

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Akademický rok 2012/2013

Adam MAŠEK

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie-technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Silové zatížení šroubovitého vrtáku ve vztahu k makrogeometrii nástroje

Autor: Adam MAŠEK

Vedoucí práce: Ing. Josef SKLENIČKA

Akademický rok 2012/2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském, č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Velké díky patří především vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefu Skleničkovi za vedení, pomoc a ochotu při vypracovávání tématu.

Dále bych chtěl poděkovat RNDr. Světlaně Tomiczkové Ph.D. za odborné konzultace a pomoc ve výpočtových částech práce.

V neposlední řadě děkuji také celé rodině za podporu.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Mašek	Jméno Adam	
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie- technologie obrábění		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Sklenička	Jméno Josef	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Silové zatížení šroubovitého vrtáku ve vztahu k makrogeometrii nástroje		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	48	TEXTOVÁ ČÁST	40	GRAFICKÁ ČÁST	8
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato práce obsahuje základní charakteristiku vrtání a základní nástroje pro výrobu otvorů. Dále se část práce zaměřuje na šroubovitý vrták a na vztah mezi makrogeometrií šroubovitého vrtáku a silové zatížení při vrtání.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Vrtání, šroubovitý vrták, makrogeometrie, silové zatížení, řezná síla, posuvová síla, pasivní síla.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Mašek	Name Adam	
FIELD OF STUDY	Manufacturing processes - technology of metal cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Sklenička	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The load force of a twist drill in relation to macro geometry of a tool		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	48	TEXT PART	40	GRAPHICAL PART	8
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This work contains basic characteristic of drilling and basic tools for holes production. Further the part of work is focused on the twist drill and on the relation between macrogeometry of the twist drill and the load force by drilling.
KEY WORDS	Drilling, twist drill, macrogeometry, load force, cutting force, thrust force, passive force.

Obsah

1 Úvod	3
1.1 Vrtání	3
1.1.1 Cíle práce	3
1.1.2 Definice vrtání, vyvrtávání, vyhrubování, vystružování a zahlubování	4
1.1.3 Způsoby vrtání z hlediska technologie	4
1.1.4 Charakteristika vrtání	7
1.1.5 Strojní čas při vrtání	9
1.1.6 Dělení vrtáků podle technologie, druhu vrtání, konstrukce a geometrie	7
1.1.7 Použití procesních kapalin při vrtání.....	12
1.2 Šroubovitý vrták	13
1.2.1 Popis šroubovitého vrtáku	13
1.2.2 Materiály šroubovitých vrtáků.....	14
1.2.3 Výroba drážek šroubovitých vrtáku z nástrojové oceli	15
1.2.4 Výroba drážek šroubovitých vrtáků ze slinutého karbidu	16
1.2.5 Ostření šroubovitých vrtáků	16
1.2.6 Kuželovitost těla a zesílení jádra vrtáku.....	18
1.2.7 Úprava hrotů vrtáků	18
1.2.8 Děliče břitů šroubovitých vrtáků	19
2 Rozbor současného stavu	20
2.1 Geometrie	20
2.1.1 Nástrojové roviny a úhly	20
2.1.2 Geometrie břítu šroubovitého vrtáku	21
2.1.3 Vlivy nástrojových úhlů na proces obrábění	22
2.1.4 Způsoby určování roviny čela a hřbetu	22
2.1.5 Pracovní úhly	23
2.2 Řezné síly při vrtání	24
2.2.1 Definice řezných sil.....	24
2.2.2 Metody určování jednotlivých složek výsledné řezné síly	24
2.2.4 Měření silových účinků a příslušná zařízení	25
2.2.5 Provedení experimentů.....	26
3 Vyhodnocení teoretických a praktických poznatků	27

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

3.1 Podmínky a příprava experimentu	27
3.1.1 Řezné podmínky, použité zařízení způsob upnutí a obráběcí stroj.....	27
3.1.2 Nástroje vybrané pro experiment	28
3.1.3 Elementy bříty.....	29
3.2 Výsledky experimentu	31
3.2.1 Naměřené silové účinky	31
3.3 Shrnutí výsledků pokusu	34
3.4 Vyjádření závislosti geometrie na velikosti celkové řezné síly.....	35
3.4.1 Vývoj vzorce.....	35
3.4.2 Výsledek vzorce.....	41
4 Závěr	42
Seznam použitých zdrojů	43
Seznam použitých zkratk a symbolů	45
Přílohy.....	49

1 Úvod

1.1 Vrtání

1.1.1 Cíle práce

Cílem práce je vyjádření silových účinků ve vztahu k makrogeometrii šroubovitého vrtáku. Zajímá nás tedy, jakým způsobem bude silově ovlivněno ostří, při změně geometrie nástroje, jaký úhel má největší vliv na danou složku a zda je možné nějakým způsobem odhadnout tento jev. Práce se rozdělí na čtyři kapitoly: Úvod, Rozbor současného stavu, Vyhodnocení teoretických a praktických poznatků a Závěr.

V první kapitole bude definována a popsána technologie vrtání. Dále pak nástroje pro výrobu otvorů a především podrobnější popis šroubovitého vrtáku.

Druhá kapitola se již zúží na dva základní okruhy. Jedním bude geometrie šroubovitého vrtáku a druhým silové účinky na tomto nástroji, zahrnující v sobě způsoby jejich určení, rozkladu a měření.

Třetí kapitola využije znalostí z předchozích částí k rozboru experimentu pro následné jeho další využití v dalších částech práce. Dílčím krokem zde bude také vývoj vzorce, na základě podkladů od vedoucího práce.

Konečně v poslední kapitole bude celkové shrnutí všech dosažených výsledků. Samozřejmě zde mohou být navržena řešení i úvahy pro další kroky v tomto směru.

1.1.2 Definice vrtání, vyvrtávání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

- zpracováno dle [1], [2], [6], [7].

Vrtání je technologie pro výrobu děr v plném materiálu (vrtání z plna). Hlavní řezný pohyb i posuv zpravidla koná nástroj (popřípadě obrobek-soustružení), který většinou bývá dvoubřítý a někdy i jednobřítý popřípadě vícebřítý. Dále do technologie vrtání můžeme zařadit další doprovodné operace jako vyvrtávání, vyhrubování, vystružování a zahlubování.

Vyvrtáváním a vyhrubováním, rozšiřujeme již stávající otvory zhotovené např.: vrtáním, předlitím či předkováním. Nástroje mohou být jednobřité (vyvrtávací nůž), dvoubřité (vrták), nebo mnohobřité (výhrubník).

Vystružování se používá jako speciální dokončovací operace vyvrtávání přesných děr a to s možností využití jednobřité, popřípadě několikabřité nástroje (výstružníky).

Zahlubování je používáno pro zarovnávání čelních ploch, sražení hran, nebo pro rozšíření díry do určité délky. Zahloubení může být válcové, kuželové, nebo tvarové a nástroje se používají několikabřité (záhlubníky).

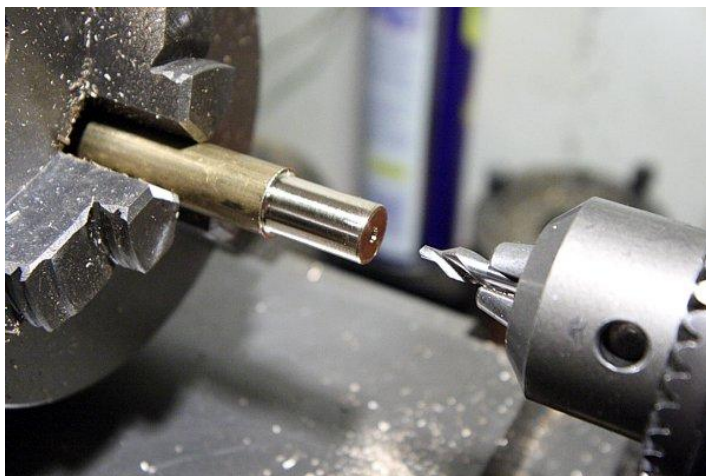
1.1.3 Způsoby vrtání z hlediska technologie

- zpracováno dle [1].

Vrtání můžeme z technologického hlediska dělit na:

a) Navrtávání děr středícím vrtákem do plného materiálu,

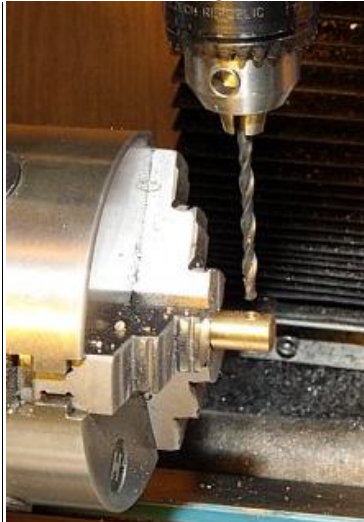
Technologie navrtávání děr je používána pro výrobu středících důlků, nebo při předvrtávání děr pro následné lepší vedení vrtacího nástroje a dosažení lepších přesností.



Obr. 1.1.3-1 Navrtávání děr středícím vrtákem – podle [15]

b) vrtání krátkých děr,

Hranicí vrtání krátkých děr je poměr délky vrtané díry ku průměru vrtáku, tato hodnota se pohybuje v rozmezí $L' \leq 5 \times$ až $10 \times D$.



Obr. 1.1.3-2 Vrtání krátkých děr – podle [16]

c) vrtání hlubokých děr,

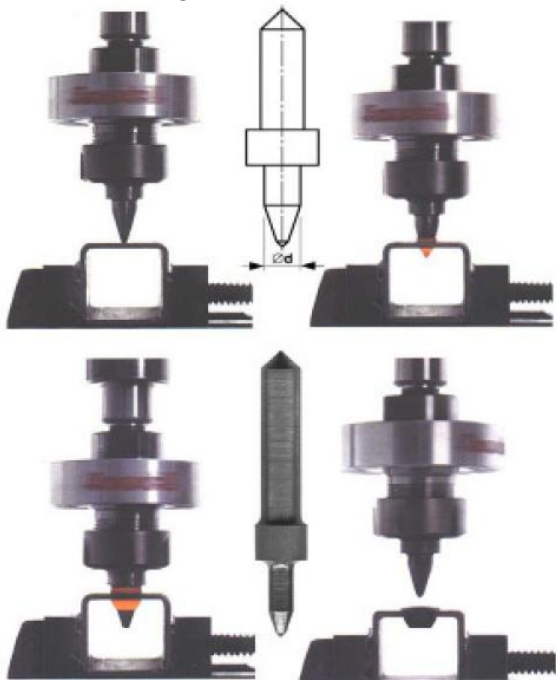
U vrtání hlubokých děr se pohybujeme od hranice $L' > 10 \times D$. Z důvodu zajištění plynulého řezného procesu se zde používá tlakové kapaliny k zajištění odvodu třísek z místa řezu. Lze volit podle konstrukce nástroje způsob, kudy bude kapalina přiváděna a odváděna.



Obr. 1.1.3-3 Vrtání hlubokých děr – podle [17]

d) speciální případy vrtání.

Tento způsob v sobě zahrnuje jednak vrtání širokorozsahovým či odstupňovaným vrtákem, nebo vrtání se sduženými vrtacími nástroji, při kterém jsme schopni sdužit operace vrtání, závitování, zahlubování, atd. Také můžeme do této oblasti zařadit vrtání tenkostěnných profilů a vrtání do plechu pomocí termálního tvářecího vrtáku.



Obr. 1.1.3-4 Termální vrtání díry v tenkostěnném ocelovém profilu – podle [18]

Základní operace vrtání můžeme klasifikovat jako:

a) vrtání do plna,

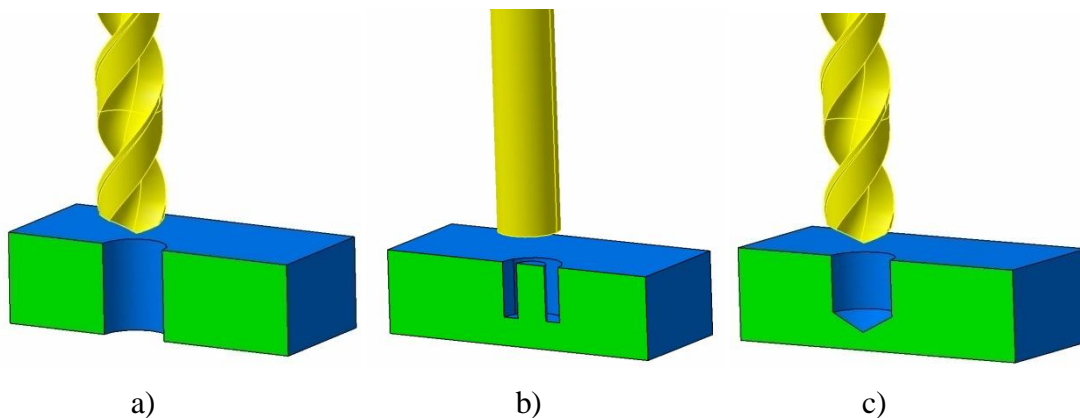
Je to operace, při které vrtáme do plného materiálu a to přes celou jeho tloušťku.

b) vrtání na jádro,

Operace vrtání na jádro je specifická tím, že odebíráme pouze mezikruží, nikoli celý kruhový průřez. Uprostřed díry nám tedy vznikne válec plného materiálu.

c) vrtání na hřbetovou plochu.

Opět vrtáme v jedné operaci do plného materiálu. Nyní ovšem do hloubky, která je menší, než tloušťka vrtaného materiálu v daném místě.



Obr. 1.1.3-5 Základní operace vrtání

1.1.4 Charakteristika vrtání

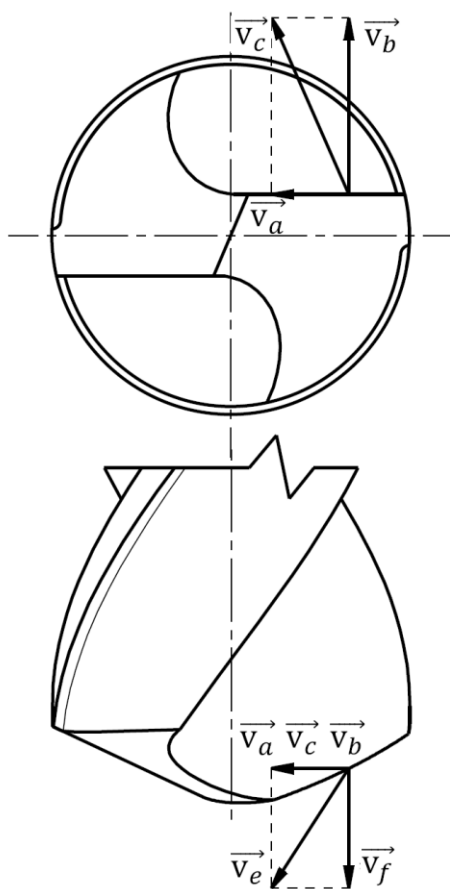
- zpracováno dle [1].

Všechny nástroje na vrtání mají proměnlivou řeznou rychlost a to od středu otáčení nástroje, kde je rychlost nulová, až po obvod nástroje, kde řezná rychlost dosahuje maximálních hodnot. Tuto rychlost nazýváme řeznou rychlostí:

$$v_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ [m min}^{-1}\text{]};$$

kde D [mm] je průměr nástroje,

n [min⁻¹] jsou otáčky nástroje či obrobku.



Obr. 1.1.4-1 Kinematika vrtáku při obrábění

Posuvová rychlost je hodnota závislá na otáčkách a posuvu na otáčku či na zub:

$$v_f = \frac{f_z \times z \times n}{1000} \text{ [m min}^{-1}\text{]}; \text{ nebo } v_f = \frac{f_{ot} \times n}{1000} \text{ [m min}^{-1}\text{]};$$

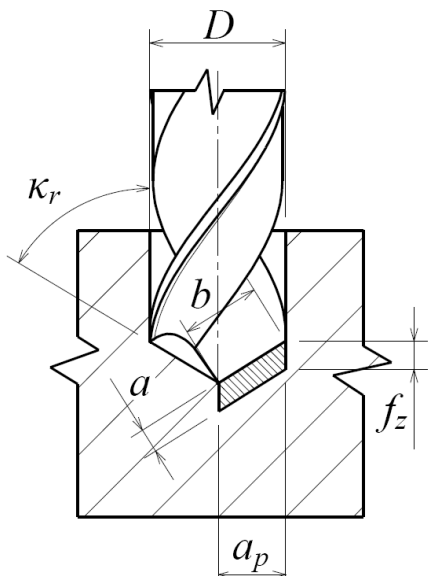
kde f_z [mm] je posuv nástroje či obrobku na zub (na břit),

f_{ot} [mm] je posuv nástroje či obrobku na otáčku,

z [-] je počet zubů,

n [min⁻¹] jsou otáčky nástroje či obrobku.

Průřez třísky je dán počtem břitů nástroje, průměrem nástroje a posuvovou rychlostí. U šroubovitého vrtáku při vrtání se uplatní dva břity, proto můžeme psát:



$$A' = a \times b = \frac{f_{ot}}{2} \times \frac{D}{2} \text{ [mm}^2\text{]}; \text{ nebo } A' = a_p \times f_z \text{ [mm}^2\text{]};$$

kde a [mm] je jmenovitá tloušťka třísky,

b [mm] je jmenovitá šířka třísky,

f_z [mm] je posuv nástroje či obrobku na zub (na břit),

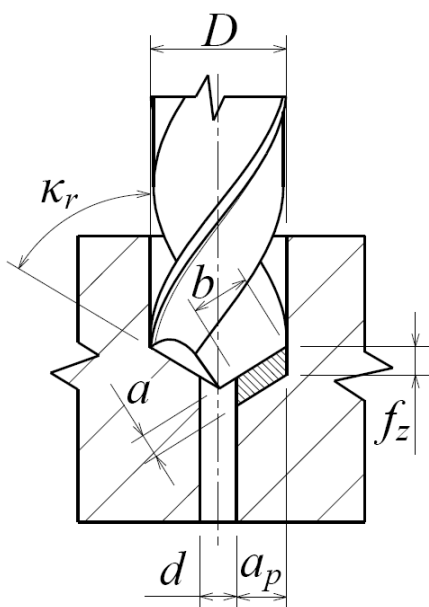
f_{ot} [mm] je posuv nástroje či obrobku na otáčku,

D [mm] je průměr nástroje,

a_p [mm] je šířka záběru ostří.

Obr. 1.1.4-2 Průřez třísky při vrtání

Pokud se jedná o vyvrtávání, vyhrubování či vystružování můžeme psát:



$$A = a \times b = \frac{D-d}{2c} \times f_{ot} \text{ [mm}^2\text{]};$$

kde a [mm] je jmenovitá tloušťka třísky,

b [mm] je jmenovitá šířka třísky,

c [-] je počet břitů nástroje,

d [mm] je průměr předvrtaného otvoru,

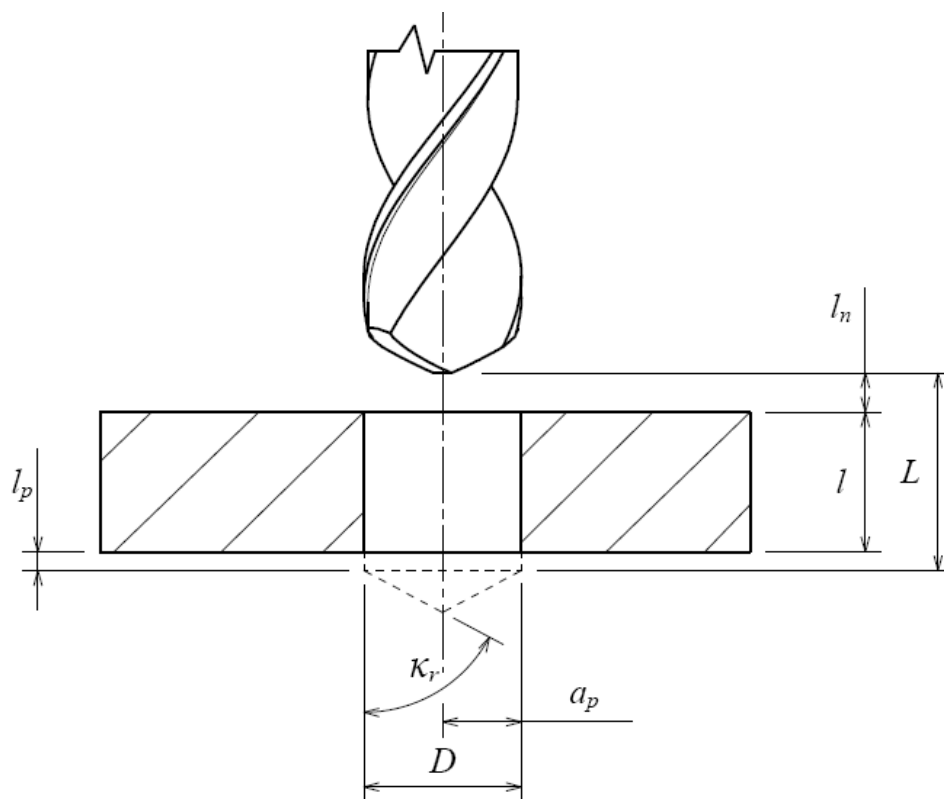
D [mm] je průměr nástroje,

f_{ot} [mm] je posuv nástroje či obrobku na otáčku.

Obr. 1.1.4-3 Průřez třísky při vyvrtávání

1.1.5 Strojní čas při vrtání

- zpracováno dle [14].



Obr. 1.1.5-1 Znárodnění dráhy šroubovitého vrtáku pro výpočet strojního času při vrtání

$$t_s = \frac{\pi \times D \times L}{1000 \times v_c \times f_z \times z} \text{ [min];}$$

$$L = l_n + l + l_p \text{ [mm];} \quad l_n = a_p \times \cos \kappa_r \text{ [mm];} \quad l_n \cong \frac{D}{4} \text{ [mm];}$$

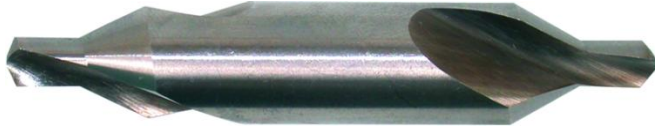
kde D [mm] je průměr nástroje, L je celková dráha vykonaná nástrojem, v_c je řezná rychlost, f_z je posuv na zub (na břit), z je počet zubů, l [mm] je celková dráha pohybu nástroje bez náběhu a přeběhu, l_n [mm] je délka náběhu, l_p [mm] je délka přeběhu, a_p [mm] je šířka záběru ostří, κ_r [°] je úhel nastavení hlavního ostří.

1.1.6 Dělení vrtáků podle technologie, druhu vrtání, konstrukce a geometrie

- zpracováno dle [13].

a) Středící vrtáky,

Jedná se o malé nástroje na navrtávání děr, nejčastěji se používají na navrtávání středících důlků na soustruzích. Jejich krátké rozměry nám zvyšují celkovou tuhost soustavy, a tedy zajišťuje přesnější vytvoření otvoru.



Obr. 1.1.6-1 Navrtávací vrták – podle [19]

b) šroubovité vrtáky,

Tyto nástroje jsou nejpoužívanější v oblasti vrtání krátkých děr, ale používají se také pro hluboké vrtání, díky možnosti vnitřního přívodu chladicí kapaliny a různých konstrukčních variant.



Obr. 1.1.6-2 Šroubovitý vrták – podle [20]

c) kopinaté vrtáky,

Kopinaté vrtáky jsou vyznačovány vysokou tuhostí. Do jeho těla vkládáme destičky z rychlořezné oceli, nebo ze slinutého karbidu. Drsnost obrobeného povrchu je vyšších hodnot, než u šroubovitého vrtáku.



Obr. 1.1.6-3 Kopinatý vrták – podle [21]

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

d) vrtáky s vyměnitelnou špičkou,

Část vrtáku, která provádí odřezávání materiálu je vyměnitelná z důvodů produktivity řezného procesu. U tohoto typu vrtáků jde o oba břity i se špičkou nástroje. Tato špička je upnuta do svého lůžka, stejně jako vyměnitelné břitové destičky.



Obr. 1.1.6-4 Vrták s vyměnitelnou špičkou – podle [22]

e) vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami,

Tyto vrtáky jsou různých konstrukčních provedení, v zásadě jde o možnost výměny pouze části vrtáku, která provádí samotný řezný proces. Jedná se o tzv. vyměnitelnou břitovou destičku, ta se vkládá do lůžka nástroje, kde je upevněna.



Obr. 1.1.6-5 Vrták s VBD – podle [23]

f) korunkové vrtáky,

Jedná se o duté nástroje, které umožňují vrtání na jádro.



Obr. 1.1.6-6 Korunkové vrtáky – podle [24]

g) dělové vrtáky,

Jak vyplývá z názvu vrtáků, jde o druh nástrojů, které jsou konstruovány pro výrobu přesných hlubokých děr. Nutností je používat chladicí kapalinu, kvůli odvodu třísek z místa řezu.



Obr. 1.1.6-7 Dělové vrtáky – podle [25]

h) ejektorové vrtáky,

Vrtáky se skládají z vrtací hlavy, která je z části vsunuta do válce. Mezikružím tvořené válcem a hlavou přivádíme kapalinu, jejíž většina je přiváděna k řezu vnitřkem hlavy a její zbytek je směřován válcem z vnější strany k řezu, což vytváří ejektorový efekt a třísky jsou odtrhávány z řezu a proudí vnitřkem hlavy ven.



Obr. 1.1.6-8 Ejektorový vrták – podle [26]

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

i) BTA (Boring and Trepanning Association) nebo STS (Single Tube System) vrtáky,

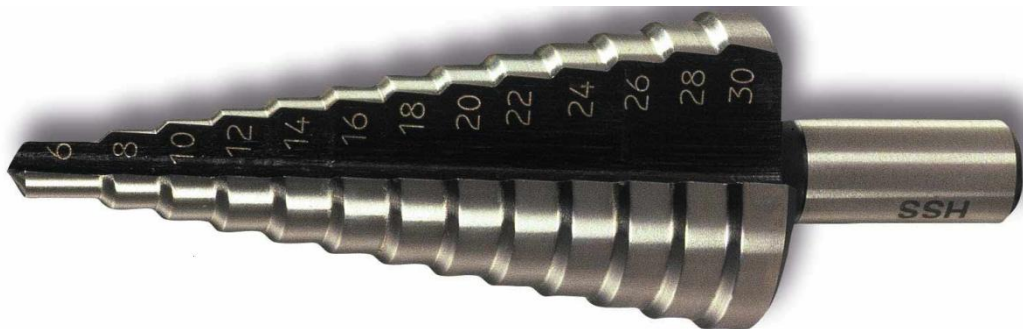
Jejich využití je pro větší průměry, než ejektorové vrtáky. U tohoto principu musíme dosáhnout těsnosti mezi vrtaným otvorem a nádobou, kterou přivádíme tlakovou kapalinu. Kapalina proudí z nádoby mezi stěnou vrtaného otvoru a hlavy vrtáku a odnáší třísky středem hlavy vrtáku z místa řezu.



Obr. 1.1.6-9 BTA vrták – podle [27]

j) odstupňované vrtáky,

S těmito nástroji jsme schopni v jedné operaci díru vrtat a zároveň vyvrtávat. Záleží na konstrukci dílu, zda umožňuje použití tohoto nástroje.



Obr. 1.1.6-10 Odstupňovaný vrták – podle [28]

k) frézovací vrtáky,

Frézovací vrtáky nám díky své konstrukci umožňují jak vrtání, tak do jisté míry i frézování. Proto mohou být tyto vrtáky výhodně využívány pro operace vrtání a frézování jdoucí po sobě.



Obr. 1.1.6 -11 Frézovací vrták– podle [29]

l) speciální sdružené nástroje,

Sdružené nástroje přináší velkou úsporu času u součástí, na nichž jsou používány. Jde o sloučení více druhů nástrojů jako např. vrták, závitník, záhlubník atd.



Obr. 1.1.6-12 Sdružený vrták – podle [30]

m) monolitní nástroje,

Jako monolitní nástroje mohou být používány vrtáky z levnějších materiálů. Výhodou je jejich jednodušší výroba. Na druhou stranu to mohou být i vrtáky z ušlechtlejších materiálů. Záleží na požadavcích, které jsou kladeny na nástroj.



Obr. 1.1.6-13 Monolitní vrták – podle [31]

n) modulární vrtáky.

Výhodou modulárních systémů vrtáků je jejich možná variace a úspora nákladů na nástroje. Naopak nevýhodou bývá jejich tuhost a opotřebovávání lůžek pro přestavení. Z těchto důvodů jsou tyto nástroje méně přesné.



Obr. 1.1.6-14 Modulární vrták – podle [32]

1.1.7 Použití procesních kapalin při vrtání

- zpracováno dle [4], [12].

Procesní kapaliny se uplatňují při vrtání ve většině případů. Použití procesních kapalin závisí na materiálu obrobku, hloubce vrtání, typu vrtáku, řezných podmínkách a požadované drsnosti a přesnosti obráběného otvoru. Kapaliny plní při řezání funkce chlazení (nástroje, obrobku a třísky), mazání (snižuje tření při obrábění a minimalizuje opotřebování nástroje), snížení velikosti nárůstku (v některých případech i eliminace nárůstku), odvod třísek z místa řezu, ochrana obrobku náradí a stroje před korozi.

Při vrtání menšími posuvy a menšími otáčkami využíváme z pravidla takových kapalin, které nám z větší části zajišťují mazání celého procesu. Naopak pokud je zapotřebí vyšších řezných podmínek, s výhodou používáme řezné kapaliny, které naopak mají větší chladicí účinek.

Řeznou kapalinu můžeme přivádět dvěma způsoby. Jedním ze způsobů je přívod kapaliny mezi dírou a nástrojem (vnější přívod) a další možností je přívod kapaliny vnitřkem nástroje (vnitřní přívod), tedy kanálky, které ústí na ploše hřbetu vrtáku. Odchod kapaliny a třísek může být realizován opět prostorem mezi nástrojem a materiálem obrobku (tedy drážkou). Další možností je odvod média dutinou uvnitř nástroje.

Procesní média mohou být ve formě:

1) Kapalin

a) Kapaliny vodou nemísitelné: minerální oleje (zhotovení zpracováním ropných produktů), mastné oleje (výroba využitím rostlinných a živočišných zdrojů), olejové směsi (vytvořeny na bázi minerálních a mastných olejů), syntetické oleje (vznik chemickým procesem-syntetický ester s modifikovanou strukturou).

b) Kapaliny vodou mísitelné: olejové emulze s určitým obsahem minerálního oleje a syntetické chladicí kapaliny.

2) Pasty či gely - určeny zejména pro ruční operace.

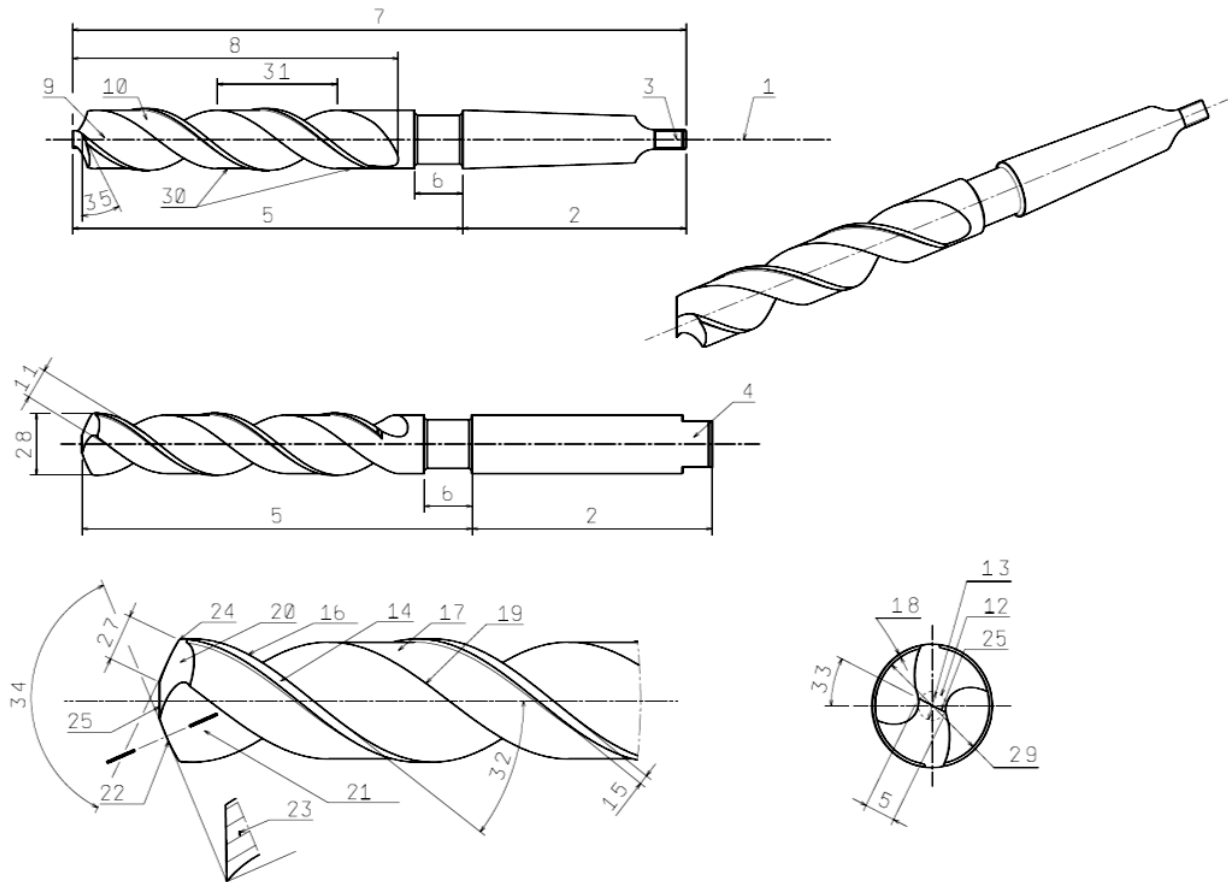
3) Aerosoly (mlhy) - vzduch je míchán s malým množstvím oleje a vytváří mlhu. MQL (minimum quantity of lubricant) je technologie, při níž využíváme mlhy aplikované přímo na nástroj. Tento způsob neumožňuje na rozdíl od jiných variant takový přenos tepla, ale díky mazacím schopnostem redukuje jeho vznik.

4) Vzduch nebo ostatní plyny (CO_2 , N) - médium je akumulováno v tlakových lahvích a jeho účel je čistě chladicí. Aplikace těchto plynů je obdobná jako u technologie MQL.

1.2 Šroubovitý vrták

1.2.1 Popis šroubovitého vrtáku

- zpracováno dle [13].



Obr. 1.2.1-1 Popis šroubovitého vrtáku

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1 - osa | 19 - pata |
| 2 - stopka | 20 - hlavní hřbet |
| 3 - vyražec | 21 - čelo |
| 4 - unašeč | 22 - hlavní ostří |
| 5 - tělo | 23 - břit |
| 6 - krček | 24 - vnější špička |
| 7 - celková délka | 25 - příčné ostří |
| 8 - délka šroubovitě drážky | 26 - délka příčného ostří |
| 9 - šroubovitá drážka | 27 - délka hlavního ostří |
| 10 - druhý vedlejší hřbet | 28 - jmenovitý průměr vrtáku |
| 11 - šířka vedlejšího hřbetu | 29 - průměr odlehčení |
| 12 - jádro | 30 - zpětná kuželovitost |
| 13 - tloušťka jádra | 31 - stoupání šroubovice |
| 14 - první vedlejší hřbet (fazetka) | 32 - úhel šroubovitě drážky |
| 15 - šířka fazetky | 33 - úhel sklonu příčného ostří |
| 16 - vedlejší ostří | 34 - vrcholový úhel |
| 17 - odlehčení vedlejšího hřbetu | 35 - úhel hřbetu |
| 18 - hloubka odlehčení | |

1.2.2 Materiály šroubovitých vrtáků

- zpracováno dle [4], [13].

a) Nástrojové oceli,

Nástrojové oceli se používají k výrobě nástrojů, zejména pro svoji nízkou cenu. Jejich nevýhodou je však nižší tuhost a tvrdost vůči ostatním nástrojovým materiálům.

	Obráběný materiál						
	Ocel			Slitiny Ni,Co,Ti	Litina	Neželezné kovy	Plasty, Dřevo
	Žíhaná	Zušlechtěná	Austenitická				
Materiál nástroje	19 802	19 850	19 852	19 850	19 802	19 802	19 802
	19 830	19 851	19 856	19 851	19 830	19 830	19 820
		19 852		19 856	19 851		19 830
		19 856			19 861		
		19 857					

Tab. 1.2.2-1 – Doporučené RO pro nástroje na otvory – dle [13]

b) odlévané slitiny kobaltu,

Tyto materiály svými vlastnostmi leží mezi rychlořeznou ocelí a slinutým karbidem.

Při výrobě se materiál elektricky, nebo indukčně taví v ochranné atmosféře. V případě výroby nástrojů se poté upřednostňuje lití do trvalých grafitových forem. Jednotlivé složení prvků v kobaltové slitině označené jako Tantung G je:

Kobalt 42-47%, chrom 27-32%, wolfram 14-19%, uhlík 2-4%, tantal nebo niob 2-7%, mangan 1-3%, železo 2-5%, nikl 7%.

c) slinuté karbidy,

Skládají se ze směsi karbidických fází (TiC, TaC, WC, NbC, Cr₃C₂, VC) jednotlivých karbidů a dále kovového pojiva, kterým je většinou kobalt. Výroba probíhá pomocí slinování, jde o spékání za vysokých tlaků a teplot.

Rozdělení slinutých karbidů podle možnosti použití pro různé obráběné materiály:

P (modrá barva) - oceli;

M (žlutá barva) - feritické, chromové a chromniklové, austenitické oceli;

K (červená barva) - litiny;

N (zelená barva) - nekovové a neželezné materiály (slitiny hliníku a mědi);

S (oranžová barva) - žárupevné a žáruvzdorné slitiny na bázi niklu titanu a cobaltu;

H (šedivá barva) - kalené oceli, tvrzené litiny.

d) řezná keramika,

Tento materiál je anorganický, nekovový a převážně krystalický. Řeznou keramiku dělíme na oxidickou a neoxidickou. Oxidická je dále dělena na čistou (složenou 99,5% Al₂O₃), polosměsnou (ta se skládá z Al₂O₃ a ZrO₂, nebo s možností příměsí CoO), směsnou (skládá se většinou z kombinací prvků Al₂O₃, TiC, TiN, TiCN). Do neoxidické keramiky pouze zařazujeme keramiku nitridovou (základním prvkem této skupiny je nitrid Si₃N₄). Vazba materiálu je převážně iontová nebo kovalentní, čímž jsou zejména ovlivněny mechanické

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

vlastnosti. Největší nevýhodou je při obrábění vznik mikrotrhlin a případné následné vylomení břitu. Je to dáno vysokou křehkostí materiálu. Proto je výhodné využití keramiky, která obsahuje příměsné prvky (TiC, TiN, TiCN, ZrO₂), jenž chrání řezný klín.

e) cermety,

Název je vytvořen složením prvních slabik slov ceramics a metal. Dají se zařadit do skupiny bezwolframových karbidů. Jak již z názvu vyplývá, tato skupina materiálu spojuje výhody tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Struktura se skládá z jádra, vnitřního lemu, vnějšího lemu a pojiva. Cermety obsahují prvky jako: Ti, Ta, Ni, Co, W, Mo, C, N. Výhodou cermetů je nízká měrná hmotnost. V porovnání se slinutými karbidy je jejich hmotnost poloviční, dále vysoká tvrdost za tepla, vysoká pevnost řezného klínu, odolnost proti opotřebení, chemická stálost a odolnost proti vzniku nárůstku.

f) polykrystalický nitrid bóru,

Polykrystalický nitrid bóru je synteticky vyrobený a řadí se mezi supertvrdé materiály. Vzhledem k jejich nákladné výrobě, se používají zřídka a to zejména pro speciální aplikace. Není možné jej využívat pro obrábění měkkých materiálů. Převážně obrábíme kalené oceli a tvrzené litiny a slitinové materiály na bázi kobaltu.

g) polykrystalický diamant.

Opět je řazen mezi supertvrdé materiály a náklady na jeho výrobu jsou také vysoké. Z důvodů difúze, která by vznikala při obrábění kovových materiálů, je používán pro bronz, mosaz, kompozity a tvrdé přírodní materiály, nebo například pro hliníkové slitiny s vysokým obsahem křemíku.

1.2.3 Výroba drážek šroubovitých vrtáku z nástrojové oceli

- zpracováno dle [2].

1. Obráběním

Frézování drážek do těla vrtáku pomocí tvarových fréz. Tato možnost není hospodárná, ztráty při obrábění jsou 30 až 45 %. Záleží na druhu konkrétního vrtáku.

2. Broušením

Vybrušování drážek z plného materiálu se provádí u zakalených polotovarů. Tyto polotovary vrtáků jsou v rozmezí malých průměrů (0,1 až 10 mm).

3. Sektorovým válcováním

Výrobu vrtáků sektorovým válcováním můžeme dělit do třech skupin. První skupinou jsou vrtáky s válcovou a kuželovou stopkou v rozmezí průměrů od 1,5 až 23 mm. Válcování je provedeno za tepla pomocí čtyř tvarových segmentů. Úspora materiálu je okolo 40 %. Do další skupiny zařazujeme vrtáky vyráběné postupným válcováním. Počet průchodů závisí na velikosti polotovaru. Vyráběné nástroje se pohybují v průměrech od 16 do 40 mm. Z důvodů nahřívání a chladnutí materiálu polotovaru mezi jednotlivými průchody je třeba odfrézovat oduhlíčenou vrstvu. Proto úspora materiálu dosahuje hodnot okolo 25 %. Poslední skupinou řazenou do sektorového válcování je výroba polotovarů s přímými drážkami na 3 až 4 průchody. Poté při použití stáčecího přípravku se v poslední operaci zkrucují.

4. Protlačováním

Tento způsob výroby vyžaduje ohřátí polotovaru na teplotu 1080 °C a následné protlačení materiálu přes tvarovou tlačnici. Lze vyrábět vrtáky v rozmezí průměrů 18 až 60 mm a dále stopkové či nástrčné několikabřité nástroje. Úspora materiálu dosahuje hodnot až 50 %.

5. Zkrucováním

U zkrucování použijeme jako polotovar profilové tyče, které přetváříme ve válcovací stolici na 3 až 4 průchody a poté je zkroutíme na zkrucovací stolici při teplotě 1000 °C. Dále proběhne dělení těchto polotovarů na požadované velikosti a po tepelných úpravách a broušení můžeme tyto těla lisovat do stopek, nebo upínat do kleštin. Vrtáky vyráběny tímto způsobem mají průměr 8 až 10 mm. Úspory materiálu jsou 25 %.

6. Příčným válcováním

Ohřátý polotovar vložíme do dvou rovinných desek, které se proti sobě pohybují a na povrchu mají meandrovité výstupky. Výsledkem jsou vytvořené vrtáky s válcovou stopkou v rozmezí průměrů 6 až 10 mm. Tato metoda má velký počet nevýhod, a to ať jde o složitost nástroje, omezený rozsah profilů, či neodstranitelné chyby v profilu.

7. Kováním v zápustkách

Tato technologie se používá pro výrobu vrtáků největších velikostí od průměru 50 mm do průměru 80 mm. Z těchto předkovaných polotovarů dosáhneme požadovaných rozměrů frézováním.

1.2.4 Výroba drážek šroubových vrtáků ze slinutého karbidu

U šroubových vrtáků ze slinutého karbidu, je výroba drážek omezena výhradně na broušení. To je dáno vlastnostmi tohoto materiálu, zejména tvrdostí. Při výrobě chladících kanálků vrtacího nástroje se zde využívá drátků, kolem kterých je lisován slinutý karbid. Po jejich odstranění je nástroj opatřen kanálky, které ústí na hřbetu nástroje.

1.2.5 Ostření šroubových vrtáků

- zpracováno dle [1], [2].

Při ostření je důležité, z důvodu příznivých podmínek při vrtání, dodržovat stejně dlouhé hlavní břity, stejně velké úhly hřbetu a symetrický sklon břitu. Toto jsme schopni zajistit pouze při strojním ostření. Ostření šroubových vrtáků dělíme do čtyř skupin:

a) Rovinné,



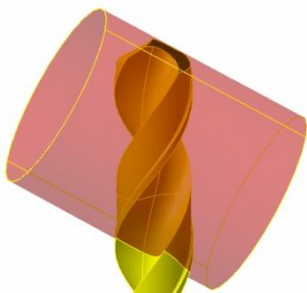
Obr. 1.2.5-1 Rovinné ostření

Rovinné ostření je nejjednodušší způsob, který nám však neumožňuje zvětšit úhel hřbetu v blízkosti příčného břitu. Proto není vhodné takto ostřit vrtáky větších průměrů, ale pouze vrtáky do průměru 10 mm.

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

b) válcové,

*Obr. 1.2.5-2 Válcové ostření*

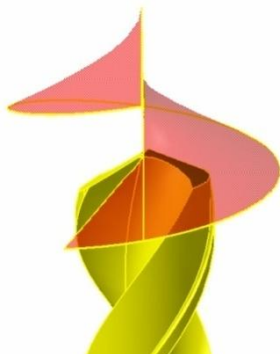
Válcové ostření tvoří rovněž u příčného břitu nepožadovaný úhel hřbetu, a tudíž jej používáme také pouze u malých průměrů vrtáků.

c) kuželové,

*Obr. 1.2.5-3 Kuželové ostření*

Kuželové ostření je nejčastěji používaným způsobem a zajišťuje nám vznik většího úhlu hřbetu u příčného břitu díky menšímu poloměru zakřivení obalové plochy, která je ve tvaru kužele.

d) šroubovitě.

*Obr. 1.2.5-4 Šroubovitě ostření*

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

Šroubovitě ostření provádíme pomocí brusného kotouče, který koná axiální pohyb (ve směru osy vrtáku) a nástroj současně rotuje, tím je zajištěna obalová plocha ve tvaru šroubovice. Výsledkem tohoto ostření jsou menší odporové síly při vnikání vrtáku do materiálu a zároveň dosáhneme lepších středících vlastností.

1.2.6 Kuželovitost těla a zesílení jádra vrtáku

- zpracováno dle [2].

V rozsahu průměrů 0,7 až 90 mm je určena kuželovitost těla vrtáku při délce 100 mm okolo 0,02 až 0,08 mm. Zároveň zesílení jádra vrtáků ve směru ke stopce při délce 100 mm vzrůstá o 1,4 nebo až o 1,8 mm. Toto neplatí u zvláště dlouhých vrtáků. Jiné hodnoty jsou udávány pro miniaturní a středící vrtáky, pro které platí *tabulka 1.2.6*.

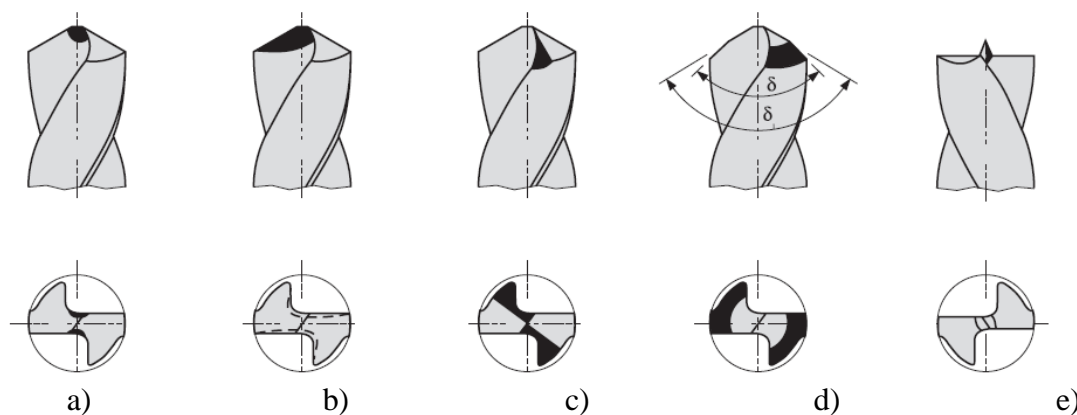
Průměr vrtáku v mm		Kuželovitost na 100 mm	Zesílení jádra
Od	Do		
0,1	1	0,20 až 0,30	Úkos 1 : 130
1	3	0,10 až 0,20	
3	8	0,08 až 0,15	

Tab. 1.2.6-1 Miniaturní a středící vrtáky – dle [2]

1.2.7 Úprava hrotů vrtáků

- zpracováno dle [2].

- Zkrácením příčného břitu se sníží osový odpor,
- zkrácením příčného ostří s korekcí úhlu čela se zvětší úhel čela u jádra a sníží osový odpor,
- křížovým podbroušením se zkrátí příčný břit a usnadní se odchod třísek,
- přechodové ostří prodlouží délku hlavního břitu – broušení pod dvěma úhly,
- přechodové ostří prodlouží délku hlavního břitu – ostření s vrcholovým úhlem 180° a středícím hrotem.



Obr. 1.2.7-1 Úpravy hrotů šroubovitých vrtáků – dle [33]

1.2.8 Děliče břitů šroubovitých vrtáků

- zpracováno dle [2], [8].

Děliče břitů jsou vybroušené drážky na břitech vrtáku, které slouží ke zmenšení šířky třísek. Tyto třísky nám dávají při procesu vrtání výhodnější podmínky jejich odvádění. Tvar děliče nám určuje tvar opotřebení nástroje, zatímco rozměry děliče nám udávají, jaké bude silové zatížení na nástroj. Nejproblematictější místo nástroje s děličem je na přechodu řezné hrany a děliče břitu. Rozhodujícím faktorem je úhel náběhu. Čím více zvětšíme úhel náběhu, tím více zvětšíme zatížení rozhraní břitu a jeho děliče. Naopak zmenšením úhlu náběhu získáme mělkou drážku, která by měla mít hloubku trojnásobku odřezávané vrstvy. U šroubovitého vrtáku, při výrobě děličů, uplatníme sekci dvou zubů, z důvodu uplatnění dvou břitů při obrábění, tzn. délka břitu je rovna šířce děliče břitu.

2 Rozbor současného stavu

2.1 Geometrie

2.1.1 Nástrojové roviny a úhly

- zpracováno dle [1].

P_R – základní rovina - prochází uvažovaným bodem na ostří a je kolmá na předpokládaný směr hlavního řezného pohybu

P_F – boční rovina - prochází v uvažovaném bodě na ostří rovnoběžně s předpokládaným směrem posuvu, je kolmá na P_R

P_P – zadní rovina - prochází uvažovaným bodem na ostří, kolmo na P_R a P_F

P_S – rovina ostří - je kolmá na rovinu základní P_R a je tečná na ostří (ostří v ní leží)

P_O – rovina ortogonální - je kolmá na rovinu ostří P_S a na rovinu základní P_R

P_N – rovina normální - rovina kolmá na ostří v uvažovaném bodě (jediná rovina, která není obecně kolmá na P_R , pouze pokud $\lambda_S = 0$)

α - Úhel hřbetu

β - Úhel břitu

γ - Úhel čela

δ - Úhel řezu (součtový úhel) = $\alpha + \beta$

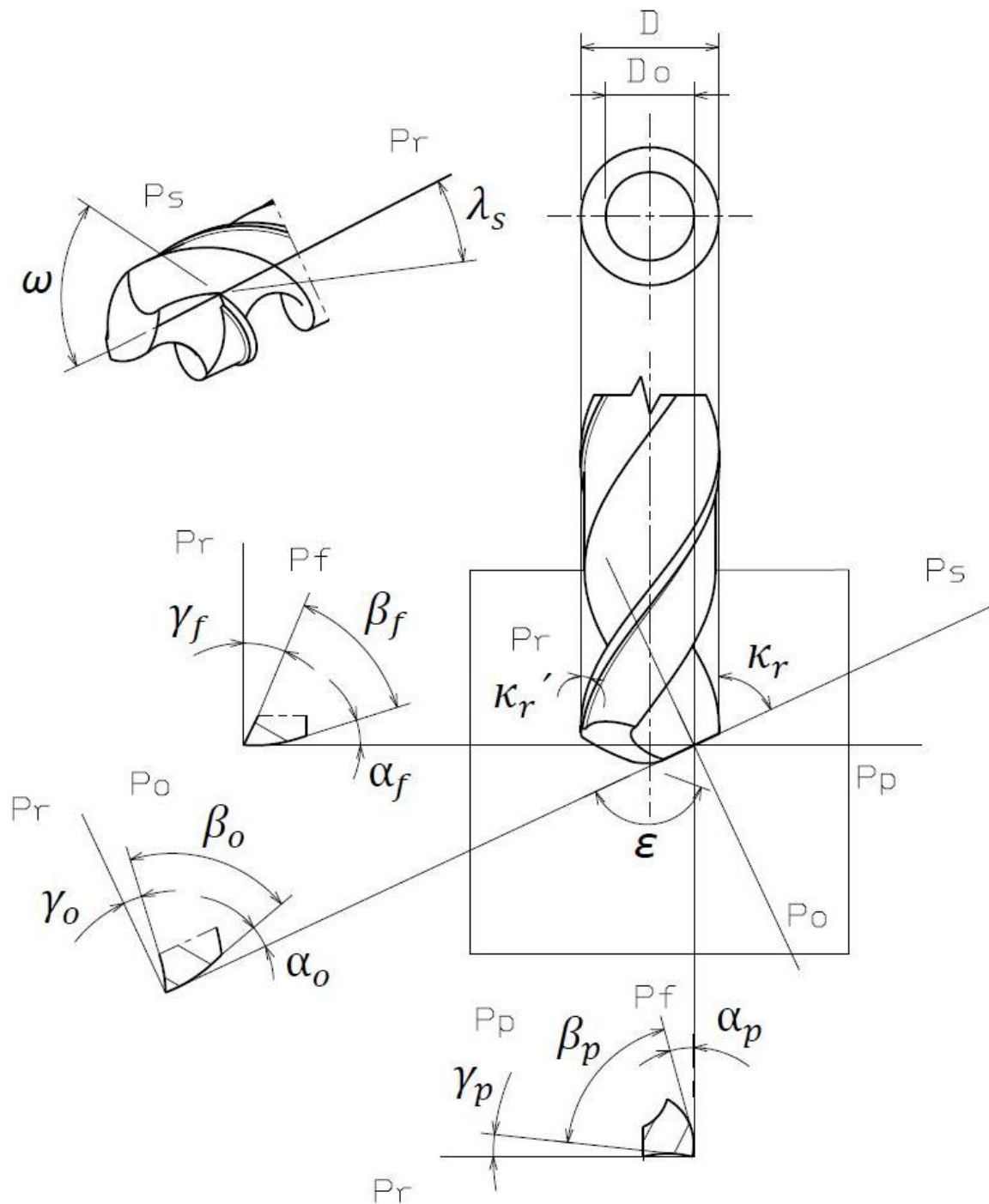
κ - Úhel nastavení hlavního ostří

κ' - Úhel nastavení vedlejšího ostří

ε – Vrcholový úhel

λ - Úhel sklonu ostří

ω - Úhel sklonu šroubovice

2.1.2 Geometrie bříty šroubovitého vrtáku

Obr. 2.1.2-1 Geometrie šroubovitého vrtáku

2.1.3 Vlivy nástrojových úhlů na proces obrábění

- zpracováno dle [1], [2], [8].

Sklon roviny čela určuje velikost řezného odporu (čím více se zvětšuje úhel, tím menší je odpor), dále udává, jakým způsobem bude tříška utvářena a také se s úhlem sklonu šroubovice ω podílí na směru odchodu třísky.

Sklon roviny hřbetu ovlivňuje také velikost řezného odporu, dále přesnost nástroje a rovněž jeho trvanlivost. U přesných nástrojů je nutné provádět kontrolu minimální hodnoty úhlu hřbetu.

Úhel čela (závisí na sklonu šroubovitě drážky a je podél celého ostří proměnný - směrem k ose nástroje se zmenšuje) nejvíce ovlivňuje řezný proces. Při zmenšení úhlu čela je zvětšena intenzita plastických deformací a dále zvýšené tření na čele nástroje odcházející třískou. Naopak po zvětšení úhlu čela zvýšíme namáhání břitu a snížíme tedy životnost.

Úhel hřbetu ovlivňuje zejména tření mezi nástrojem a obrobkem (podél hlavního ostří je proměnný - závislé na způsobu broušení). Dále působí na přesnost obrábění.

Úhel špičky je volen s ohledem na tvrdost obráběného materiálu (čím tvrdší materiál, tím větší úhel).

Úhel stoupání šroubovice určuje pevnost břitu a směr odchodu třísky. Udáváme jej jako odchylku tečny šroubovice vedlejšího ostří na obvodu nástroje a osy nástroje. Obecně používáme větší úhel pro houževnaté materiály, u kterých předpokládáme dlouhou třísku.

Úhel nastavení hlavního ostří ovlivňuje radiální složku řezné síly (při jeho zmenšování se radiální složka zvětšuje) a průřez třísky, který z materiálu odebíráme. Tím je stanoven i měrný řezný odpor a velikost měrného zatížení břitu.

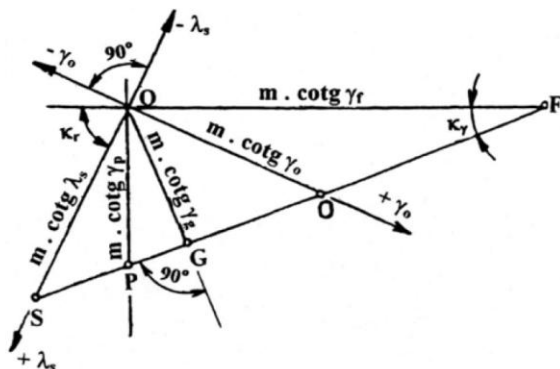
Úhel nastavení vedlejšího ostří působí především na drsnost obrobené plochy.

2.1.4 Způsoby určování roviny čela a hřbetu

- zpracováno dle [2], [10], [13].

Jednou z metod určení roviny čela je pomocí dvojice úhlů čela. U této metody vycházíme z hodnot doporučených normami, jedná se o úhly κ , λ , a γ_0 . V kotangentním diagramu čela vytvoříme tedy zbylou geometrii čela, která vyplývá ze zadaných úhlů. Čerpáme z poznatku, že v rovině Pr jsou úsečky mezi počátečním bodem a stopou roviny čela úměrné kotangentám úhlů čela. V nepozměněném měřítku můžeme psát:

$$OO = \cotg \gamma_0;$$

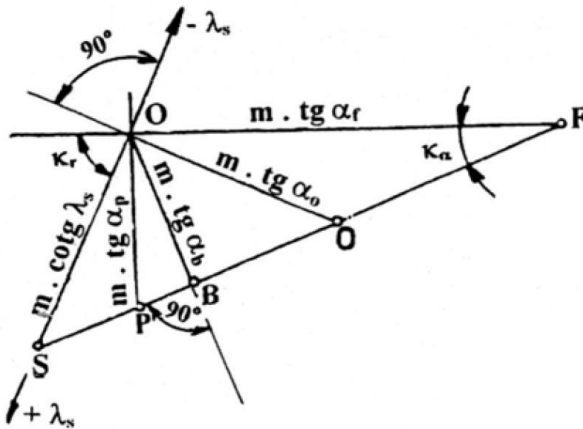


Obr. 2.1.4-1 Břitový diagram čela - dle [10]

Téměř stejným způsobem můžeme vytvořit i rovinu hřbetu. Nyní jsou ovšem úsečky od počátečního bodu ke stopě roviny hřbetu rovny tangentám úhlů hřbetu. Poté tedy:

$$OO = \operatorname{tg} \alpha_o;$$

Proto diagram, ve kterém geometricky vytvoříme požadované hodnoty hřbetových úhlů, nazýváme tangentní.



Obr. 2.1.4-2 Břítový diagram hřbetu – dle [10]

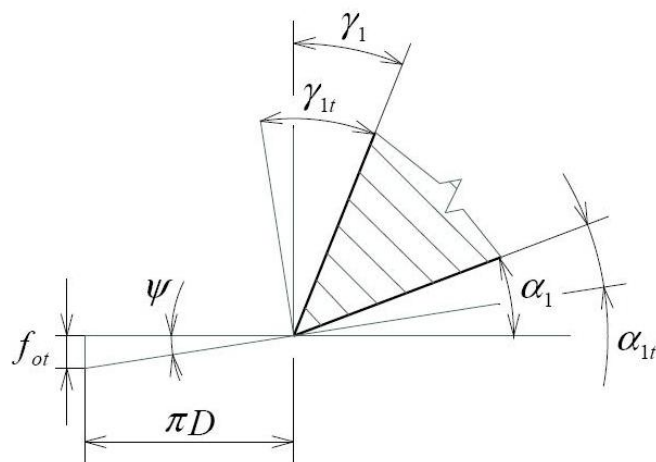
2.1.5 Pracovní úhly

- zpracováno dle [2].

$$\alpha_{1t} = \alpha_1 - \psi$$

$$\gamma_{1t} = \gamma_1 + \psi$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{f_{ot}}{\pi \times D}$$



Obr. 2.1.5-1 Pracovní úhly – dle [2]

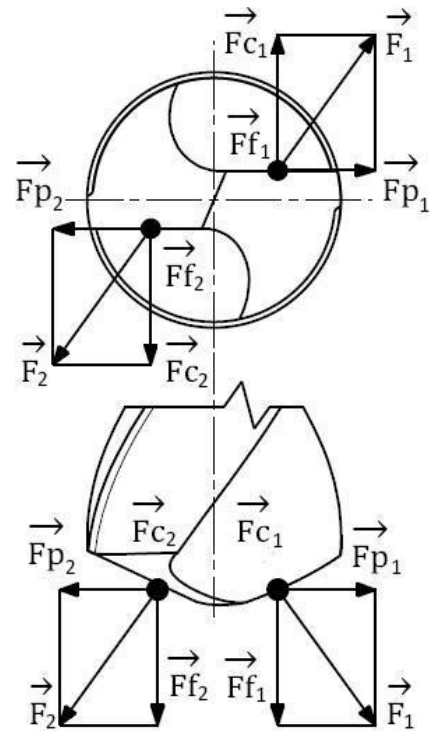
Jak je zřejmé z obr. 2.1-2, úhly se mění v závislosti na kinematice procesu obrábění. Tyto změněné úhly při obrábění nazýváme pracovní úhly. Tedy geometrie při obrábění vychází z geometrie nástroje a z řezných podmínek. Z toho plyne, že pro dosažení stejných pracovních úhlů, při použití rozdílné geometrie nástroje, musíme změnit i řezné podmínky a naopak.

2.2 Řezné síly při vrtání

2.2.1 Definice řezných sil

- zpracováno dle [3].

Uvažujeme, že řezné síly mají působiště ve středu teoretické plochy čela. Každou z těchto sil rozkládáme do tří složek. První složka je axiální (posuvová) a je vyvozena přítlakovou silou, tedy posuvem. Tato síla je rovnoběžná s osou nástroje. Tečně na průměr kružnice, jejíž střed je středem nástroje, ležíc v rovině kolmé na osu nástroje, se nachází tangenciální (řezná) složka síly. Tangenciální složka síly působí proti směru rotace nástroje, tudíž ji vyvozuje krouticí moment. K oběma těmto složkám je kolmý radiální (pasivní) účinek řezné síly.



Obr. 2.2.1-1 Řezné síly

2.2.2 Metody určování jednotlivých složek výsledné řezné síly

- zpracováno dle [1], [3], [10].

Jednotlivé řezné účinky je možno v praxi určovat následujícími třemi způsoby:

a) Určení složek pomocí měrné řezné síly (měrného řezného odporu),

Měrná řezná síla k_c [N/mm²]

Tato veličina udává určitou předpokládanou velikost řezné síly, při určitém úhlu čela nástroje, tloušťce třísky a zvoleném materiálu. Je definována jako tangenciální řezná síla, která je nutná k odřezání třísky o průřezu 1 mm², nebo jako efektivní řezná síla dělená teoretickou plochou třísky. Měrnou řeznou sílu najdeme podle výše zmíněných kritérií v tabulkách a používáme ji pro výpočet posuvové síly, krouticího momentu a výkonu.

$$F_c = k_c \times A' \text{ [N];}$$

$$F_c = c_p \times F_c \text{ [N];}$$

$$F_c = c_f \times F_c \text{ [N];}$$

kde A' [mm²] průřez třísky,

k_c [N/mm²] je měrná řezná síla,

c_p [-] je koeficient pro výpočet pasivní síly,

c_f [-] je koeficient pro výpočet posuvové síly,

F_c [N] je řezná síla,

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

 F_p [N] je pasivní síla, F_f [N] je posuvová síla.

b) Určení složek pomocí empirických vztahů,

 $F_c = f_1 (a, f, v_c, \dots)[N];$ $F_p = f_2 (a, f, v_c, \dots)[N];$ $F_f = f_3 (a, f, v_c, \dots)[N];$ kde a [mm] je jmenovitá tloušťka třísky, f [mm/zub], [mm/ot], [mm/min] je posuv (na zub, na otáčku nebo minutový posuv) nástroje či obrobku, v_c [m/s] je řezná rychlost, F_c [N] je řezná síla, F_p [N] je pasivní síla, F_f [N] je posuvová síla.

Tyto vztahy jsou experimentálně naměřeny pro daný způsob obrábění. Při experimentálním zjištění empirických konstant těchto vztahů je určení složek relativně přesné.

c) Určení složek pomocí měrné řezné síly a empirických vztahů.

Řezná síla F_c se vypočítá pomocí měrné řezné síly a zbývající účinky F_p , F_f podle empirických vztahů. Tento způsob je tedy kombinací a) a b).

2.2.4 Měření silových účinků a příslušná zařízení

- zpracováno dle [10], [11], [5].

Zařízení pro měření silových účinků se zpravidla skládá ze tří částí:

- Pružný člen – tento člen je zatěžován od okolního prostředí.
- Snímač – zaznamenává změnu deformace či jiných parametrů.
- Přijímač – provádí zesílení a zpracování signálu.

Základní rozdělení dynamometrů:

a) Podle měřící metody, která je aplikována: mechanické, hydraulické, pneumatické, elektrické (na principu: magnetostrické, magnetoanizotropie, kapacity, odporu, indukce, piezoelektrického jevu), atd.

b) Podle počtu měřených složek: jednosložkové, dvousložkové, třísložkové a pro měření točivých momentů.

c) Podle metody obrábění: pro soustružení, frézování, vrtání, univerzální atd.

Piezoelektrické snímače síly:

Používají se k převodu síly na elektrický signál. Deformace krystalu určité dielektrické látky způsobí elektrický dipólový moment a následně díky tomuto jevu vznikají na vodivých elektrodách volné náboje. Jako představitel piezoelektrické látky je monokrystalický křemen.



Obr. 2.2.4-1 Princip piezoelektrického dynamometru-dle [35]



Obr. 2.2.4-2 Dynamometr KISLER na měření složek řezné síly při vrtání-dle [11]

2.2.5 Provedení experimentů

Experiment má za úkol určit hodnoty řezných sil při vrtání, a to vzhledem ke geometrii nástroje. Tento experiment bude také využit pro odladění vzorce, který bude popisován v kapitole 3.4. Jednotlivě se bude měřit účinek řezných sil na dvou předem připravených nástrojích. Oba nástroje budou následně vyhodnoceny, tedy závislost geometrie vrtáků na řezných účincích. V tomto experimentu jsou jako nástroje zvoleny šroubovitě vrtáky o průměru 12 mm a jako obráběný materiál ocel 12050.6 dle normy ČSN. Vrtáky jsou označeny A a B.

3 Vyhodnocení teoretických a praktických poznatků

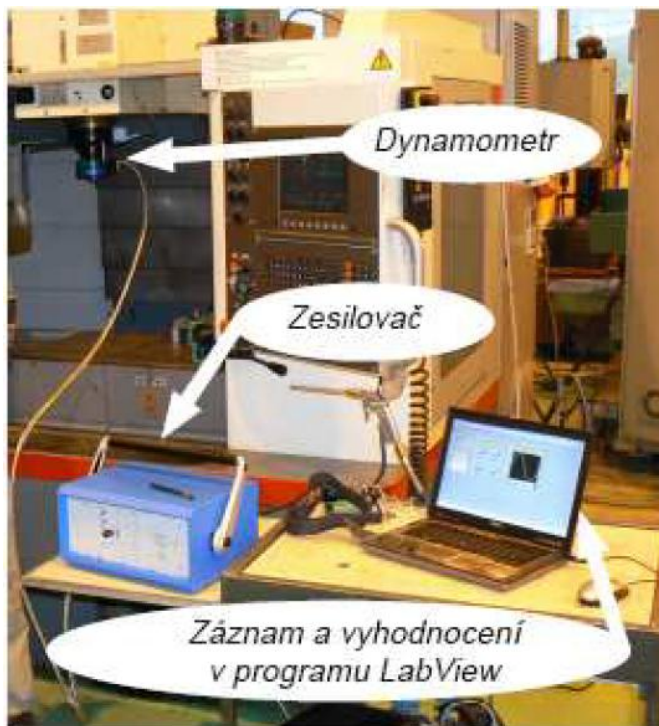
- zpracováno dle [9]

3.1 Podmínky a příprava experimentu

3.1.1 Řezné podmínky, použité zařízení způsob upnutí a obráběcí stroj

Řezné podmínky: $V_c = 80$ m/min, $n = 2125$ ot/min, $f = 0,2$ mm/ot, $V_f = 425$ mm/min, bez použití procesní kapaliny.

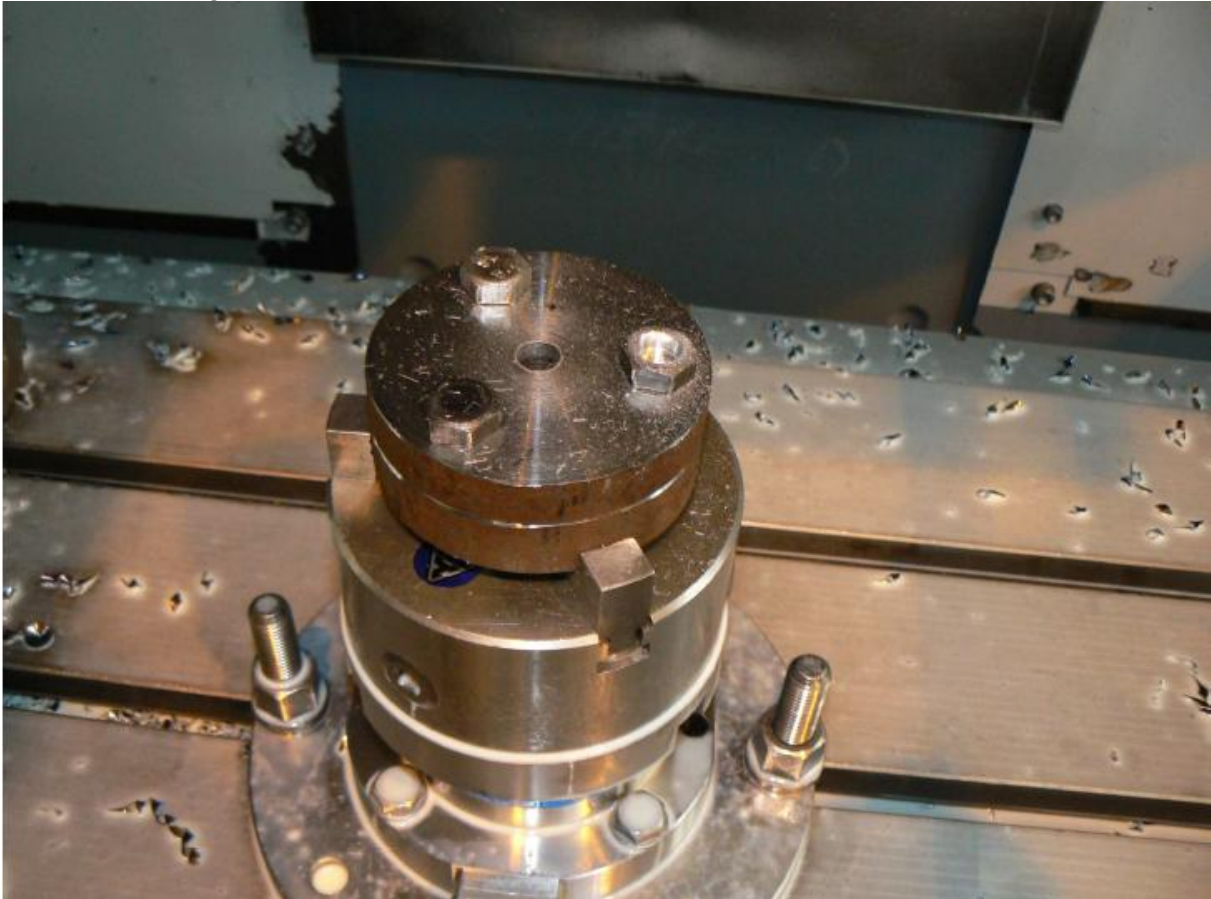
Posuvová síla a krouticí moment se měřily čtyřsložkovým rotačním dynamometrem značky KISTLER 9123C. Zapojení do soustavy je vyobrazeno na obr. 3.1.1-1 a technické specifikace členů měřicí soustavy jsou v příloze č. 2.



Obr. 3.1.1-1 Upnutí obrobku a přichycení vrtací desky-dle [11]

Pro měření úhlu sklonu ostří λ_s na obou nástrojích byl použit optický mikroskop MULTICHECK PC 500.

Upnutí obrobku bylo provedeno tříčelist'ovým sklíčidlem, uchyceným na čtyřsložkový dynamometr. Nástroj byl upnut pomocí přesné kleštiny čtyřsložkového rotačního dynamometru.

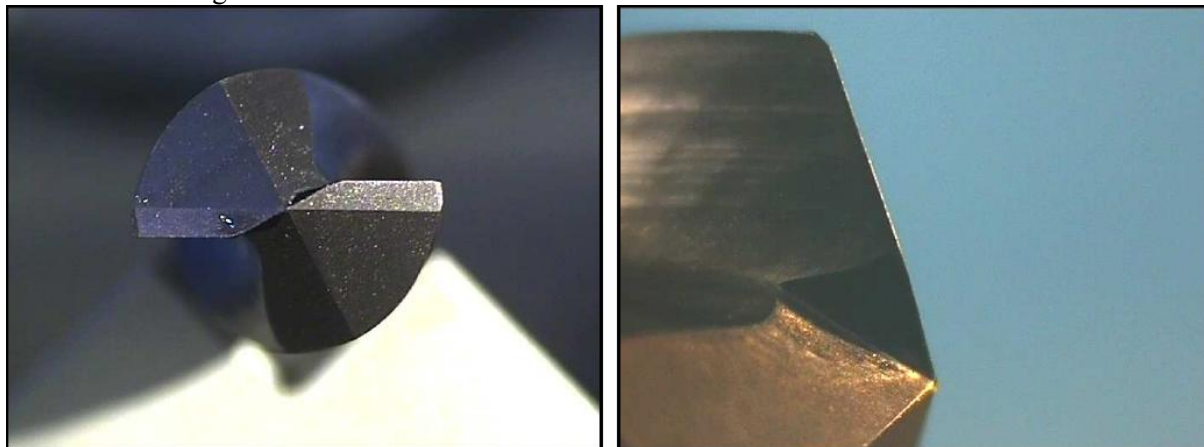


Obr. 3.1.1-2 Upnutí obrobku a přichycení vrtací desky-dle [11]

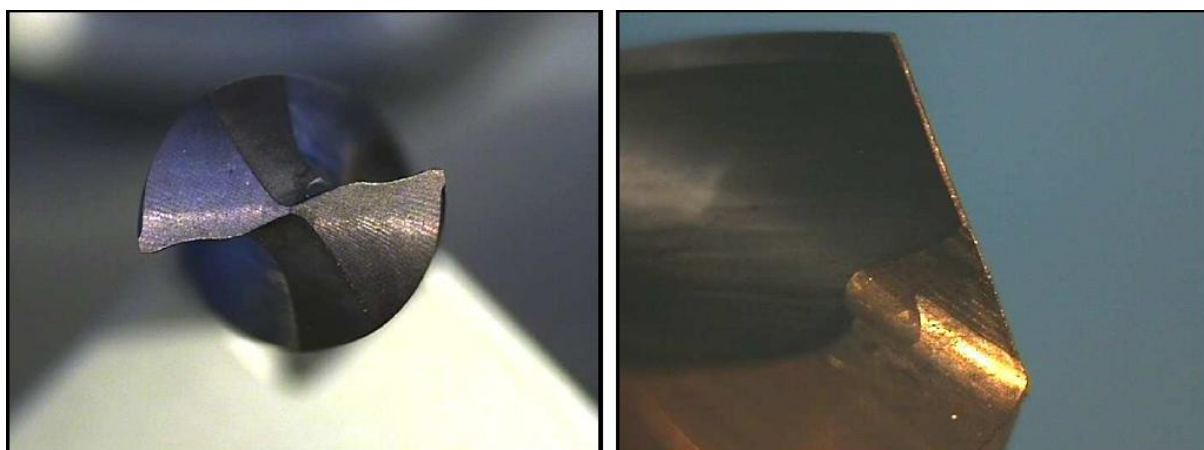
Všechny experimenty byly realizovány na frézovacím centru MCV 750A. Podrobnější specifikace viz. příloha č. 1.

3.1.2 Nástroje vybrané pro experiment

Při experimentu byly použity dva šroubovitě vrtáky. Vrták označen A, který má přímkové ostří a dále vrták označen B, s tvarovým ostřím. Oba vyrobené ze slinutého karbidu a deponované standardní tenkou vrstvou. Jejich průměr je 12 mm. Geometrie vrtáků je uvedena v tabulce 3.2.1-1. Pro experiment je břit vrtáků rozčleněn na 12 úseků, viz. obr. 3.1.3-1.



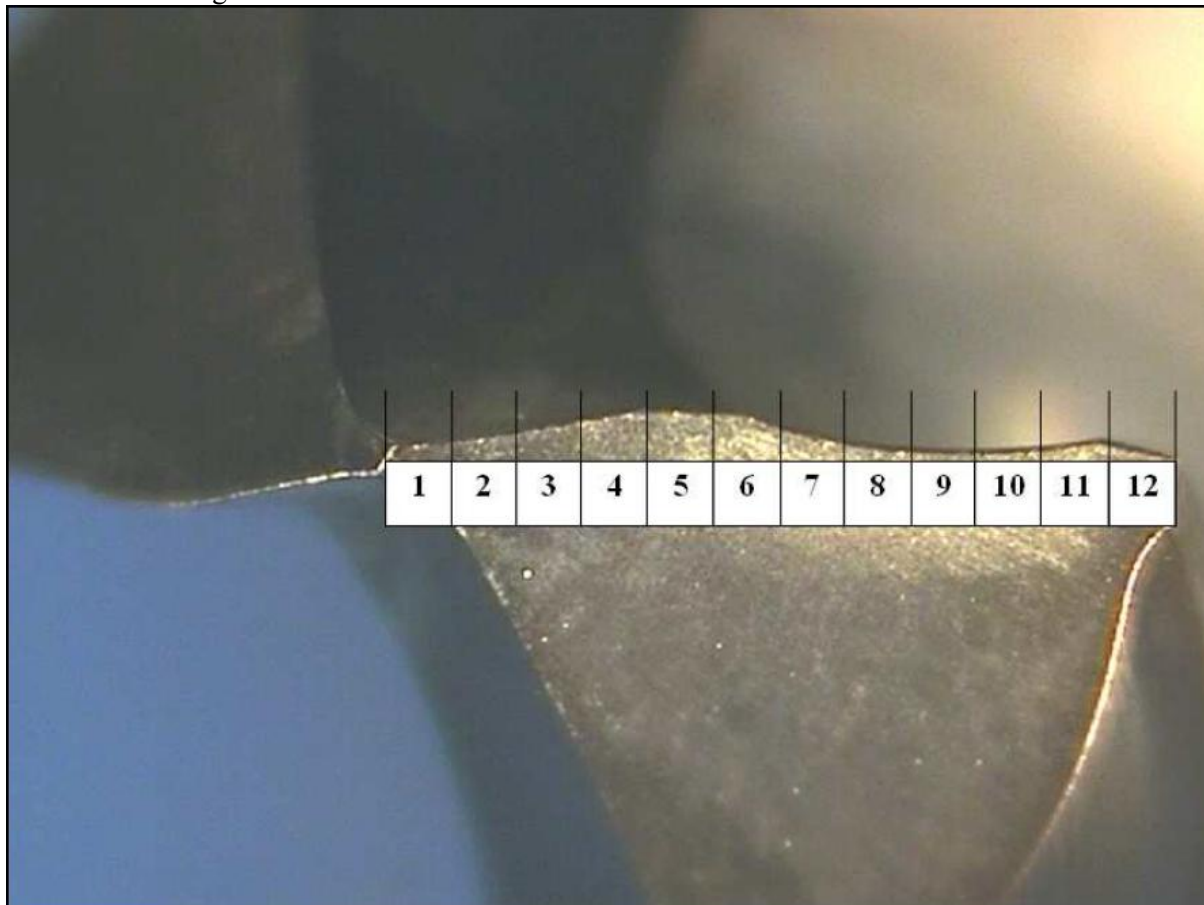
Obr. 3.1.2-1 Nástroj A-dle [9]



Obr. 3.1.2-2 Nástroj B-dle [9]

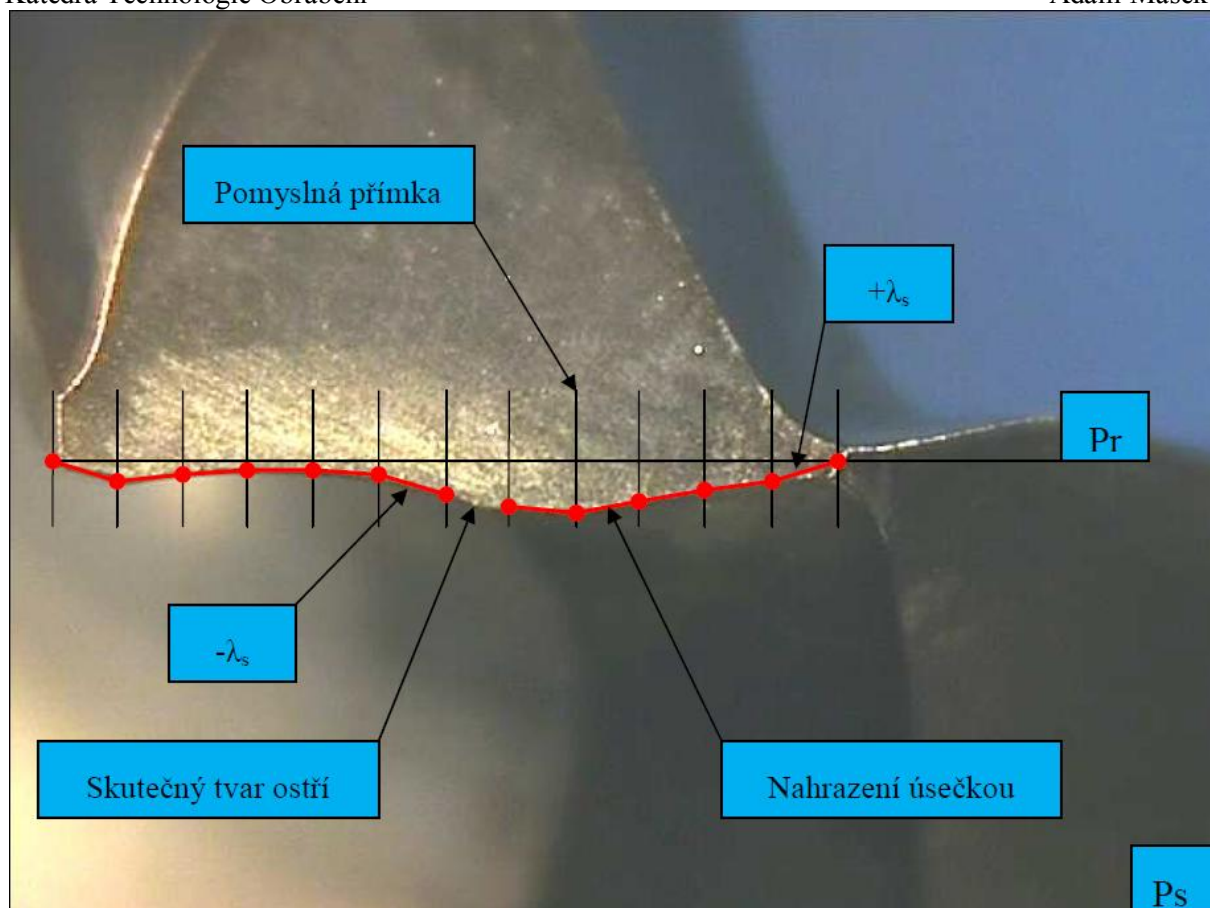
3.1.3 Elementy bříty

Jak již bylo zmíněno, bříty obou nástrojů jsou pomyslně rozděleny a to na dvanáct stejně dlouhých úseků od špičky, až k obvodu nástroje. Tedy neblíže špičky je element č. 1, dále pak element č. 2, až po nejvzdálenější od špičky, element č. 12. V tomto případě se při experimentu uvažuje, že síla působící na nástroj, se také rozdělí na stejný počet, jaký je počet elementů. Síla příslušná k určitému elementu je dále pomyslně umístěna do jeho středu.



Obr. 3.1.3-1 Rozdělení vrtáku na jednotlivé elementy-dle [9]

Díky tomuto rozdělení můžeme říci, že geometrie na daném elementu se téměř nemění. Z těchto důvodů bude považována za konstantní po celé délce elementu. Na dalším obrázku je znázorněno, jakým způsobem je skutečný tvar ostří nahrazen úsečkami. Proto je nyní možné, po zjištění síly působící na daný element, přiřadit ji k určité geometrii.



Obr. 3.1.3-2 Měření úhlu skonu ostří-dle [9]

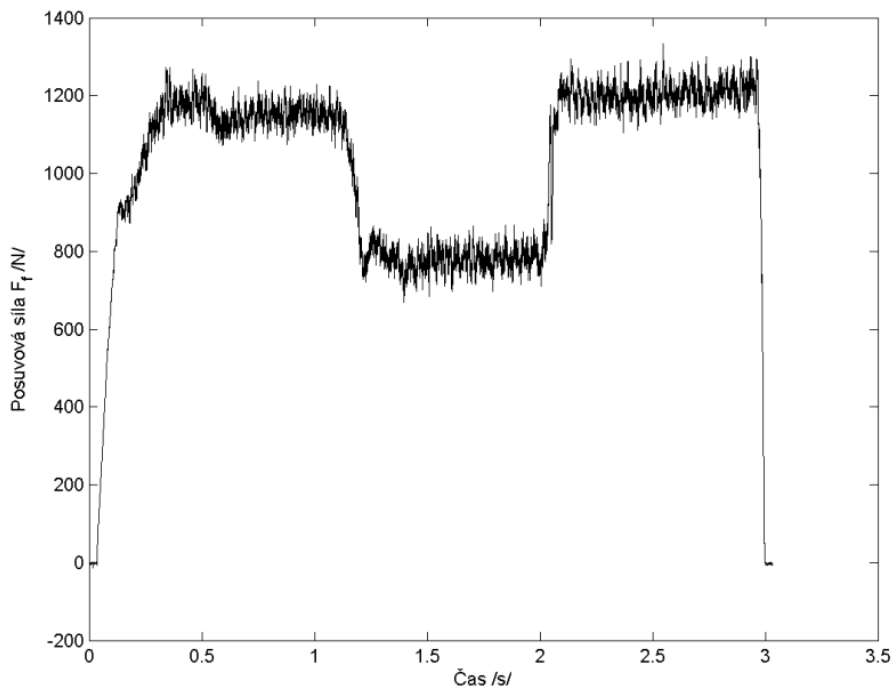
3.2 Výsledky experimentu

3.2.1 Naměřené silové účinky

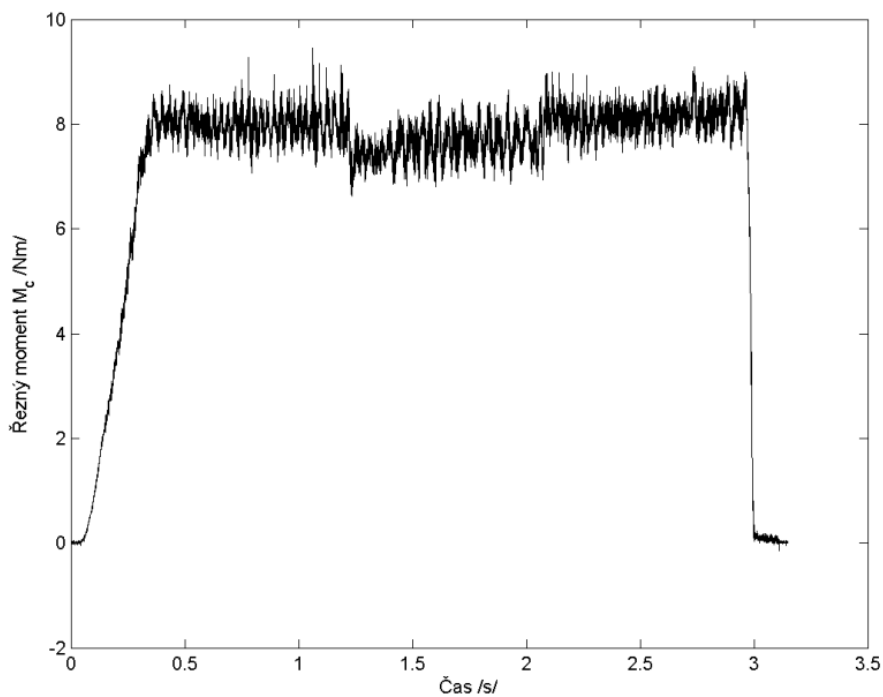
Silový účinek pasivní řezné síly F_p není třeba určovat, protože není v další části práce u konečného vztahu uvažován.

Číslo elementu:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Vzdálenost středu elementu od osy vrtáku [mm]:	0,25	0,75	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25	5,75	
Velikost elementu [mm]:	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Vrták A	Mc [Nm]	0,10	0,13	0,12	0,58	0,61	0,69	0,73	0,80	0,90	0,85	1,04	1,48
	Ff [N]	232	130	108	96	131	94	72	65	68	55	55	53
Vrták B	Mc [Nm]	0,32	0,18	0,34	0,24	0,71	0,94	0,91	0,77	0,73	1,13	1,15	1,69
	Ff [N]	557	54	229	62	140	107	104	86	93	89	93	99

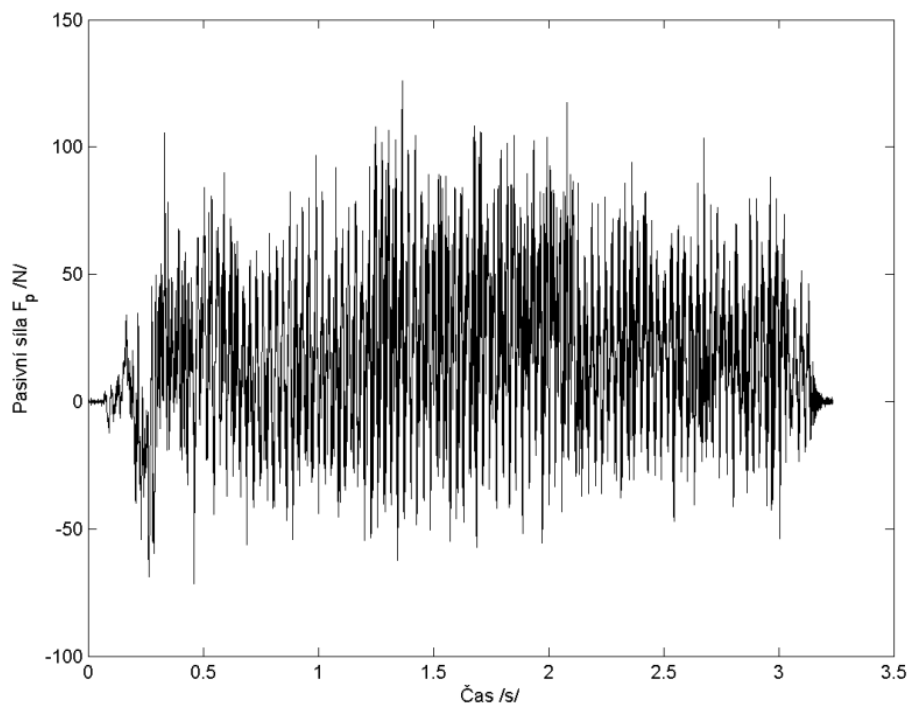
Tab. 3.2.1 -1 Naměřené silové účinky - dle[9]



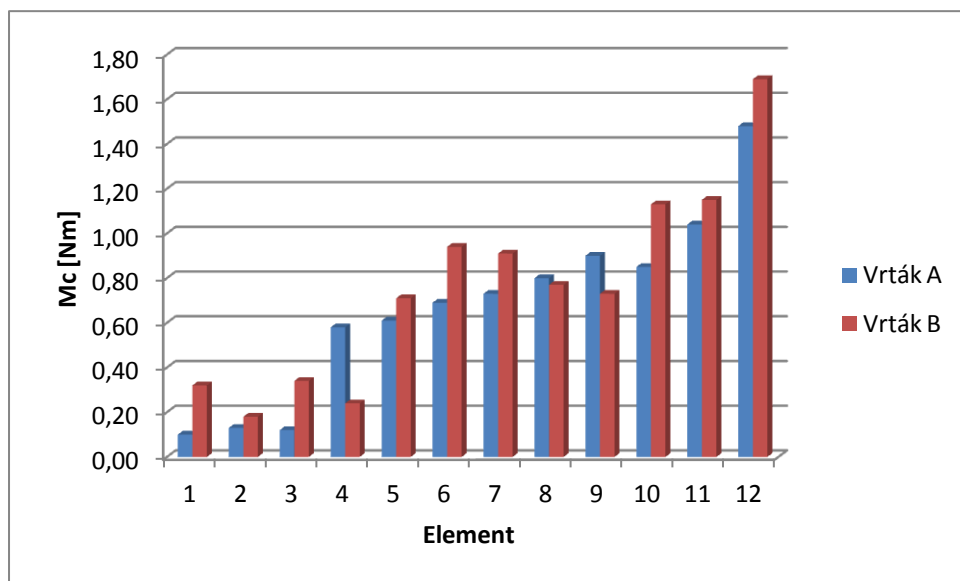
Obr. 3.2.1 -2 Reálný graf zobrazující průběh posuvové síly – dle[9]



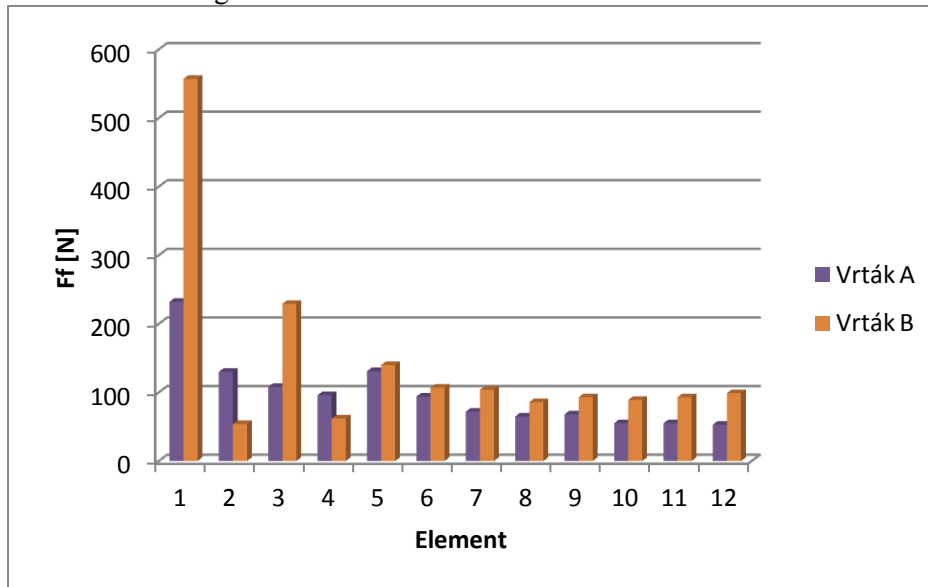
Obr. 3.2.1 -3 Reálný graf zobrazující průběh krouticího momentu – dle[9]



Obr. 3.2.1 –4 Reálný graf zobrazující průběh pasivní síly – dle[9]



Obr. 3.2.1 –5 Graf zobrazující průběh krouticího momentu – dle[9]



Obr. 3.2.1 –6 Graf zobrazující průběh pasivní síly – dle[9]

3.3 Shrnutí výsledků pokusu

Kvůli neznámé geometrii nástrojů, není možné zavedení relace mezi silami a geometrií. Avšak z naměřených sil můžeme čerpat do další části práce. Konkrétně je využita skutečnost, že síla F_f se směrem od špičky snižuje a síla F_c směrem od špičky narůstá. A jak již bylo řečeno, síla F_p není vyhodnocena. Pro další část práce budeme uvažovat dokonale symetricky nabroušený vrták. Není tedy třeba v tomto případě brát pasivní účinek v úvahu.

3.4 Vyjádření závislosti geometrie na velikosti celkové řezné síly

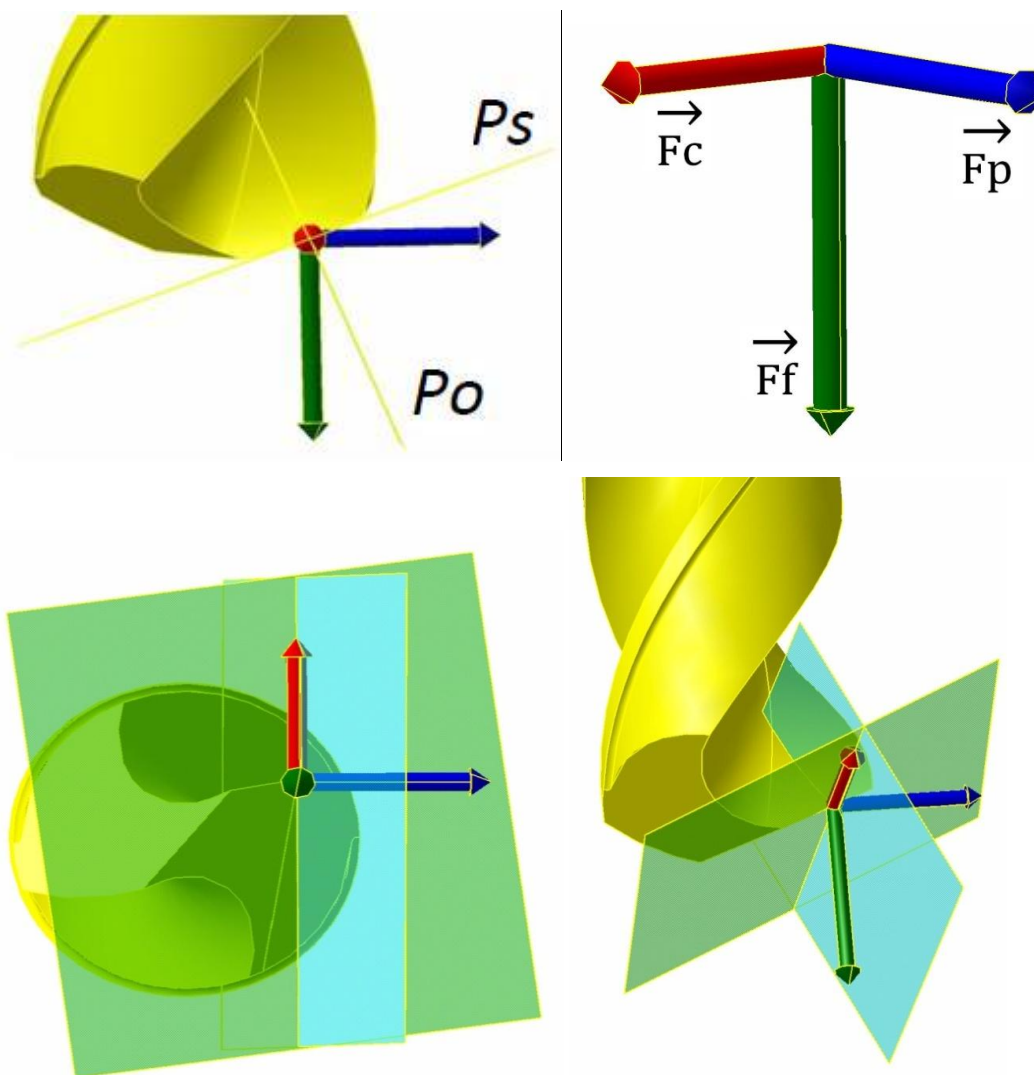
- zpracováno dle podkladů od vedoucího práce

3.4.1 Vývoj vzorce

Postup práce:

- 1) Rozložení celkové řezné síly na složku: řeznou, posuvovou a pasivní.
- 2) Promítnutí složek do roviny ortogonální a roviny ostří.
- 3) Rozložení promítnutých složek na účinky tečné a normálové v obou rovinách.
- 4) Součet všech tečných účinků a součet všech normálových účinků zvlášť v každé z rovin.
- 5) Získání celkové síly v rovině ortogonální i v rovině ostří.
- 6) Získání celkové síly obou rovin, tedy znovu celkové řezné síly.

- 1) Rozložení celkové řezné síly je zmíněno výše v kapitole 2.2.1 Definice řezných sil.

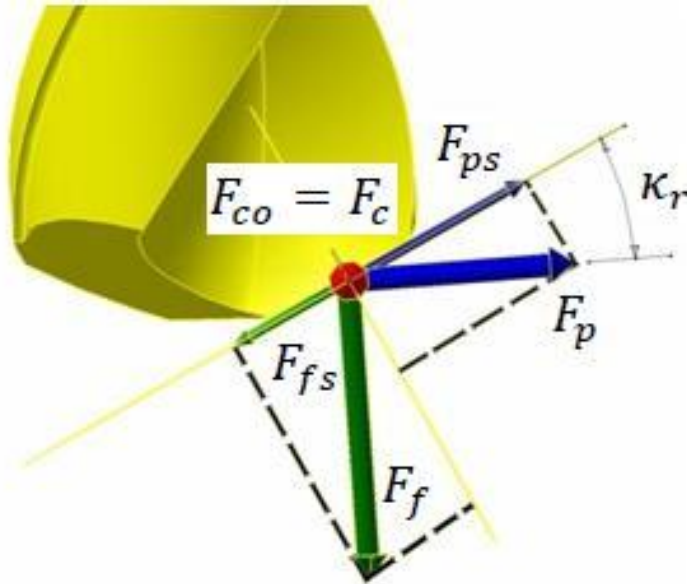


Obr. 3.4.1-1 Složka řezná, posuvová a pasivní

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

2) Promítnutí složek F_p a F_f , tedy pasivního a posuvového účinku celkové řezné síly do roviny ortogonální a roviny ostří, je možné pomocí úhlu nastavení ostří κ_r . Promítnutí složky F_c , tedy řezného účinku celkové řezné síly do roviny ortogonální a roviny ostří, není zapotřebí. Tato složka se totiž nachází v průsečíku obou zmiňovaných rovin, a tudíž celá velikost složky se nachází jak v rovině ortogonální, tak v rovině ostří.

Obr. 3.4.1-2 Promítnutí složek F_p , F_f a F_c

$$F_{po} = F_p \times \sin \kappa_r$$

$$F_{fo} = F_f \times \cos \kappa_r$$

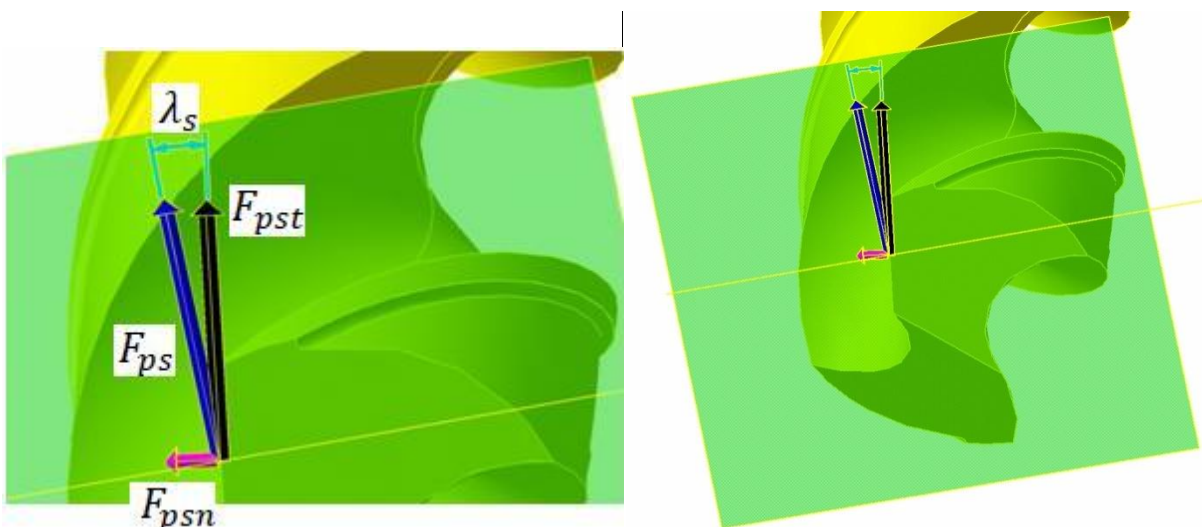
$$F_{co} = F_c$$

$$F_{ps} = F_p \times \cos \kappa_r$$

$$F_{fs} = F_f \times \sin \kappa_r$$

$$F_{cs} = F_c$$

3) Při rozkládání sklopených složek na účinky tečné a normálové jsou v rovině ortogonální tyto účinky závislé na úhlu čela, zatím co v rovině ostří na úhlu nastavení ostří. Výsledkem tohoto kroku je získání třech tečných a třech normálových sil v každé z rovin.



Obr. 3.4.1-3 Rozložení pasivního účinku na složku tečnou a normálovou v rovině ostří

$$F_{psn} = F_{ps} \times \sin \lambda_s = F_p \times \cos \kappa_r \times \sin \lambda_s$$

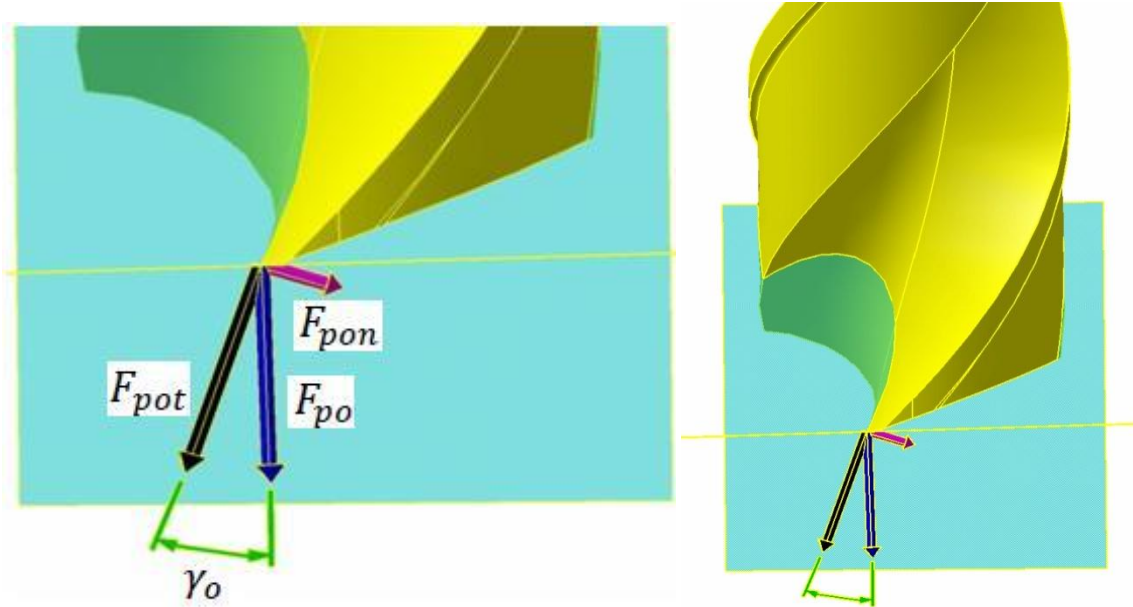
$$F_{pst} = F_{ps} \times \cos \lambda_s = F_p \times \cos \kappa_r \times \cos \lambda_s$$

$$F_{f sn} = F_{fs} \times \sin \lambda_s = F_f \times \sin \kappa_r \times \sin \lambda_s$$

$$F_{fst} = F_{fs} \times \cos \lambda_s = F_f \times \sin \kappa_r \times \cos \lambda_s$$

$$F_{csn} = F_{cs} \times \cos \lambda_s = F_c \times \cos \lambda_s$$

$$F_{cst} = F_{cs} \times \sin \lambda_s = F_c \times \sin \lambda_s$$



Obr. 3.4.1-4 Rozložení pasivního účinku na složku tečnou a normálovou v rovině ortogonální

$$F_{pon} = F_{po} \times \sin \gamma_o = F_p \times \sin \kappa_r \times \sin \gamma_o$$

$$F_{pot} = F_{po} \times \cos \gamma_o = F_p \times \sin \kappa_r \times \cos \gamma_o$$

$$F_{fon} = F_{fo} \times \sin \gamma_o = F_f \times \cos \kappa_r \times \sin \gamma_o$$

$$F_{fot} = F_{fo} \times \cos \gamma_o = F_f \times \cos \kappa_r \times \cos \gamma_o$$

$$F_{con} = F_{co} \times \cos \gamma_o = F_c \times \cos \gamma_o$$

$$F_{cot} = F_{co} \times \sin \gamma_o = F_c \times \sin \gamma_o$$

4) Provedení součtu všech tečných účinků a dále součtu všech normálových účinků zvlášť v každé z rovin. Je tedy proveden součet sil v jedné rovině a v jednom směru, například tečném, který je nazván jako celkový tečný účinek dané roviny. Poté je ve stejné rovině, ale v kolmém směru proveden součet sil, který je nazván jako celkový normálový účinek dané roviny. Tato operace musí být provedena u obou rovin.

$$\begin{aligned} F_{no} &= -F_{pon} - F_{fon} + F_{con} = \\ &= -F_p \times \sin \kappa_r \times \sin \gamma_o - F_f \times \cos \kappa_r \times \sin \gamma_o + F_c \times \cos \gamma_o \end{aligned}$$

$$F_{to} = F_{pot} + F_{fot} + F_{cot} = F_p \times \sin \kappa_r \times \cos \gamma_o + F_f \times \cos \kappa_r \times \cos \gamma_o + F_c \times \sin \gamma_o$$

$$F_{ns} = F_{psn} - F_{fsn} + F_{csn} = F_p \times \cos \kappa_r \times \sin \lambda_s - F_f \times \sin \kappa_r \times \sin \lambda_s + F_c \times \cos \lambda_s$$

$$\begin{aligned} F_{ts} &= -F_{pst} + F_{fst} + F_{cst} = \\ &= -F_p \times \cos \kappa_r \times \cos \lambda_s + F_f \times \sin \kappa_r \times \cos \lambda_s + F_c \times \sin \lambda_s \end{aligned}$$

5) Dochází k získání celkové síly v rovině ortogonální i v rovině ostří. Celková síla se získá pomocí vektorového součtu v dané rovině. Díky této operaci není důležité, zda výsledky celkového normálového a tečného účinku vycházejí kladně či záporně.

$$F_o = \sqrt{F_{no}^2 + F_{to}^2}$$

$$F_o = \sqrt{\frac{(-F_p \times \sin \kappa_r \times \sin \gamma_o - F_f \times \cos \kappa_r \times \sin \gamma_o + F_c \times \cos \gamma_o)^2 + (F_p \times \sin \kappa_r \times \cos \gamma_o + F_f \times \cos \kappa_r \times \cos \gamma_o + F_c \times \sin \gamma_o)^2}{}}$$

$$F_s = \sqrt{F_{ns}^2 + F_{ts}^2}$$

$$F_s = \sqrt{\frac{(F_p \times \cos \kappa_r \times \sin \lambda_s - F_f \times \sin \kappa_r \times \sin \lambda_s + F_c \times \cos \lambda_s)^2 + (F_p \times \cos \kappa_r \times \cos \lambda_s + F_f \times \sin \kappa_r \times \cos \lambda_s + F_c \times \sin \lambda_s)^2}{}}$$

6) Získání celkové síly z obou rovin, tedy znovu celkové řezné síly. V tomto kroku je proveden opět vektorový součet a to výsledné síly z roviny ortogonální a výsledné síly z roviny ostří.

$$F = \sqrt{F_o^2 + F_s^2} = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2}$$

Pro nahrazení úhlu čela použijeme jeho závislost na úhlu stoupání šroubovice, úhlu nastavení ostří a na vzdálenosti od osy nástroje.

$$\cotg \gamma_o = \frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r$$

Po úpravě:

$$\gamma_o = \operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right)$$

Jak je z tohoto vzorce zřejmé, díky zahrnutí D_x , získáváme výslednou hodnotu γ_o pro konkrétní místo na ostří. Tedy pro dvě konkrétní místa v případě, že uvažujeme dokonale symetricky nabroušené ostří.

$$F_o = \frac{\sqrt{[-F_p \times \sin \kappa_r \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) - F_f \times \cos \kappa_r \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) + F_c \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right)]^2 + [F_p \times \sin \kappa_r \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) + F_f \times \cos \kappa_r \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) + F_c \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right)]^2}}{\sqrt{[-F_p \times \sin \kappa_r \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) - F_f \times \cos \kappa_r \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) + F_c \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right)]^2 + [F_p \times \sin \kappa_r \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) + F_f \times \cos \kappa_r \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) + F_c \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right)]^2}}$$

Po dosazení předchozího vztahu do rovnice pro výpočet celkové síly v rovině ortogonální, musíme dále uvést předpoklad, že úhel sklonu ostří λ_s bude konstantní po celé délce ostří. Tudíž není třeba nahrazovat tento úhel v rovině ostří. Nyní jsou vyjádřeny hodnoty všech potřebných úhlů a může být proveden vektorový součet roviny ortogonální a roviny ostří.

Nyní můžeme tedy zapsat výsledný vztah jako:

$$\begin{aligned}
 F = & \sqrt{[-F_p \times \sin \kappa_r \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) -} \\
 & \frac{F_f \times \cos \kappa_r \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) +}{F_c \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right)]^2 +} \\
 & \frac{[F_p \times \sin \kappa_r \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) +}{F_f \times \cos \kappa_r \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) +} \\
 & \frac{F_c \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right)]^2 +}{(F_p \times \cos \kappa_r \times \sin \lambda_s - F_f \times \sin \kappa_r \times \sin \lambda_s + F_c \times \cos \lambda_s)^2 +} \\
 & \frac{(F_p \times \cos \kappa_r \times \cos \lambda_s + F_f \times \sin \kappa_r \times \cos \lambda_s + F_c \times \sin \lambda_s)^2}{}
 \end{aligned}$$

Do této chvíle byl ponechán pasivní účinek řezné síly, pro případ jiného budoucího využití vzorce či jeho úpravy požadující zanesení tohoto účinku. Pro tento případ je však uvažováno, že vrták je dokonale symetrický a tedy pasivní účinek na jednom břitu je stejně velký, opačně orientovaný než na břitu druhém. Z těchto důvodů je tedy možné připustit $F_p = 0$.

Další úpravou je nahrazení neznámých účinků pomocí znalosti jejich průběhů, které jsou ovšem zjednodušeny kvůli příznivějšímu řešení.

$$F_c = \pi * D_x * n * k_{c1}$$

$$F_f = b_1 + (D - D_x) * k_{f1}$$

Nahrazení těmito účinky splňuje předpoklady pro požadované řešení, pouze je zde zanesena jistá nepřesnost vzhledem k linearizaci procesu.

$$\begin{aligned}
F_{(D_x)} = & \sqrt{[-b_1 - (D - D_x) * k_{f1} \times \cos \kappa_r \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) +} \\
& \frac{\pi * D_x * n * k_{c1} \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) +}{b_1 + (D - D_x) * k_{f1} \times \cos \kappa_r \times \cos \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right) +} \\
& \frac{\pi * D_x * n * k_{c1} \times \sin \left(\operatorname{arccotg} \left(\frac{D}{D_x} \times \cotg \omega \times \sin \kappa_r \right) \right)]^2 +}{(- (b_1 + (D - D_x) * k_{f1}) \times \sin \kappa_r \times \sin \lambda_s + \pi * D_x * n * k_{c1} \times \cos \lambda_s)^2 +} \\
& \frac{(+ b_1 + (D - D_x) * k_{f1} \times \sin \kappa_r \times \cos \lambda_s + \pi * D_x * n * k_{c1} \times \sin \lambda_s)^2}{}
\end{aligned}$$

Poslední fází výpočtu je určení konstant a koeficientů. Přesnost jejich určení závisí na kvalitě provedeného experimentu, který by měl být cíleně připraven a mířen na tuto skutečnost.

Pro výše uvedené informace je třeba konkrétnějších experimentů a není možné pokračovat se stávajícími znalostmi této problematiky.

3.4.2 Výsledek vzorce

Vzorec měl být schopen vyjádřit velikost síly na libovolné části ostří vrtáku. Avšak pro dokončení je nutné doplnit ve vzorci neznámé pomocí experimentů. Výsledný vztah můžeme považovat za první hrubější odhad rozložení silových účinků v závislosti na geometrii. Poměrně snadný přístup této metody, by byl časově méně náročný, než současné způsoby výpočtů. Jako další využití se nabízí, zjištění silového účinku posuvové síly, po zadání geometrie nástroje, které by se využívalo například při vrtání do tenkých obrobků.

4 Závěr

Úkolem této práce bylo určení relace mezi silovým zatížením a geometrií šroubovitých vrtáků. Podle podkladů od vedoucího této práce byl vyjádřen vzorec, jenž je definován pomocí úhlů u nástrojových rovin. Vývoj vzorce byl doprovázen rozбором praktického experimentu. Experiment posloužil především pro nahrazení silových účinků, které je nutné určit. Vzhledem k časové náročnosti nebylo možné změřit úhly testovaných nástrojů a následně si ověřit výsledky v průběhu odvozování nového vzorce. Výsledný vztah se nepodařilo upravit do požadované formy, která by umožňovala výpočet. K dosažení požadovaného výsledku je třeba provést další experimenty a následně určit zbylé neznámé koeficienty a konstanty.

Pro silové zatížení platí:

- Posuvová složka celkové řezné síly:

- Je u vrtání nejvýraznější složkou.
- Dosahuje maxima v ose nástroje a má klesající tendenci směrem od ní.
- Výrazně ji ovlivňuje způsob broušení.

- Řezná složka celkové řezné síly:

- Je druhou nejvýraznější složkou.
- Její maximum leží na obvodu nástroje a klesá až na nulu u hrotu nástroje.
- Nejvíce ji ovlivňuje úhel čela (závislost na nastavení hl. ostří a stoupání šroubovice).

- Pasivní účinek celkové řezné síly:

- Je nejmenším účinkem.
- Způsobuje jej nesymetrie nástroje.
- Bývá konstantní.

Možnost hrubého výpočtu silového zatížení z geometrie nástroje při vrtání by v současné době byla v oblasti strojírenství velice přínosná. Hlavně pokud by se čas výpočtu snížil oproti stávající metodě.

Pro dokončení vzorce je třeba správně připravit experiment, který dostačujícím způsobem určí chybějící hodnoty. Bude třeba zahrnout vliv řezných podmínek, materiálu, atd. podle požadavků na konečný vztah.

Seznam použitých zdrojů

- [1] SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže*. Plzeň : Západočeské univerzity, 1998. 272 s. ISBN 80-7082-449-2.
- [2] Schmidt, Eduard. *Příručka řezných nástrojů*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1974.
- [3] *Příručka obrábění : kniha pro praktiky ; přel. Miroslav Kudela*. Praha : Sadvik, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
- [4] *ASM Handbook, Vol. 16: Machining*. Ohio, 1999. ISBN 0871700077.
- [5] Jenčík, Josef; Volf, Jaromír, *Technická měření*, Praha : Vydavatelství ČVUT 2000
- [6] Beneš, Vladimír; Mrkvica, Miloš. *Teorie řezných nástrojů : určeno pro stud. fak. strojní*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1990. ISBN 80-01-00265-9.
- [7] Shaw, Milton Clayton. *Metal cutting principles*. New York : Oxford University Press, 2005. ISBN 0-19-514206-3.
- [8] Childs, Thomas. *Metal machining : theory and applications*. New York : Elsevier, 2000. ISBN 0-340-69159-X.
- [9] Sklenička, Josef; *Diplomová práce: Vliv geometrie břitu produktivních vrtacích nástrojů na velikost řezných sil*. Západočeská univerzita v Plzni : Fakulta strojní, 2009.
- [10] Kocman, Karel; Prokop, Jaroslav. *Technologie výroby II*. VUT v Brně : Fakulta strojního inženýrství 2002.
- [11] Brychta, Josef; *Nové směry v progresivním obrábění*, Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava 2007.
- [12] *Tribotechnické informace*. Technický týdeník. Požadavky na vodou mísitelné obráběcí kapaliny, 2/2007, Ing. Lukáš Bělín, Cimcool Europe B.V.
- [13] Zetek, Miroslav. *Nástroje na výrobu otvorů*. Přednášky z předmětu PNO/KTO, ZČU v Plzni.
- [14] Vyšata, Jiří. *Strojní časy při obrábění*. Přednášky z předmětu PVP/KTO, ZČU v Plzni.
- [15]-Navrtávání: <http://lubos.trminek.cz/view.php?navezclanku=09-objnice&cisloclanku=2009090001>
- [16]-Vrtání krátkých otvorů: <http://lubos.trminek.cz/view.php?navezclanku=dira-pro-maznici&cisloclanku=2009010002>
- [17]-Hluboké vrtání: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vrtani-hlubokych-otvoru.html>

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

[18]-Termální vtrání: HUMÁR, A. Technologie obrábění – 2.část : Studijní opony pro magisterskou formu studia. 2004. 95 s. Dostupný z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/>.>

[19]-Středící vrták: <http://www.foerch.cz/product.aspx?p=ea7a0cfb-68d5-4d39-b1ff-ccb64962e454&g=cc348e57-656c-44c5-892a-5e972b65aed6>

[20]-Šroubovitý vrták: <http://www.flobb.eu/cs/904-vrtak-s-kul-stopkou>

[21]-Kopinatý vrták: <http://www.ua.all.biz/cs/g1004956/>

[22]-Vrták s vyměnitelnou špičkou: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-nastroje-na-imits-2006-chicago.html>

[23]-Vrták s VBD: <http://www.grumant.cz/cs/Nastroje-pro-obrabeni-19.htm>

[24]-Korunkový vrták: http://www.kbcontract.cz/katalog/elektricke-naradi/vrtacky/magneticke/alfra_188/produkt/mini-40-20-weldon

[25]-Dělový vrták: <http://www.manufacturer.com/product/m6512117-Welcome+to+Sterling+Gun+Drills.html>

[26]-Ejektorový vrták: http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/zplna_ejektor

[27]-BTA vrtáky: http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/jadro_bta

[28]-Odstupňovaný vrták: <http://forsteel.eu/stupnovity-vrtak-hss-dm-05-typ-am-30>

[29]-Frézovací vrták: <http://www.naradi-stavebniny.cz/vrtak-frezovaci-6mm-hss-do-dreva-a-plastu/>

[30]-Sdružený vrták: <http://vins-bti.cz/?karta=30136&PHPSESSID=c1fa68f7119e869ede8192a83595d3a2>

[31]-Monolitní vrták: http://www.saldoln.cz/sroubovity-vrtak-na-kov-hssr-din-338-saldo-brusivo_-2156.html

[32]-Modulární vrtáky: <http://www.bigkaiser.com/spade-drills.php>

[33]-Úpravy hrotů: http://www.mavslovakia.sk/pdf/obr_o/obro_08.pdf

[34]-Diagramy: http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnVyroby_II.pdf

[35]- Popis piezoel. Dyn.: http://www.kistler.com/CN_en-cn/644_Biomechanics_MeasuringChains/Measuring-chains-with-piezoelectric-sensors.html

Seznam použitých zkratk a symbolů

a [mm] je jmenovitá tloušťka třísky,

a_p [mm] je šířka záběru ostří,

A – označení vrtáku s přímkovým ostřím,

Al₂O₃ – Oxid hlinitý,

A_p [mm] – šířka záběru ostří,

A' [mm²] je průřez třísky,

b [mm] je jmenovitá šířka třísky,

b_1 [N] je předpokládaná konstantní velikost posuvového účinku,

B – označení vrtáku s tvarovým ostřím,

BTA – Boring and Trepanning Association,

c [-] je počet břitů nástroje,

c_f [-] je koeficient pro výpočet posuvové síly,

c_p [-] je koeficient pro výpočet pasivní síly,

C – Uhlík,

Co – Kobalt,

CO - Oxid uhelnatý,

CoO – Oxid kobaltnatý,

CO₂ – Oxid uhličitý,

Cr₃C₂ – Karbid chromu,

d [mm] je průměr předvrtaného otvoru,

D [mm] je průměr nástroje,

D_o, D_x [mm] je průměr nástroje ve zvoleném bodě na břitu vrtáku,

f_{ot} [mm] je posuv nástroje či obrobku na otáčku,

f_z [mm] je posuv nástroje či obrobku na zub (na břit),

f_1 je funkce jedna,

f_2 je funkce dva,

f_3 je funkce tři,

F [N] je celková řezná síla,

F_c [N] je řezná síla,

F_{co} [N] je řezná síla sklopená do roviny ortogonální,

F_{con} [N] je normálová část řezné síly sklopené do roviny ortogonální,

F_{cot} [N] je tečná část řezné síly sklopené do roviny ortogonální,

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

 F_{cs} [N] je řezná síla sklopená do roviny ostří, F_{csn} [N] je normálová část řezné síly sklopené do roviny ostří, F_{cst} [N] je tečná část řezné síly sklopené do roviny ostří, F_{c1} [N] je řezná síla působící na jeden břit, F_{c2} [N] je řezná síla působící na jeden břit, F_f [N] je posuvová složka celkové řezné síly, F_{fo} [N] je posuvová složka sklopená do roviny ortogonální, F_{fon} [N] je normálová část posuvové síly sklopené do roviny ortogonální, F_{fot} [N] je tečná část posuvové síly sklopené do roviny ortogonální, F_{fs} [N] je posuvová složka sklopená do roviny ostří, F_{fsn} [N] je normálová část posuvové síly sklopené do roviny ostří, F_{fst} [N] je tečná část posuvové síly sklopené do roviny ostří, F_{f1} [N] je posuvová složka celkové řezné síly působící na jeden břit, F_{f2} [N] je posuvová složka celkové řezné síly působící na jeden břit, F_{no} [N] je celková normálová síla v rovině ortogonální, F_{ns} [N] je celková normálová síla v rovině ostří, F_o [N] je celková síla v rovině ortogonální, F_p [N] je pasivní složka celkové řezné síly, F_{po} [N] je pasivní složka sklopená do roviny ortogonální, F_{pon} [N] je normálová část pasivní síly sklopené do roviny ortogonální, F_{pot} [N] je tečná část pasivní síly sklopené do roviny ortogonální, F_{ps} [N] je pasivní složka sklopená do roviny ostří, F_{psn} [N] je normálová část pasivní síly sklopené do roviny ostří, F_{pst} [N] je tečná část pasivní síly sklopené do roviny ostří, F_{p1} [N] je pasivní složka celkové řezné síly působící na jeden břit, F_{p2} [N] je pasivní složka celkové řezné síly působící na jeden břit, F_s [N] je celková síla v rovině ostří, F_{to} [N] je celková tečná síla v rovině ortogonální, F_{ts} [N] je celková tečná síla v rovině ostří, F_x [N] je síla v ose x, F_y [N] je síla v ose y, F_1 [N] je celková řezná síla působící na jeden břit, F_2 [N] je celková řezná síla působící na jeden břit, k_c [N/mm²] je měrná řezná síla, kc_1 [-] je koeficient pro řeznou složku síly,

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

k_f [-] je koeficient pro posuvovou složku síly,

l [mm] je celková dráha pohybu nástroje bez náběhu a přeběhu,

l_n [mm] je délka náběhu,

l_p [mm] je délka přeběhu,

L [mm] je celková dráha vykonaná nástrojem,

L' [mm] je délka vrtané díry,

M_c [Nm] je krouticí moment,

Mo – Molybden,

MQL – Minimum quantity of lubrication,

n [min^{-1}] jsou otáčky nástroje či obrobku,

N – Dusík,

Ni – Nikl,

NbC – Karbid niobu,

P_R – základní rovina,

P_F – boční rovina,

P_P – zadní rovina,

P_S – rovina ostří,

P_o – rovina ortogonální,

P_N – rovina normální,

RO – rychlořezná ocel,

Si_3N_4 – Nitrid křemičitý,

Ta – Tantal,

TaC – Karbid tantalu,

Ti – Titan,

TiC – Karbid titanu,

TiCN – Titanium Carbo- Nitrid,

TiN – Dusičnan titaničitý,

T_s [s] je celkový čas obrábění,

v_a [m/min] je normálová složka řezné rychlosti,

v_b [m/min] je tečná složka řezné rychlosti,

v_c [m/min] je řezná rychlost,

v_e [m/min] je celková rychlost nástroje vůči obrobku,

v_f [m/min] je posuvová rychlost,

VBD – vyměnitelná břitová destička,

VC - Karbid vanadu,

Katedra Technologie Obrábění
W – Wolfram,

Adam Mašek

WC – Karbid wolframu,

z [-] je počet zubů,

ZrO₂ – Oxid zirkoničitý,

α [°] je úhel hřbetu,

α_f [°] je úhel hřbetu v rovině boční,

α_o [°] je úhel hřbetu v rovině ortogonální,

α_p [°] je úhel hřbetu v rovině zadní,

α_s [°] je úhel hřbetu v rovině ostří,

α_l [°] je původní nástrojový úhel hřbetu,

α_{lt} [°] je pracovní úhel hřbetu,

ψ [°] je úhel transformace,

γ_l [°] je původní nástrojový úhel čela,

γ_{lt} [°] je pracovní úhel čela,

β [°] je úhel břítu,

β_f [°] je úhel břítu v rovině boční,

β_o [°] je úhel břítu u v rovině ortogonální,

β_p [°] je úhel břítu u v rovině zadní,

β_s [°] je úhel břítu u v rovině ostří,

γ [°] je úhel čela,

γ_f [°] je úhel břítu v rovině boční,

γ_o [°] je úhel břítu u v rovině ortogonální,

γ_p [°] je úhel břítu u v rovině zadní,

γ_s [°] je úhel břítu u v rovině ostří,

δ [°] je úhel řezu (součtový úhel),

κ [°] je úhel nastavení hlavního ostří,

κ' [°] je úhel nastavení vedlejšího ostří,

κ_r [°] je úhel nastavení hlavního ostří v rovině základní,

ε [°] je vrcholový úhel,

π – Ludojfovo číslo,

λ [°] je úhel sklonu ostří,

λ_s [°] je úhel sklonu ostří v rovině ostří,

ω [°] je úhel sklonu šroubovice,

Přílohy

- zpracováno dle [9]

Příloha č.1: Obráběcí stroj MCV 750A

Druh: vertikální obráběcí centrum

Typ: MCV 750A

Počet NC řízených os: 3

Jmenovitý výkon vřetena: 16kW

Rozsah otáček: 20 až 13000 ot/min

Změna otáček: plynulá

Pojezd v ose X, Y, Z: 750, 500, 500 mm

Rozměry upínacího stolu: 1000 x 500 mm

Pracovní posuv v ose X, Y, Z: 1 až 15000 mm/min

Rychloposuv v ose X, Y, Z: 25000 mm/min

Řídicí systém: Heidenhain TNC 426



Obr. P1-1 Vertikální obráběcí centrum MCV 750A - dle [9]

Katedra Technologie Obrábění
Příloha č.2: Měřicí zařízení

Adam Mašek

a) Čtyřsložkový rotační dynamometr Kistler 9123C,

Měřicí rozsah: $F_x, F_y = \pm 5 \text{ kN}$; $F_z = \pm 20 \text{ kN}$; $M_z = \pm 200 \text{ Nm}$;

Vlastní frekvence: 2 kHz;

Citlivost: $F_x, F_y = 2 \text{ mV/N}$; $F_z = 0,5 \text{ mV/N}$; $M_z = 50 \text{ mV/N}$;

Rozsah provozních teplot: 0 až 60°C;

Průměr: 115 mm;

Výška: 52 mm;

Hmotnost: 3 kg;



Obr. P2-1 Dynamometr Kistler 9123C - dle [9]

Katedra Technologie Obrábění

Adam Mašek

b) zesilovač Kistler 5223,

Počet kanálů: 5;

Počet rozsahů na jeden kanál: 2;

Zesílení kanálu zoom: 10;

Výstupní rozsah: ± 10 V;Zesílení rozsahu 1 pro F_x , F_y , F_z , M_z : 1 V = 500 N, 500 N, 2 kN, 20 Nm;Zesílení rozsahu 2 pro F_x , F_y , F_z , M_z : 1 V = 50 N, 50 N, 200 N, 2 Nm;

Vzorkovací frekvence na kanál: 7,8 kHz;

Hraniční kmitočet na kanál: 1,0 kHz;

Rozměry: 340x187x280 mm;

Hmotnost: 8 kg;

Rozsah pracovních teplot: 0 až 60°C;



Obr. P2-2 Zesilovač Kistler 5223 - dle [9]

Katedra Technologie Obrábění
c) měřicí karta DAQCard 6062E.

Adam Mašek

Počet vstupů: 16;

Počet výstupů: 2;

Vzorkovací frekvence: 500 kHz;



Obr. P2-3 Měřicí karta DAQCard 6062E - dle [9]