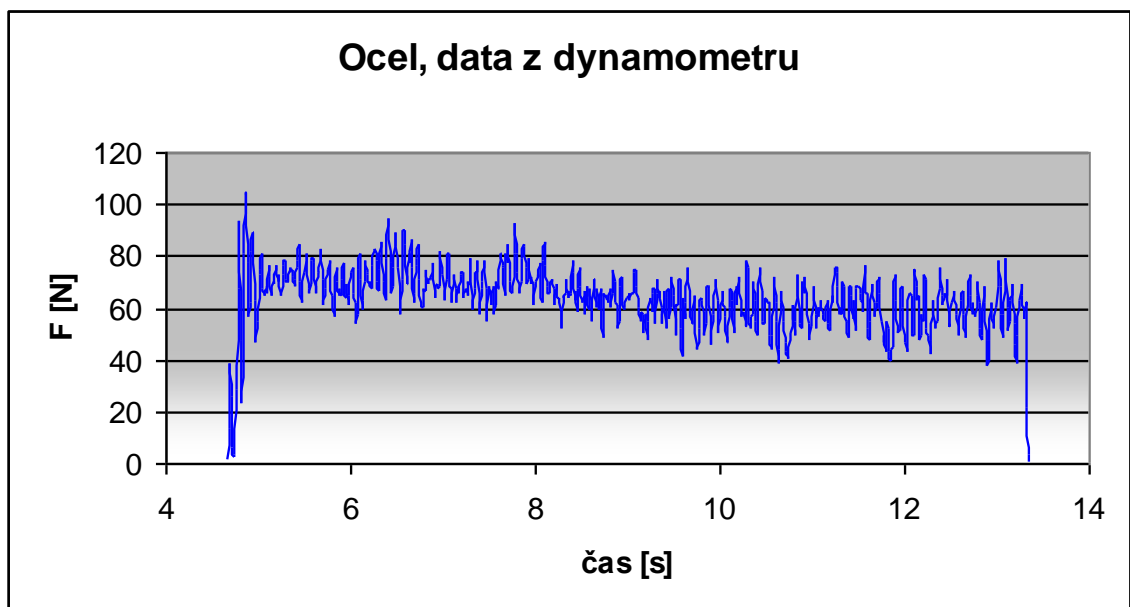
5 ZÁVISLOST OSOVÉ SÍLY NA TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNKÁCH PŘI VYVRTÁVÁNÍ

Před samotným zvětšováním otvorů byla do materiálu vytvořena díra o průměru 9mm šroubovým vrtákem, která se pak dále zvětšovala. Vyvrtávání děr bylo prováděno 2 způsoby:

- 1) Sadou zvětšujících se šroubových vrtáků - díry byly zvětšovány postupně o 0,5mm a nakonec o 1,5mm.
- 2) Vyvrtávacím nožem - otvory se postupně zvětšovaly pouze o 0,5mm.

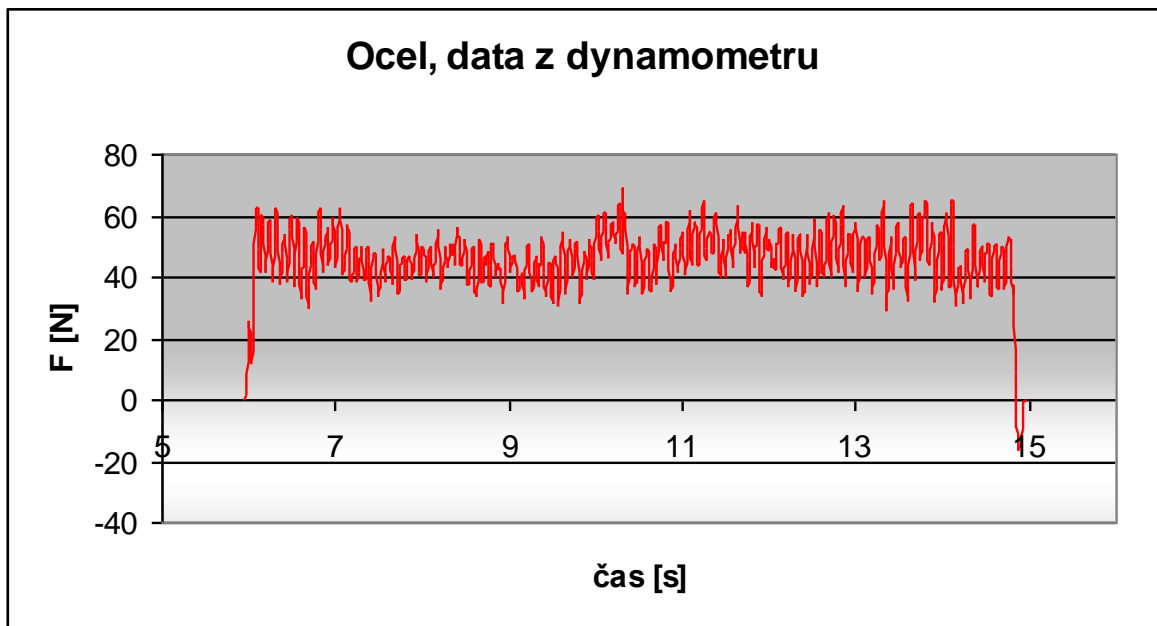
U vyvrtávání vyvrtávacím nástrojem nebylo možné zvětšit díru u oceli najednou o 1,5mm, hrozilo by totiž ulomení špičky nože.

Pro představu tady byly vloženy data z dynamometru, které představují závislost řezné síly v průběhu řezného procesu.



Obr. 61. Vyvrtávání oceli šroubovým vrtákem z $\varnothing 9,5\text{mm}$ na 10 mm, $f = 0,1\text{mm/ot}$

Rozdíl mezi začátkem a koncem vyvrtávacího procesu je znatelný. Způsobují to značné doprovodné jevy. Vrtání šroubovým vrtákem je tím charakteristické.

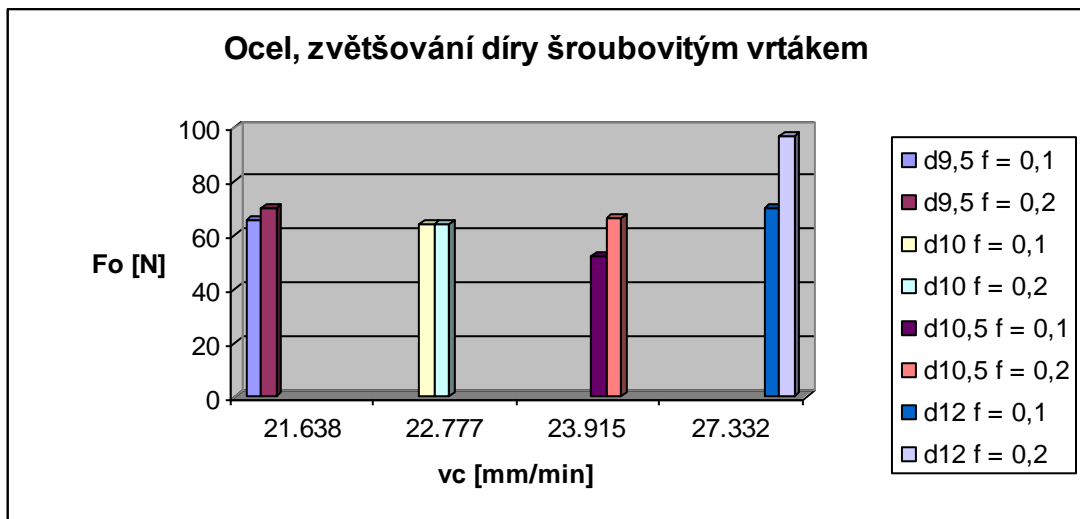


Obr. 62. Vyrvtávání oceli vyvrtávacím nástrojem z $\varnothing 9,5\text{mm}$ na 10 mm , $f = 0,1\text{mm/ot}$

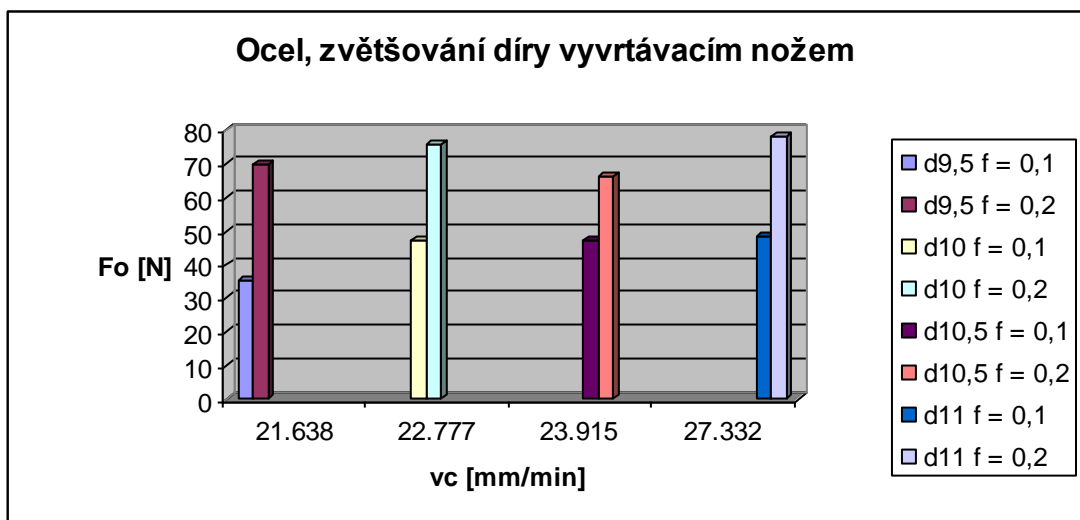
Síly jsou v průběhu zvětšování díry vyvrtávacím nástrojem velice podobné.

5.1 Porovnání sil při vyrvtávání děr šroubovým vrtákem a vyvrtávacím nástrojem

Dále se pak zpracovaly údaje z dynamometru, ze kterých byly graficky zpracovány závislosti pasivní síly na rychlosti posuvu, za mírně stoupajících řezných rychlostí. Řezné rychlosti nelze nastavit stejné, jelikož to možnosti vrtačky nedovolují.

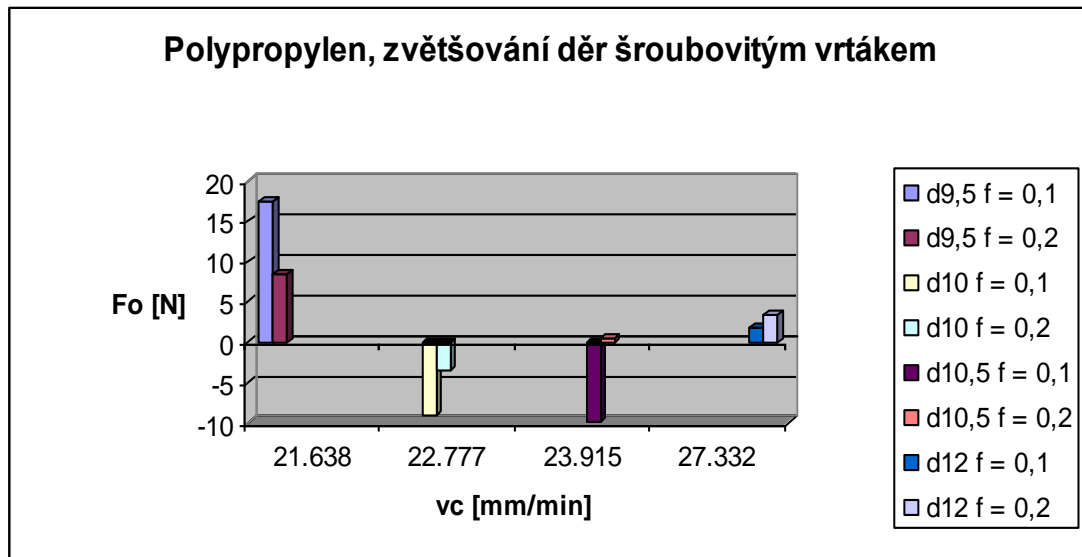


Obr. 63. Vyvrtávání otvorů šroubovým vrtákem do oceli

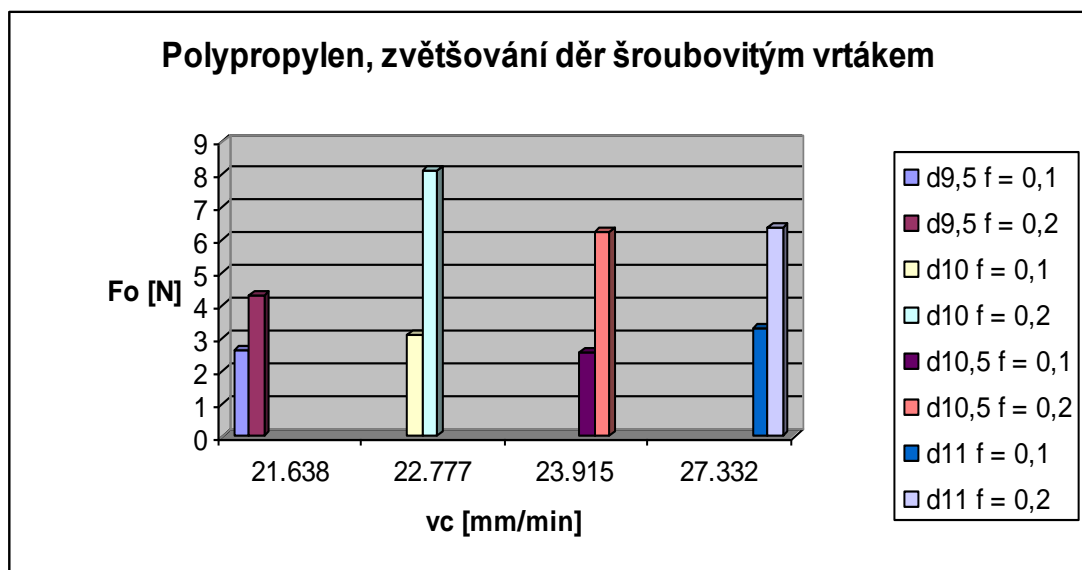


Obr. 64. Vyvrtávání otvorů vyvrtávacím nástrojem do oceli

Oba způsoby vyvrtávání mají menší síly při posuvu $f = 0,1 \text{ mm/ot}$, z toho u vyvrtávání vyvrtávacím nástrojem jsou tyto rozdíly mezi rychlostmi posuvu značné.

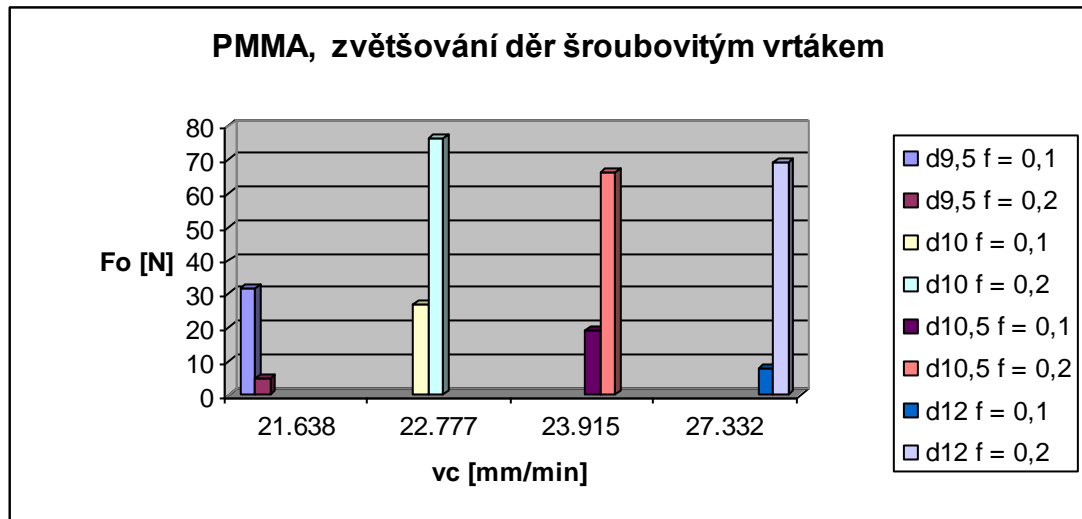


Obr. 65. Vyvrtávání otvorů šroubovitým vrtákem do PP

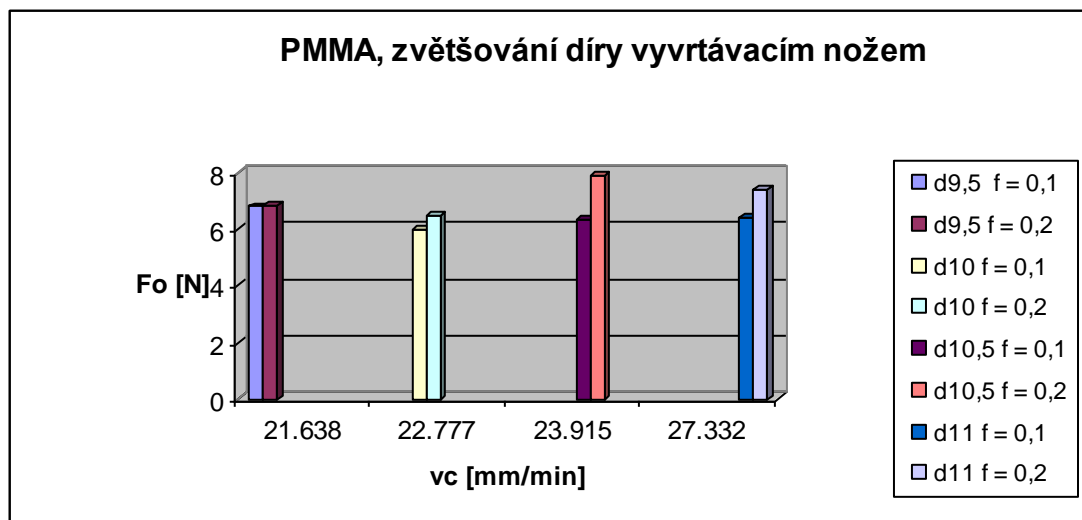


Obr. 66. Vyvrtávání otvorů vyvrtávacím nástrojem do PP

U obr. 65 lze vidět, že pasivní síly se vyskytují i v záporných hodnotách. Důvodem je zřejmě nesprávně nabroušené vrtáky nebo taky vlastnosti PP.



Obr. 67. Vyvrtávání otvorů šroubovým vrtákem do PMMA



Obr. 68. Vyvrtávání otvorů vyvrtávacím nástrojem do PMMA

Značné rozdíly sil mezi rychlostmi posuvu (Obr. 67) jsou způsobeny především tím, že úhel hřbetu vrtáku není pro daný materiál dostatečně velký, a mezi vrtákem a obrobkem dochází k velkému tření.

ZÁVĚR

Po vyhodnocení měření byly zjištěny následující výsledky:

- V průběhu řezného procesu při vrtání šroubovým vrtákem do plna byla na začátku procesu síla největší, však po následném zavrtání síla mírně poklesla. Tenhle jev je způsobený úlem hřbetu, který se mění od středu vrtáku směrem k obvodu.
- Řezná síla při vrtání se zvyšuje s rostoucím průměrem vrtáku a se zvětšujícím se posuvem. Změna řezné rychlosti v daném rozsahu (12mm/min – 28mm/min) příliš neovlivňuje osovou sílu.
- V porovnání osově síly mezi druhy materiálu je značné. U polymethylmetakrylátu je za stejných řezných podmínek síla přibližně 2x větší než u polypropylenu, a u oceli je to až 8x větší než u PMMA.
- Řezná síla při vyvrtávání jednotlivých děr se mění v závislosti na rychlosti posuvu a na způsobu vyvrtávání.

U šroubových vrtáků výsledky malých sil byly hodně zkreslené. Jedním z důvodů je i otupení ostří vrtáku, nevhodná geometrie, způsob ostření atd.

U vyvrtávacího nástroje jsou výsledky jednoznačnější. Jeto také tím, že pro zvětšování díry je používáno stejného nástroje, který se nastavuje mikrometrickým šroubem na požadovaný průměr.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] JURKO, Jozef. LUKOVICS, Imrich. Víťanie : Technologická metóda výroby dier. UTB ve Zlíně, 2007. 191 s.
- [2] Vlach, Bohumil,. Technologie obrábění a montáží. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1990. 464 s.
- [3] KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav . *Technologie obrábění*. 2. vyd. Olomoučany : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2005. 270 s.
- [4] Řasa, Jaroslav. Strojírenská technologie 3. : Metody, stroje a nástroje pro obrábění / . 2. vyd. Praha : Scientia, 2005. 256 s.
- [5] LIEMERT, G. DRÁBEK, F. ONDRA, J. VAVŘÍK, I. Obrábění. Praha : SNTL, 1974. 351 s.
- [6] Kocman, Karel,. Speciální technologie : obrábění / . 3., přeprac. a dopl. vyd. Brno : CERM, 2004. 227 s.
- [7] Slanař, Václav,. Technické kreslení : pravidla pro tvorbu strojnických výkresů podle mezinárodních norem / . 2. vyd. Písek : J & M, 1999. 156 s.

Internetové zdroje:

- [8] *Wikimedia.org* [online]. 14.04.2008 [cit. 2010-01-06]. Bow Drill. Dostupné z WWW: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bow_Drill.png>.
- [9] 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>.
- [10] *Kistler.com* [online]. 2005 [cit. 2010-03-04]. Kistler Product Finder, Acceleration. Dostupné z WWW: <http://www.kistler.com/cz_cz-cz/135_Productfinder_Acceleration/A1000.9275.5/Torque-Dynamometer-200-Nm.html>.
- [11] *Tgs.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-01-10]. Průhyb vyvrtávací tyče. Dostupné z WWW: <http://tgs.cz/cs/Obrabeni.ep/158_171-pruhyb-vyvrtavaci-tyce---teorie/1/>.

[12] *Wikipedia.org* [online]. 21.3.2009 [cit. 2010-05-17]. Soubor:Napeti_ocel. Dostupné z WWW: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Napeti_ocel.svg >

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

v_c	[m/min]	Řezná rychlost
H	[mm]	Hrot na řezné části nástroje
f	[mm]	Posuv
d	[mm]	Průměr vrtáku
v_f	[mm/min]	Rychlost posuvu
n_c	[min ⁻¹]	Otáčky za minutu
a _p	[mm]	Hloubka řezu
b	[mm]	Šířka třísky
κ_r	[°]	Úhel nastavení hlavní řezné hrany
h	[mm]	Hloubka odřezávané vrstvy
C_{F_c}, C_{F_f}		konstanta určena druhem a vlastnostmi materiálu a geometrie nástroje
F_c, F'_c	[N]	Tangenciální složky řezné síly
F_p, F'_p	[N]	Radiální složky řezné síly
F_f, F'_f	[N]	Posunové (axiální) složky řezné síly
F ₀	[N]	Osová síla
M _k	[Nm]	Kroutící moment
d ₀	[mm]	Průměr jádra vrtáku
h _c	[mm]	Hloubka třísky
K		Stlačení třísky

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Tvar nástroje z kamene pro výrobu děr [1].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2. Základní principy vrtání [8].....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3. Šroubovitý vrták [2].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 4. Základní operace vrtání [1].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 5. Zóna řezání a oblast plastické deformace [1].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 6. Kinematika vrtacího procesu [3].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 7. Průřez třísky při vrtání do plna a označení parametrů vrtání [1].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 8. Řezné síly při vrtání [1].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 9. Oblast plastických deformací v odřezávané vrstvě při ortogonálním řezání [9]...</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 10. Zjednodušený model tvorby elementů třísky při ortogonálním řezání [9].....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 11. Nárůstek na břitu vrtáku [1].....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 12. Příklady rotačních ploch vytvořené vyvrtáváním [3].....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 13. Dvoubřité vyvrtávací tyče s prodlužovacími nástavci [4].....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 14. Způsoby vyvrtávání [2].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 15. Způsoby upínání vyvrtávacích nožů do vyvrtávacích tyčí [4].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 16. Upnutí vyvrtávací tyče [4].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 17. Upnutí vyvrtávací tyče s kloubem [2].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 18. Kinematika vyvrtávání [3].....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 19. Adhezní opotřebení.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 20. Abrzivní opotřebení.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 21. Erozivní opotřebení.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 22. Kavitační opotřebení.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 23. Únavové opotřebení.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 24. Vibrační opotřebení.....</i>	<i>31</i>

<i>Obr. 25. Opotřebení břitu [3].....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 26. Opotřebení čela ve tvaru žlábků [3].....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 27. Plastická deformace břitu [3].....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 28. Opotřebování hřbetu ve tvaru vrubu [3].....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 29. Hřbenovité trhliny na ostří [3].....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 30. Únavový lom [3].....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 31. Vydrolování ostří [3].....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 32. Křehký lom [3].....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 33. Piezoelektrický snímač sil [5].....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 34. Dynamometr pro určení kroutícího momentu [6].....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 35. Grafické vyjádření Ra</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 36. Grafické znázornění Rz.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 37. Grafické znázornění Ry.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 38. Grafické vyjádření S_m.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 39. Grafické vyjádření S.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 40. Grafické vyjádření t_p [7]</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 41. Průběh nákladů a výrobnosti v závislosti na otáčkách vřetene. [6].....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 42. Dynamické absorbery kmitů vyvrtávací tyče [4]</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 43. Tahový diagram [12].....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 44. Tahový diagram měkkých a tvrdých ocelí [11].....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 45. Závislost průhybu tyče na průmětu a délce [11].....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 46. Převodová vrtačka B40 GSM.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 47. Zkoušený materiál: a) Ocel, b) Polypropylen, c) Polymetylmetakrylat.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 48. Dynamometr na měření pasivní složky při vrtání.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 49. Vrtání do kovu šroubovitým vrtákem o Ø6mm, f = 0,1mm/ot, vc = 19,132m/min.....</i>	<i>54</i>

<i>Obr. 50. Vrtání do polypropylenu šroubovým vrtákem o $\varnothing 6\text{mm}$, $f = 0,1\text{mm/ot}$, $v_c = 19,132\text{m/min}$.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 51. Vrtání do PMMA šroubovým vrtákem o $\varnothing 6\text{mm}$, $f = 0,1\text{mm/ot}$, $v_c = 19,132\text{m/min}$.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 52. Vyhodnocená data při vrtání do oceli rychlostí posuvu $f = 0,1\text{ mm/ot}$.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 53. Vyhodnocená data při vrtání do oceli rychlostí posuvu $f = 0,2\text{ mm/ot}$.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 54. Vyhodnocená data při vrtání do PP rychlostí posuvu $f = 0,1\text{ mm/ot}$.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 55. Vyhodnocená data při vrtání do PP rychlostí posuvu $f = 0,2\text{ mm/ot}$.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 56. Vyhodnocená data při vrtání do PMMA rychlostí posuvu $f = 0,1\text{ mm/ot}$.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 57. Vyhodnocená data při vrtání do PMMA rychlostí posuvu $f = 0,2\text{ mm/ot}$.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 58. Vyhodnocená data při vrtání do oceli řeznou rychlostí $v_c \approx 20\text{ m/min}$.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 59. Vyhodnocená data při vrtání do PP řeznou rychlostí $v_c \approx 20\text{ m/min}$.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 60. Vyhodnocená data při vrtání do PMMA řeznou rychlostí $v_c \approx 20\text{ m/min}$.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 61. Vyvrtávání oceli šroubovým vrtákem z $\varnothing 9,5\text{mm}$ na 10 mm, $f = 0,1\text{mm/ot}$.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 62. Vyvrtávání oceli vyvrtávacím nástrojem z $\varnothing 9,5\text{mm}$ na 10 mm, $f = 0,1\text{mm/ot}$...</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 63. Vyvrtávání otvorů šroubovým vrtákem do oceli.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 64. Vyvrtávání otvorů vyvrtávacím nástrojem do oceli.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 65. Vyvrtávání otvorů šroubovým vrtákem do PP.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 66. Vyvrtávání otvorů vyvrtávacím nástrojem do PP.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 67. Vyvrtávání otvorů šroubovým vrtákem do PMMA.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 68. Vyvrtávání otvorů vyvrtávacím nástrojem do PMMA.....</i>	<i>65</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Důsledky a příčiny změn na povrchu po řezu [1].....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 2. Prodloužení tyče v závislosti na modulu pružnosti. [11].....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 3. Technické parametry převodové vrtačky.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 4. Základní technické údaje.....</i>	<i>52</i>