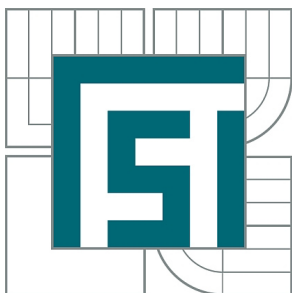




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝKONNÉ NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ

EFFECTIVE MILLING TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR PASEKA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Paseka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výkonné nástroje pro frézování

v anglickém jazyce:

Effective milling tools

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na frézovací nástroje z hlediska jejich rozdělení, označování, materiálu, užití a současných trendů vývoje a výroby u renomovaných špičkových producentů nástrojů, v konstrukční i materiállové oblasti.

Cíle bakalářské práce:

1. Základní charakteristiky frézování
2. Charakteristika frézovacích nástrojů z hlediska konstrukce, nástrojového materiálu, způsobu označování a užití
3. Frézovací nástroje v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Technologie frézování. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Září 2004. ISSN 1212-2572., s. 26-50.
4. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Upínání rotačních nástrojů. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Září 2004. ISSN 1212-2572., s. 70-83.
5. HUMÁR, A. Technologie I - Technologie obrábění - 1. část. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003. [online]. Dostupné na World Wide Web: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf.
6. HUMÁR, A. Technologie I - Základní metody obrábění - 1. část. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2004. [online]. Dostupné na World Wide Web: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf.
7. Odborné časopisy: CIRP Annals - Manufacturing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00078506>), International Journal of Machine Tools and Manufacture (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/08906955>), Journal of Materials Processing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09240136>), Wear (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648>).
8. Technické materiály a prospekty firem Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Mitsubishi, Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco, Walter, Widia, WNT.

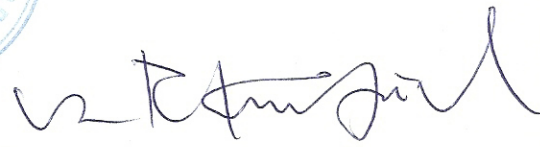
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 30.10.2013




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce jsou výkonné nástroje pro frézování. První kapitola je zaměřena na popis základních charakteristik frézování. Ve druhé kapitole je rozdělení a popis frézovacích nástrojů z hlediska konstrukce, materiálu, využití a značení. Poslední kapitola obsahuje výběr z nabídky třech druhů frézovacích nástrojů a řezných materiálů od dvou významných producentů a jejich porovnání. Porovnávány byly frézovací nástroje čelní, kotoučové a do rohu. Domácím producentem je Pramet Tools s.r.o. a světovým je Sandvik Coromant.

Klíčová slova

frézování, nástroje, konstrukce, materiál, výrobci

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis are effective milling tools. First chapter is focused on description of the basic milling characteristics. Distribution and description of milling tools from the point of view of their construction, material, use and labeling is in the second chapter. Last chapter contains selection of three types of milling tools and cutting materials from two important producers and their comparison. The types of milling tools are face milling tools, radial slot milling tools and shoulder milling tools. The home producer is Pramet Tools s.r.o and the world producer is Sandvik Coromant.

Key words

milling, tools, construction, material, producers

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PASEKA, P. Výkonné nástroje pro frézování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 36 s., 1 příloha. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výkonné nástroje pro frézování** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Petr Paseka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za věnovaný čas, cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	8
1 CHARAKTERISTIKA FRÉZOVÁNÍ	9
1.1 Základní pojmy	9
1.1.1 Průřez třísky	10
1.1.2 Řezná rychlost.....	12
1.1.3 Řezné síly.....	12
1.1.4 Jednotkový strojní čas.....	14
1.1.5 Planetové frézování.....	15
1.1.6 Okružní frézování	16
2 Charakteristika frézovacích nástrojů	17
2.1 Dělení z hlediska konstrukce	17
2.2 Dělení podle geometrického tvaru funkční části	18
2.3 Dělení z hlediska nástrojového materiálu	18
2.3.1 Rychlořezné oceli	19
2.3.2 Slinuté karbidy	19
2.3.3 Cermety.....	21
2.3.4 Řezná keramika.....	21
2.3.5 PKNB.....	21
2.3.6 PKD	22
2.4 Využití frézovacích nástrojů	22
2.5 Značení frézovacích nástrojů s VBD podle ISO.....	24
3 Frézovací nástroje v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů.....	24
3.1 Nabídka vybraných čelních frézovacích nástrojů	25
3.2 Nabídka vybraných frézovacích nástrojů do rohu	26
3.3 Nabídka vybraných kotoučových frézovacích nástrojů.....	27
3.4 Nabídka vybraných materiálů pro VBD.	28
ZÁVĚR	31
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	32
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	35

ÚVOD

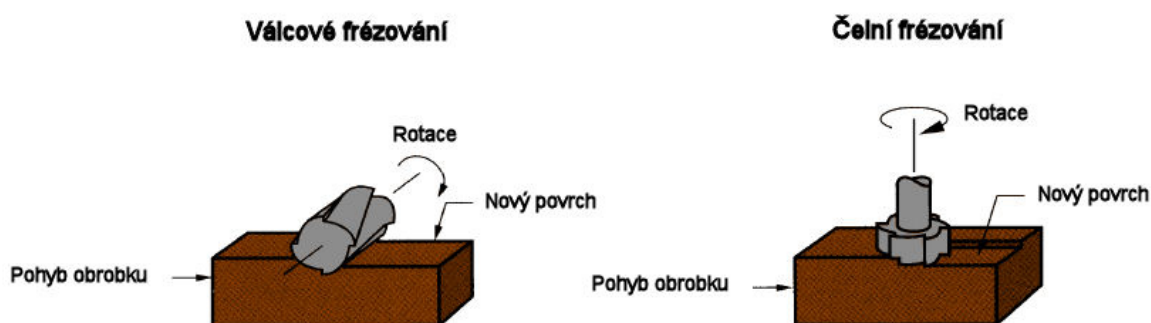
V dnešní době patří frézování k nejvyžívanějším metodám obrábění. Jelikož je tato metoda velice rozšířená, kladou se na nástroje vysoké požadavky. Mezi ty hlavní patří efektivita nástroje při obráběcí operaci, dále se požaduje vysoká trvanlivost nástroje a úspora nákladů na obrábění. Z těchto důvodů bylo nutné vytvořit velké množství frézovacích nástrojů, které se skládají z těla s několika břity a liší se od sebe v mnoha aspektech. Každý frézovací nástroj je specifický svými rozměry, konstrukčním řešením, tvarem, materiálem, upínáním do frézky, využitím a dalšími vlastnostmi. Všechny tyto vlastnosti je nutné zohlednit při výběru vhodného nástroje pro danou frézovací operaci.

1 CHARAKTERISTIKA FRÉZOVÁNÍ

Frézování patří k nejrozšířenějším formám obrábění materiálu. Je používáno k obrábění rovinných a tvarových ploch na nerotačních součástech. Frézovací nástroj se jmenuje fréza. Jde o vícebřitý nástroj, který svým hlavním rotačním pohybem odebírá materiál obrobku. Ten koná vedlejší posuvný pohyb. Řezný proces probíhá přerušovaně, všechny zuby frézy odebírají třísky proměnné tloušťky.

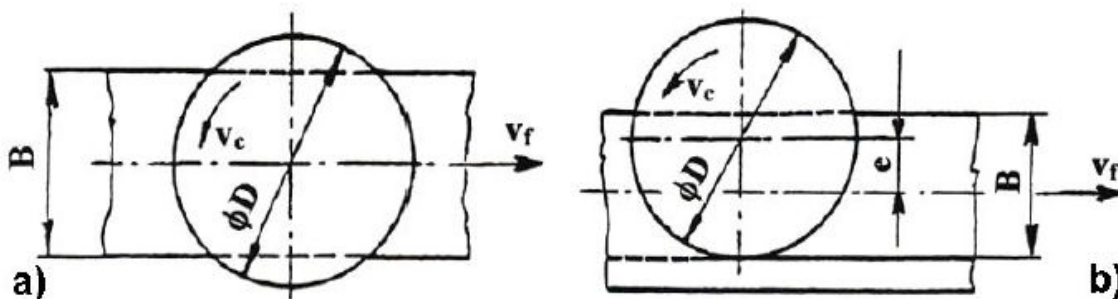
1.1 Základní pojmy

Dva základní typy frézování se rozlišují podle použitého nástroje. Jedná se o čelní a válcové frézování. Čelní frézování je prováděno čelem nástroje (obr. 1.1). Zuby jsou vytvořeny na čele i obvodu nástroje. Válcové frézování je prováděno obvodem nástroje (obr. 1.1). Zde jsou zuby umístěny jen na obvodě nástroje. Z těchto dvou základních typů je odvozené planetové a okružní frézování.

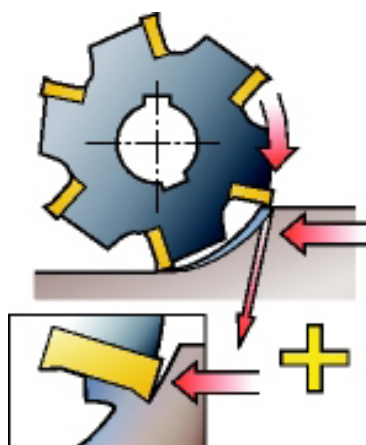


Obr. 1.1 Válcové a čelní frézování. [1]

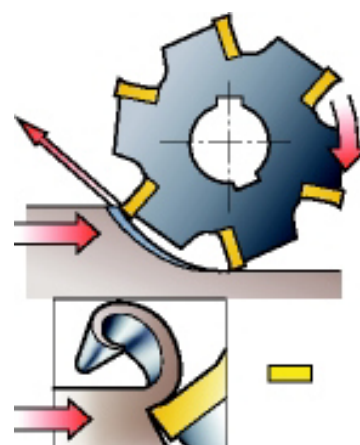
Čelní frézování se dělí podle polohy nástroje na symetrické a nesymetrické (obr. 1.2). Válcové frézování se v závislosti na pohybu nástroje vůči obrobku dělí na sousledné (obr. 1.3) a nesousledné (obr. 1.4).



Obr. 1.2 Čelní frézování: a) symetrické, b) nesymetrické. [2]



Obr. 1.3 Sousedné frézování. [3]



Obr. 1.4 Nesousledné frézování.[3]

Při sousledném frézování nástroj rotuje ve stejném smyslu, jakým se posouvá obrobek. Tloušťka třísky se v průběhu záběru zubu mění z maximální na nulovou. Řezné síly směřují u tohoto způsobu frézování zpravidla dolů, proto je nutné tomu frézku přizpůsobit. Musí dojít k vymezení vůle a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu, jinak by mohlo dojít k nerovnoměrnému posuvu. Tím pádem by mohlo dojít k poškození nástroje i stroje. Z výhod sousledného frézování lze jmenovat: [4]

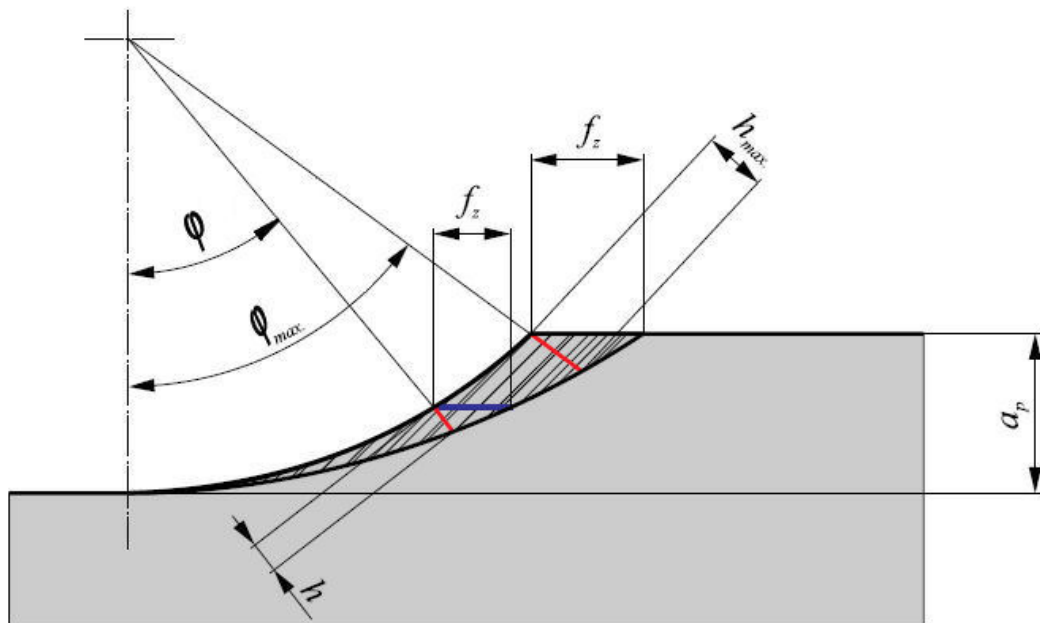
- vyšší trvanlivost břitů (umožňuje použít vyšší řezné rychlosti),
- menší potřebný řezný výkon,
- použití jednodušších upínacích prostředků,
- dochází k menšímu chvění,
- nižší drsnost obrobeného povrchu.

Během nesousledného frézování rotuje nástroj opačným směrem, než se posouvá obrobek. Břity mají nižší trvanlivost než u sousledného frézování. Kvůli vzniklému tření dochází k odírání břitu a zvyšování teploty, proto dochází k jeho rychlejšímu opotřebení. Břity zabírají do nově vytvořené plochy, která je zpevněna po záběru předchozího břitu, což má za následek další snižování trvanlivosti. Tloušťka třísky je při počátečním záběru zubu nulová a postupně roste na maximální hodnotu. Řezné síly zde působí směrem nahoru. Tím dochází k odtahování obrobku od stolu. Mezi výhody nesousledného frézování patří: [2]

- není nutné vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
- menší opotřebení šroubu a matice,
- klidnější obrábění bez rázů,
- záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu.

1.1.1 Průřez třísky

Rozměry třísky (obr. 1.5) se během obráběcího procesu neustále mění. Jedná se o jmenovitou tloušťku třísky, která se značí h_i a je funkcí úhlu polohy zubu φ , jmenovitý průřez třísky A_{Di} a jmenovitá šířka třísky b_i . Tyto rozměry lze určit pomocí následujících vztahů:



Obr. 1.5 Změna rozměru třísky u válcového frézování. [5]

Jmenovitá tloušťka třísky se vypočítá ze vztahu: [2]

$$h_i = f(\varphi) = f_z \cdot \sin \varphi \text{ [mm]} \quad (1)$$

kde: f_z [mm] - posuv na zub,
 φ [°] - úhel polohy zubu.

Maximální hodnota jmenovité tloušťky třísky je: [4]

$$h_{\max} = f_z \cdot \sin \varphi_{\max} \text{ [mm]} \quad (2)$$

Jmenovitý průřez třísky se vypočítá: [2]

$$A_{Di} = h_i \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3)$$

kde: a_p [mm] - šířka záběru ostří.

Maximální hodnota jmenovitého průřezu třísky je dána vztahem: [2]

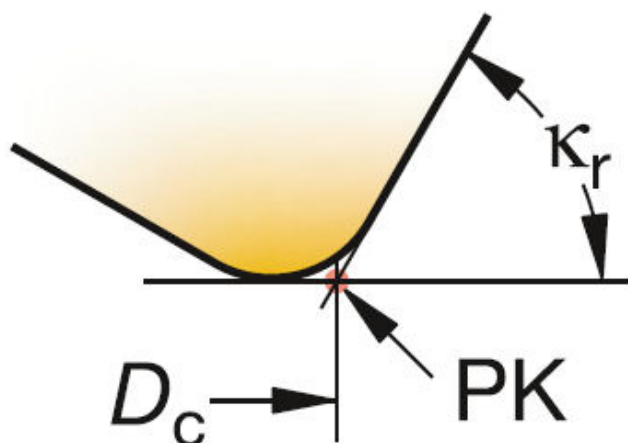
$$A_{D\max} = h_{\max} \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{\max} \text{ [mm]} \quad (4)$$

Vztahy (1) až (4) se používají v případě válcového frézování. Pro čelní frézování se používají následující vztahy:

Jmenovitá tloušťka: [2]

$$h_i = f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi \quad (5)$$

kde: κ_r [°] - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří (obr. 1.6).

Obr. 1.6 Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří κ_r . [6]

Jmenovitá šířka třísky: [2]

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} [\text{mm}] \quad (6)$$

Jmenovitý průřez třísky: [2]

$$A_{Di} = h_i \cdot b = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi [\text{mm}^2] \quad (7)$$

1.1.2 Řezná rychlost

Vztah pro řeznou rychlost: [2]

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (8)$$

kde: D [mm] - průměr nástroje,
 n [min^{-1}] - otáčky nástroje.

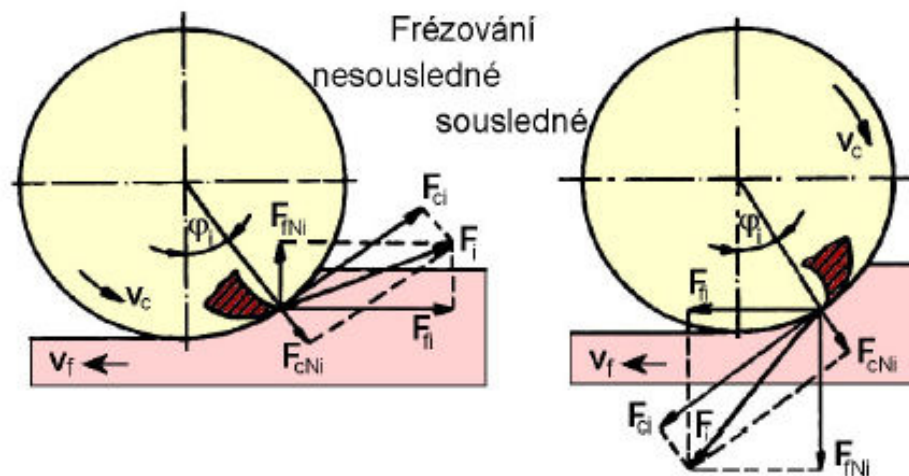
Dráha, kterou urazí obrobek za dobu záběru zubu, se nazývá posuv na zub. Z této veličiny se může vypočítat posuv na otáčku, což je dráha, uražena obrobkem za jednu otáčku nástroje: [2]

$$f_n = f_z \cdot z [\text{mm}] \quad (9)$$

kde: z [-] - počet zubů.

1.1.3 Řezné síly

Pro definování řezných sil u frézovacího procesu se vychází ze silových poměrů na jednom břitu. Tento břit se nachází v poloze stanovené úhlem φ . Celková řezná síla, která působí na jednom břitu F_i , je pro nástroj s přímými zuby při válcovém frézování rozložena na složky F_{ci} a F_{cNi} , resp. na složky F_{fi} a F_{fNi} (obr. 1.7). [2]



Obr. 1.7 Rozložení řezných sil na břitu válcové frézy. [2]

Vztah pro řeznou sílu: [2]

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [N]} \quad (10)$$

kde: k_{ci} [MPa] - měrná řezná síla.

Podobným způsobem se vyjádří řezná síla F_{ci} pro čelní frézování. Ve vztahu se navíc musí uvažovat nástrojový úhel nastavení hlavního ostří κ_r . Základní vztah pro řeznou sílu je stejný jako rovnice (10).

Upravený vztah řezné síly pro čelní frézování: [2]

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sin^x \varphi \text{ [N]} \quad (11)$$

kde: C_{Fc} [-] - konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu,
 x [-] - exponent vlivu tloušťky třísky.

Vztahy (10) a (11) platí při záběru jednoho břitu. V praxi se do záběru ve většině případů dostane více břitů najednou. Výsledná síla je v tomto případě závislá na jejich počtu a poloze. Celková řezná rychlost F_c má potom při válcovém frézování tvar: [2]

$$F_c = \sum_i^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum_i^{n_z} \sin^x \varphi \text{ [N]} \quad (12)$$

kde: n_z [-] - počet zubů v současném záběru

Celková řezná síla při čelním frézování je vyjádřena vztahem: [2]

$$F_c = \sum_i^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \cdot \sum_i^{n_z} \sin^x \varphi \text{ [N]} \quad (13)$$

1.1.4 Jednotkový strojní čas

Jednotkový strojní čas se obecně vyjadřuje rovnicí: [2]

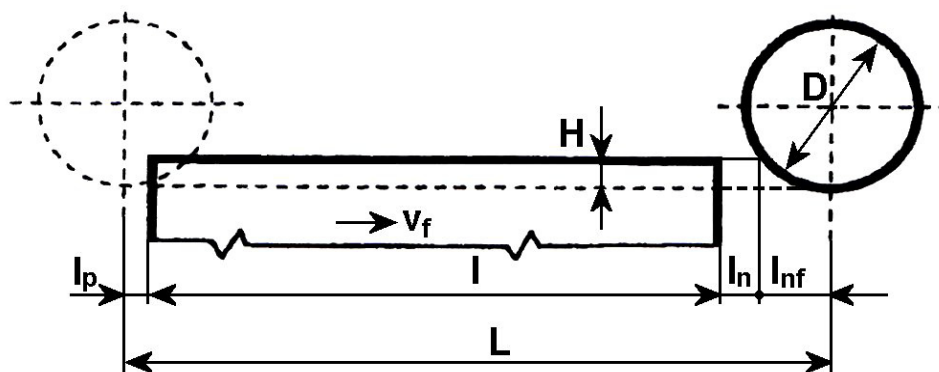
$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} [\text{min}] \quad (14)$$

kde: L [mm] - dráha nástroje ve směru posuvového pohybu,
 v_f [mm.min⁻¹] - posuvová rychlost.

Dráha L pro válcové frézování (obr. 1.8) je dána vztahem: [2]

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} [\text{mm}] \quad (15)$$

kde: l [mm] - délka obrobku,
 l_n [mm] - délka náběhu,
 l_p [mm] - délka přeběhu,
 l_{nf} [mm] - délka záběru.



Obr. 1.8 Dráha frézy ve směru posuvového pohybu pro válcové frézování. [2]

Odvozený vztah pro l_{nf} : [2]

$$l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)} [\text{mm}] \quad (16)$$

kde: H [mm] - hloubka odebírané vrstvy.

Dráha L pro čelní hrubé frézování asymetrické (obr. 1.9) je dána vztahem: [2]

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} [\text{mm}] \quad (17)$$

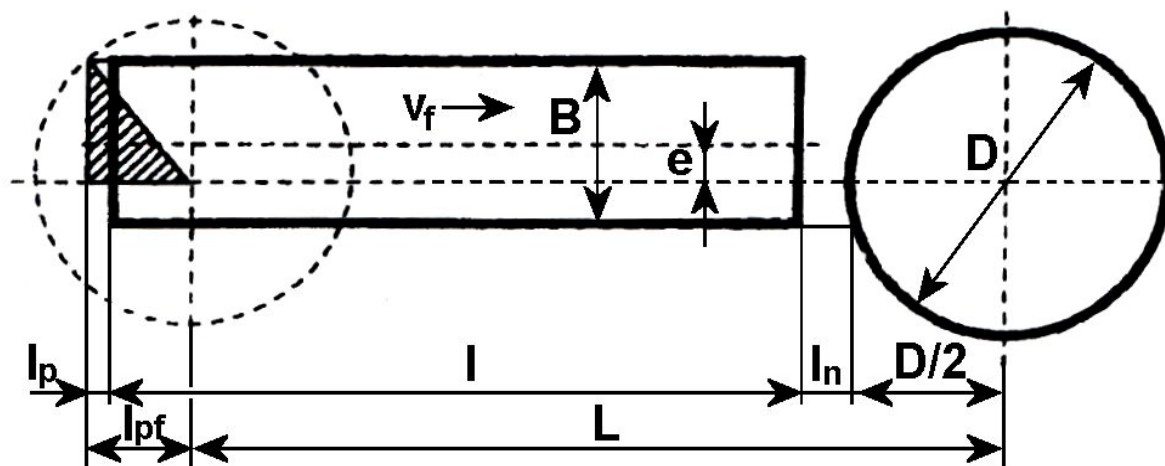
kde: l_{pf} [mm] - pomocná hodnota pro výpočet dráhy L

Hodnota l_{pf} je dána: [2]

$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} [\text{mm}] \quad (18)$$

kde: B [mm] - šířka obrobku,
 e [mm] - vyosení.

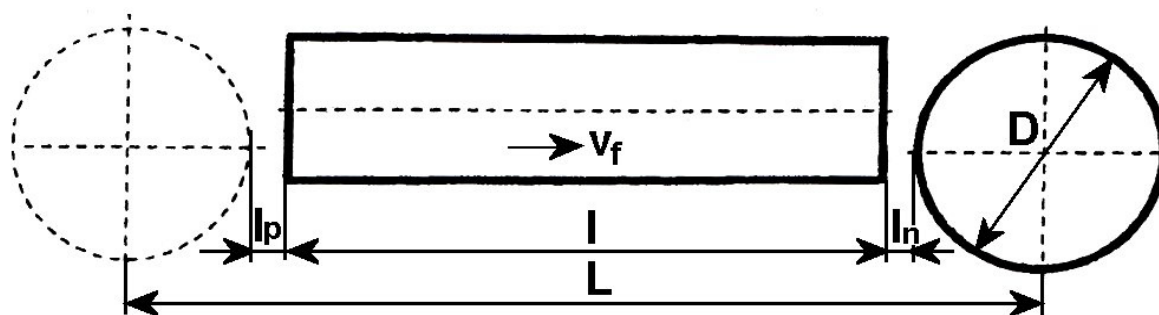
Pokud se jedná o hrubé čelní symetrické frézování, tak má člen e v rovnici (18) nulovou hodnotu.



Obr. 1.9 Dráha frézy ve směru posuvového pohybu pro hrubé čelní frézování asymetrické. [2]

Hodnota L pro čelní frézování na čisto asymetrické (obr. 1.10): [2]

$$L = l + l_n + l_p + D \text{ [mm]} \quad (19)$$

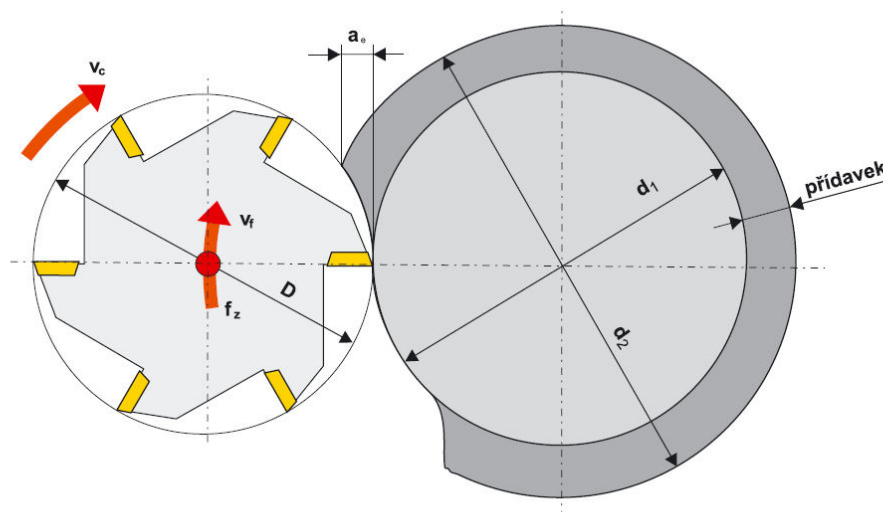


Obr. 1.10 Dráha frézy ve směru posuvového pohybu pro čelní frézování na čisto asymetrické. [2]

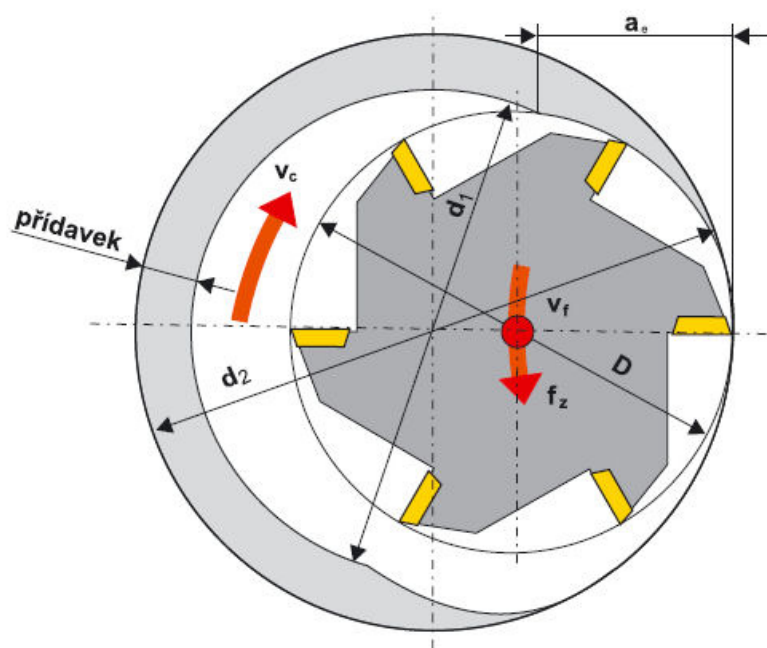
1.1.5 Planetové frézování

Tento způsob frézování se používá pro obrábění rotačních ploch nebo jen jejich částí na číslicově řízených frézkách nebo obráběcích centrech s kruhovou interpolací. Obrobek lze frézovat jak z vnější strany (obr. 1.11), tak i z vnitřní strany (obr. 1.12). Planetové frézování umožňuje obrobít: [4]

- vnitřní zápichy,
- kruhová zaoblení,
- vnější válcové výstupky,
- větší otvory,
- čelní plochy.



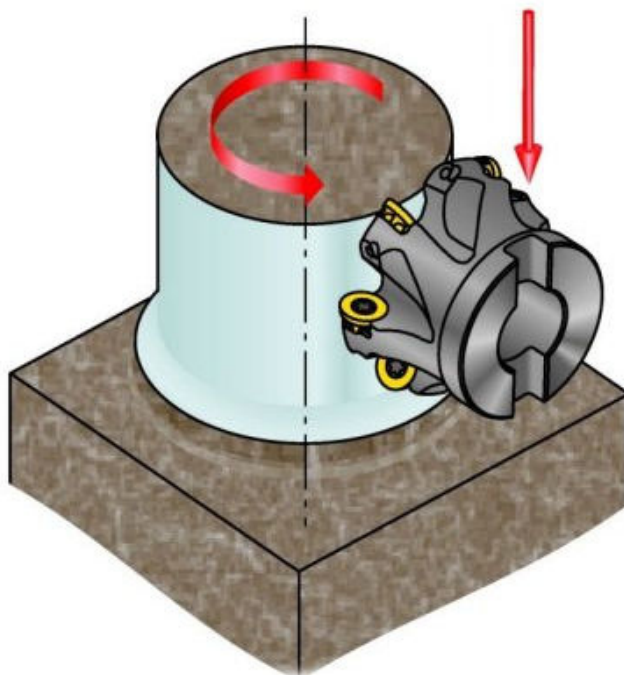
Obr. 1.11 Vnější planetové frézování. [7]



Obr. 1.12 Vnitřní planetové frézování. [7]

1.1.6 Okružní frézování

Nástrojem je frézovací hlava osazena několika noži. Ten může podle potřeby vykonávat rotační i posuvný pohyb. Okružní frézování se používá k frézování závitů (frézovací hlava koná rotační pohyb) a dlouhých válcových tyčí (frézovací hlava koná rotační i posuvný pohyb). (obr. 1.13). [4]



Obr. 1.13 Okružní frézování. [8]

2 CHARAKTERISTIKA FRÉZOVACÍCH NÁSTROJŮ

Frézovací nástroje se skládají z těla a několika břitů. Celý nástroj může být vyroben z jednoho materiálu (např. rychlořezné oceli) nebo může mít tělo vyrobeno z nástrojové oceli, ke kterému se mechanicky upnou vyměnitelné břitové destičky. Tyto břitové destičky se vyrábí z materiálů s lepšími vlastnostmi, než mají oceli. Těmito materiály jsou slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, PKNB a PKD. Nástroje se dělí podle různých hledisek:

2.1 Dělení z hlediska konstrukce

Z hlediska konstrukčního uspořádání se frézovací nástroje dělí do třech kategorií: [2]

- celistvé (obr. 2.1 c),
- s vloženými noži,
- s mechanicky upínanými VBD (obr. 2.1 a).

Celistvé frézovací nástroje jsou vyrobeny z jednoho materiálu. Častým materiálem je ocel třídy 19 8xx. Pro menší nástroje lze použít i slinuté karbidy.

Současný trend však tvoří frézy s VBD. Tělo nástroje je vyrobeno z tepelně zpracované konstrukční oceli a zuby tvoří VBD, které jsou mechanicky upevněny k nástroji. VBD se vyrábí z různých materiálů, např. ze slinutých karbidů, cermetů, keramiky, diamantu. Výběr destiček závisí na materiálu obrobku a obráběcích podmínkách.

2.2 Dělení podle geometrického tvaru funkční části

Dalším dělicím kritériem geometrický tvar funkční části: [2]

- válcové (obr. 2.1 a),
- kotoučové (obr. 2.9),
- úhlové (obr. 2.1 b),
- drážkovací (obr. 2.9),
- kopírovací (obr. 2.1 c),
- rádiusové (obr. 2.2),
- na výrobu ozubení (obr. 2.3).



a)



b)

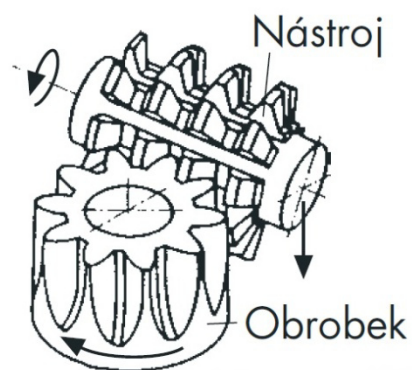


c)

Obr. 2.1 a) válcová fréza z RO [9], b) úhlová fréza z rychlořezné oceli [10], c) kopírovací fréza z SK. [11]



Obr. 2.2 Rádiusová fréza. [12]



Obr. 2.3 Fréza na výrobu ozubení. [13]

2.3 Dělení z hlediska nástrojového materiálu

Frézovací nástroje se vyrábí z různých materiálů. Pro správný návrh obráběcí operace je nutné znát základní charakteristiky a vlastnosti nástrojových materiálů. Tyto znalosti je třeba zahrnout do úvahy a zvolit nejlepší možnou variantu. Při návrhu se musí zohlednit několik faktorů, které přímo ovlivňují samotný proces. Jedním z nich je materiál.

2.3.1 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli (RO) spadají do skupiny nástrojových legovaných ocelí se základním číselným značením 19 8xx. Obsah uhlíku se pohybuje kolem 1%. Dále obsahují legující prvky, mezi které patří wolfram, chrom, vanad, molybden a kobalt. Wolfram zvyšuje řezivost nástroje (obr. 2.1 a) a tvoří s uhlíkem karbidy wolframu, kobalt udržuje tvrdost za vyšších teplot, chrom zlepšuje kalitelnost a vanad zabraňuje rychlému opotřebení. V některých případech může molybden sloužit jako náhrada za wolfram. [4]

2.3.2 Slinuté karbidy

Nástroje, vyrobené ze slinutých karbidů, jsou mnohem tvrdší než z rychlořezných ocelí. Jsou tvořeny směsí částic tvrdých karbidů wolframu (WC) a kovového pojiva, které obsahuje značné množství kobaltu (Co). Do této směsi se přidává další důležitá složka, kterou je karbid titanu. Vlastnosti jsou dány poměrem karbidů a kobaltem v materiálu. K výrobě se používá prášková metalurgie. [14]

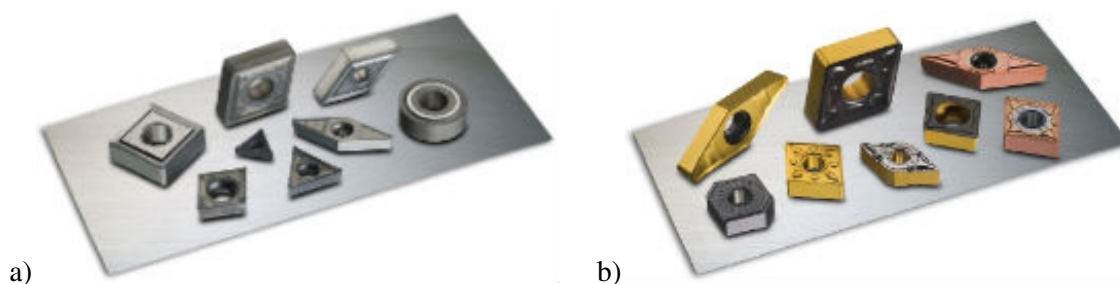
Značení nástrojových materiálů podle ČSN-ISO 513: [15]

- HW - nepovlakované SK, obsahuje převážně WC,
- HT - nepovlakované SK (cermet), obsahuje převážně TiC, TiN nebo obojí,
- HC – povlakované SK.

Rozdělení slinutých karbidů podle hlavních aplikačních skupin: [13], [16]

- P (modrá) - pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhé třísky - oceli, ocelové litiny, korozivzdorné oceli, temperované litiny,
- M (žlutá) - pro obrábění materiálů, které tvoří krátké i dlouhé třísky - austenitické korozivzdorné oceli, manganové oceli, oceli na odlitky, žáruvzdorné materiály,
- K (červená) - pro obrábění materiálů, které tvoří krátké třísky - šedé litiny, kalené oceli, z neželezných materiálů bronzy, slitiny hliníku, plasty,
- N (zelená) - pro obrábění neželezných kovů, slitin mědi a slitiny hliníku,
- S (hnědá) - pro obrábění speciálních žárupevných slitin na bázi niklu, kobaltu, železa a titanu,
- H (šedá) - pro obrábění kalených ocelí o HRC 48 - 60, zušlechtěných ocelí s pevností na 1500 MPa.

Ze slinutých karbidů se vyrábí většina břitových destiček. Je to z důvodu jejich vynikajících materiálových vlastností. Jde především o odolnost proti opotřebení a tvrdost. Velkou výhodou je dobrá formovatelnost do různých tvarů. Nástroje ze slinutých karbidů mohou být buď nepovlakované nebo povlakované. Nepovlakované slinuté karbidy (obr. 2.4 a) mají jen malé zastoupení v celkovém sortimentu. Aplikují se na obrábění žáruvzdorných slitin a titanu. Mnohem rozšířenější jsou nástroje z povlakovaných slinutých karbidů (obr. 2.4 b). Povlaky se nanášejí dvěma způsoby, buď CVD nebo PVD.



Obr. 2.4 a) VBD z nepovlakovaných SK [17], b) VBD z povlakovaných SK. [14]

CVD (chemical vapour deposition) je chemická forma nanášení povlaku. K nanášení dochází během chemických reakcí vznikajících za teplot $700 \div 1050^\circ\text{C}$. Tyto povlaky mají výbornou přilnavost ke karbidům a vysokou odolnost na otěr. První povlaky byly z karbidu titanu (TiC), oxidu hlinitého (Al_2O_3), nitridu titanu (TiN) a karbonitridu titanu (TiCN). Současným trendem je využívání povlaků, které jsou kombinací TiCN, Al_2O_3 a TiN: [14]

- **TiCN** - Jeho tvrdost zajišťuje odolnost proti opotřebení otěrem, což má za následek menší opotřebení hřbetu.
- **Al_2O_3** - Chemicky inertní s nízkou tepelnou vodivostí, což jej činí odolným proti opotřebení ve tvaru žlábků. Rovněž plní úlohu tepelné clony a pomáhá zlepšit odolnost proti plastické deformaci.
- **TiN** - Zlepšuje odolnost proti opotřebení a je také využíván pro zjištění stupně opotřebení.
- **Diamant** - Povlak neobsahuje kovové pojivo a tím pádem se jeho struktura téměř neliší od toho přírodního, což znamená značné zvýšení tvrdosti nástroje. Nanáší se buď tenké vrstvy s tloušťkou menší než $30\mu\text{m}$ nebo tlusté vrstvy s tloušťkou mezi až $0,5\text{mm}$. Vhodný k obrábění slitin hliníku a dalších neželezných kovů, grafitu, skla, plastů, dřeva. [18]

PVD (physical vapour deposition) povlaky vznikají odpařováním kovu, reagujícího s dusíkem při teplotách $400 \div 600^\circ\text{C}$. Během tohoto procesu vzniká na povrchu nástroje tvrdý nitridický povlak. Takto upravený nástroj má větší tvrdost a tím pádem větší odolnost proti otěru. Za vyšší houževnatosti břitu a odolnosti proti tepelným hřebenovým trhlinám stojí vnitřní tlaková napětí v nástroji. Současný trend spočívá v kombinaci několika složek v po sobě následujících vrstvách nebo v mnohvrstevných povlacích. Tyto vrstvy v řádech nanometrů značně zvyšují tvrdost nástroje: [14]

- **TiN** - Nitrid titanu byl prvním povlakem nanášeným metodou PVD. Má univerzální vlastnosti a zlatou barvu.
- **TiCN** - Karbonitrid titanu je tvrdší než TiN a zvyšuje odolnost proti opotřebení hřbetu.
- **(Ti,Al)N** - Titan aluminium nitrid má vysokou tvrdost, spolu s vysokou odolností proti oxidaci, což celkově přispívá ke zvýšení odolnosti proti opotřebení.
- **Al_2O_3** - Je využíván vzhledem k jeho chemické netečnosti a zvýšené odolnosti proti opotřebení ve tvaru žlábků.

Povlakovat řezné nástroje lze i kubickým nitridem boru (KNB). Nanášení povlaku je možné provést metodami CVD a PVD. V současnosti jsou však nástroje s KNB povlaku vyráběny pouze v laboratorních podmínkách. [19]

2.3.3 Cermety

Název tohoto řezného materiálu tvoří spojení dvou slov, CERamic a METal. Cermety (obr. 2.5) jsou tvořeny tvrdými částicemi (TiC, Mo₂C, TiN, TiCN, případně WC) spojenými kovovým pojivem (Ni, Mo, případně Co). Cermety se vyrábí práškovou metalurgií. [20]

Cermety mají díky částicím karbidu vysokou tvrdost a tím pádem vysokou odolnost proti deformaci. Tvrdostí převyšují slinuté karbidy, mají ale nižší houževnatost. Jejich vysoká odolnost proti opotřebení zaručuje dlouhou trvanlivost nástroje a vysokou přesnost obrobené plochy a nízkou drsnost jejího povrchu. Z důvodu nižší odolnosti proti teplotním šokům je při obrábění cermetovými nástroji omezeno použití procesní kapaliny. Vlastnosti cermetů lze zlepšit PVD povlakováním. [20], [13]

Frézy s VBD z cermetů se v praxi používají hlavně na dokončovací operace a při vysokých řezných rychlostech. Cermety jsou vhodné k obrábění ocelí (včetně korozivzdorných), litin, litých ocelí, neželezných kovů a snadno obrobitelných slitin. [4]

2.3.4 Řezná keramika

Řezné materiály vyrobené z keramiky (obr. 2.5) se vyznačují svou tvrdostí, zejména za vyšších teplot. Mezi nástrojovým materiálem a materiálem obrobku nedochází k chemickým reakcím. Lze je použít při vysokých řezných rychlostech. Materiál je křehký a má nízkou tepelnou vodivost. [20]

Řezná keramika na bázi oxidu hlinitého se dělí: [4]

- Čistá keramika - obsahuje až 99,9% Al₂O₃ a není nejvhodnější volbou pro obrábění z důvodu nízké pevnosti, houževnatosti a malé tepelné vodivosti.
- Polosměsná keramika - je čistá keramika obohacena o kysličník zirkonu až do obsahu 20%, který zvyšuje její houževnatost.
- Směsná keramika - má v sobě navíc částice karbidu titanu TiC, díky kterému se zvyšuje její houževnatost a tepelná vodivost. Je vhodná pro obrábění ocelí a šedé litiny.
- Vyztužená keramika - tento typ je vyztužen whiskery (vlákna SiC nebo Si₃N₄), které výrazně zvyšují lomovou houževnatost, pevnost a odolnost proti tepelnému šoku, což umožňuje použití procesní kapaliny. Je vhodná pro obrábění žáruvzdorných slitin, kalené oceli a šedé litiny.

Řezná keramika na bázi nitridu křemíku má oproti keramice na bázi oxidu hlinitého vyšší houževnatost a lépe snáší teplotní šoky. Tento typ keramiky je vhodný pro dokončovací a hrubovací operace při obrábění šedých litin. [20]

2.3.5 PKNB

Podstatou výroby polykrystalického kubického nitridu bóru (obr. 2.5) je spojení kubických krystalů bóru s keramickým nebo kovovým pojivem. Na základě použitého pojiva se zvyšují některé jeho vlastnosti. V případě keramického pojiva je to odolnost proti opotřebení a chemická stabilita. Při použití kovového pojiva dochází ke zvýšení houževnatosti. Hlavní výhodou je jeho vysoká tvrdost a to i při vysokých teplotách. [13]

Použití se doporučuje pro obrábění tvrdých a žáruvzdorných materiálů, kalených ocelí, litinových materiálů, kobaltových a niklových slitin. Tento nástroj navíc umožňuje dosahovat vysokých jakostí obrobeného povrchu. [4]

2.3.6 PKD

Polykrystalický diamant (obr. 2.5) je synteticky vyrobený materiál, který dosahuje téměř stejné tvrdosti jakou má nejtvrdší přírodní materiál - monokrystalický diamant. Díky vysoké tvrdosti dovede odolávat vysokému brusnému otěru. Jeho slabou stránkou je chemická nestabilita za vysokých teplot a vysoká afinita k železu, což téměř znemožňuje jeho použití pro obrábění železných a kovových materiálů. [4]

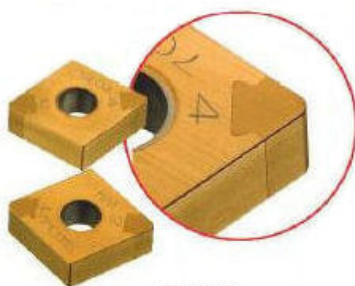
Hlavní oblast využití tvoří dokončovací obráběcí operace. Nástroje z polykrystalických diamantů se doporučují k obrábění neželezných a nekovových materiálů, mezi které patří slitiny hliníku, plasty a dřevo. Za použití dostatečného množství procesní kapaliny lze využít pro superfinišování v titanu. Frézovací nástroje z PKD zajišťují až 10krát delší trvanlivost než nástroje ze slinutých karbidů. [13], [21]



Cermety



Řezná keramika



PKNB



PKD

Obr. 2.5 Materiály břitových destiček. [21], [22], [23], [24]

2.4 Využití frézovacích nástrojů

Frézovací nástroje mají široké uplatnění. Podle obráběného tvaru ploch se rozdělují následujícím způsobem:

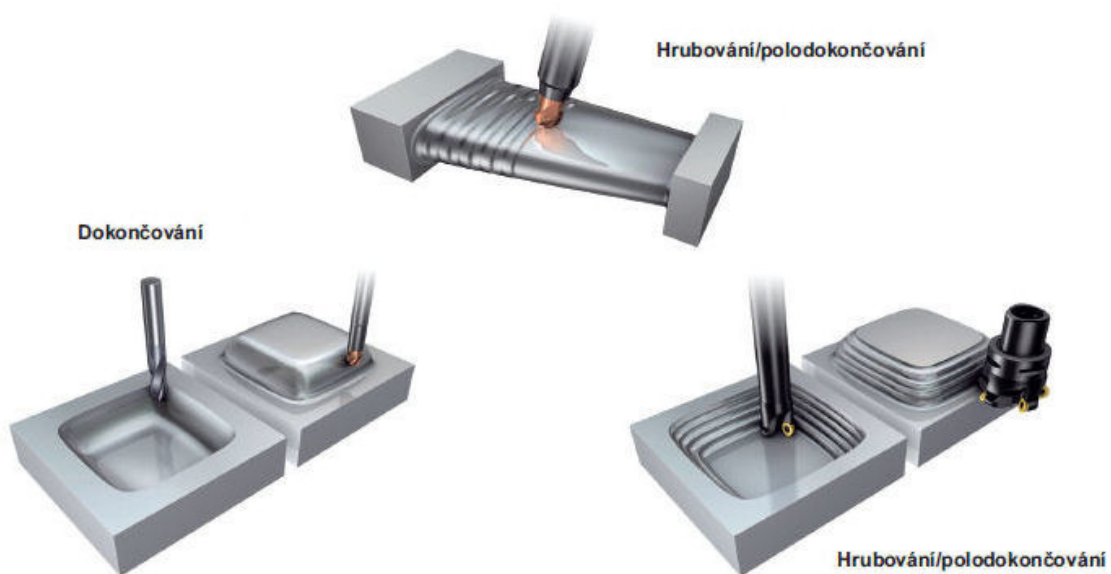
- rovinné frézování (obr. 2.6),
- frézování do rohu (obr. 2.7),
- tvarové frézování (obr. 2.8),
- frézování závitů a drážek (obr. 2.9).



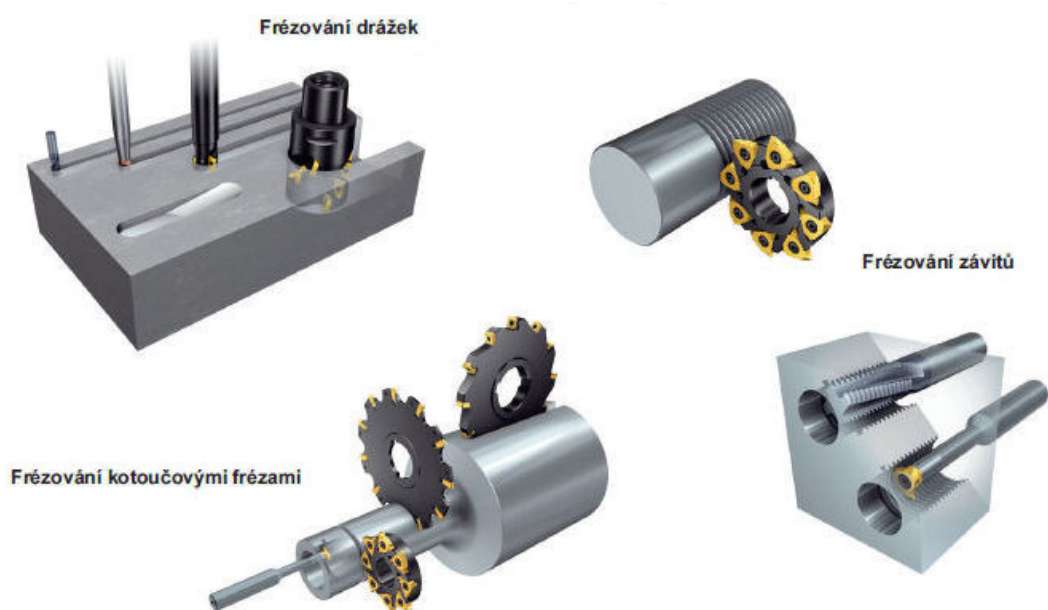
Obr. 2.6 Rovinné frézování. [15]



Obr. 2.7 Frézování do rohu. [15]



Obr. 2.8 Tvarové frézování. [15]



Obr. 2.9 Frézování závitů a drážek. [15]

2.5 Značení frézovacích nástrojů s VBD podle ISO

Příklad značení nástrčných frézovacích nástrojů s VBD podle ISO:

250 C 16 R - W 45 S E 12 F

Význam značení:

- 250 - řezný průměr [mm],
- C - typ frézy, druh a velikost upínání,
- 16 - pracovní počet ostří,
- R - směr řezu,
- W - způsob upínání,
- 45 - úhel nastavení,
- S - tvar destičky,
- E - úhel hřbetu,
- 12 - velikost destičky – délka řezné hrany,
- F - úhel hřbetu fazetky.

Příklad značení stopkových frézovacích nástrojů s VBD podle ISO:

32 A 4 R 042 B 32 - S A D 11 E

Význam značení:

- 32 - řezný průměr [mm],
- A - typ frézy a úhel nastavení,
- 4 - pracovní počet ostří,
- R - směr řezu,
- 042 - délka vyložení [mm],
- B - typ upínací stopky,
- 32 - velikost stopky,
- S - způsob upínání,
- A - tvar destičky,
- D - úhel hřbetu,
- 11 - délka (šířka) břitů,
- E - úhel hřbetu fazetky.

Kompletní význam značení viz Příloha 1.

3 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE V SORTIMENTU VÝROBY NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH DOMÁCÍCH A SVĚTOVÝCH PRODUCENTŮ NÁSTROJŮ

K porovnání nabízeného sortimentu byli vybráni dva producenti. Zástupcem domácího trhu je společnost Pramet Tools s.r.o. a jako světový producent byla vybrána společnost Sandvik Coromant.

Pramet Tools s.r.o. je česká společnost s dlouholetou tradicí, která se zabývá výrobou a vývojem obráběcích nástrojů ze slinutých karbidů. Společnost sídlí v Šumperku, kde se

nachází výrobní závod spolu s její centrálou. Veškerý sortiment v nabídce je vyráběn pouze v Šumperku. Nástroje Pramet Tools mají na českém trhu velké zastoupení, ovšem v posledních letech se společnost soustředí především na export, který tvoří více než 60% z celkového obrátu. Společnost Pramet Tools vyváží své nástroje do více než 50 zemí světa.

Sandvik Coromant je švédská společnost, která byla založena v roce 1862 a stala se předním světovým výrobcem obráběcích nástrojů. Díky rozsáhlému výzkumu a vývoji přináší společnost stále nové techniky a nástroje. Společnost Sandvik Coromant má zastoupení ve 130 zemích světa.

Obě vybrané společnosti nabízí široký sortiment frézovacích nástrojů. Proto byly k porovnání z rozsáhlého sortimentu vybrány jen některé nástroje. Tyto nástroje byly rozděleny podle třech kritérií:

- čelní frézovací nástroje,
- frézovací nástroje do rohu,
- kotoučové frézovací nástroje.

Dále byly nástroje porovnány na základě rozsahu řezného průměru nástroje ϕD , nástrojového úhlu nastavení hlavního κ_r , maximální šířky záběru ostří a_{pmax} a počtu zubů upnutých na nástroji. Nakonec byly k porovnání vybrány nejuniverzálnější materiály pro výrobu vyměnitelných břitových destiček.

3.1 Nabídka vybraných čelních frézovacích nástrojů

V nabídce firmy Pramet se nacházejí frézovací nástroje s nástrojovými úhly nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 45^\circ, 57^\circ, 60^\circ$ a 90° . Ovšem frézy s nástrojovým úhlem 90° se používají primárně na frézování do rohu. Průměry frézovacích nástrojů jsou od 20 až po 315 mm. Maximální šířka záběru ostří dosahuje hodnot od 3 až do 18 mm. Počet břitů se na jednotlivých nástrojích liší. V sortimentu lze najít nástroje s nejméně 2 břity a nejvíce 40. Sortiment firmy je uveden v tabulce 3.1.

Tab. 3.1 Nabídka čelních frézovacích nástrojů firmy Pramet Tools. [25], [26]

Označení	ϕD [mm]	κ_r [°]	a_{pmax} [mm]	z [-]
SSE09	20 ÷ 32	45	4,5	2 ÷ 4
S45SE09F	20 ÷ 160	45	4,5	4 ÷ 14
SHN06	25 ÷ 32	45	3	2 ÷ 3
SHN06 Modular	25 ÷ 40	45	3	2 ÷ 4
S45OD05D	40 ÷ 125	45	2,5	4 ÷ 10
S45HN06	40 ÷ 125	45	3	4 ÷ 16
S45SN12Z	40 ÷ 250	45	6,5	3 ÷ 16
S45HN09	50 ÷ 315	45	5	4 ÷ 16
S45OD06D	63 ÷ 160	45	3,1	5 ÷ 9
S57PN13	100 ÷ 315	57	10	5 ÷ 14
C60HN09	80 ÷ 250	60	6	8 ÷ 40
F60SB22X	125 ÷ 315	60	15	5 ÷ 14

Tabulka 3.1 - pokračování

Označení	ϕD [mm]	κ_r [°]	a_{pmax} [mm]	z [-]
W60SP25P	125 ÷ 315	60	18	5 ÷ 12
CSC	32 ÷ 40	90	6	3 ÷ 5
C90SC	40 ÷ 80	90	6	6 ÷ 10

Nabídka firmy Sandvik poskytuje frézovací nástroje s nástrojovým úhlem nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 10^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 65^\circ, 57^\circ, 75^\circ$ a 90° . Průměry nástrojů dosahují hodnot od 25 do 500 mm. Maximální hodnoty šířky záběru ostří se pohybují od 2 do 18 mm. Na frézovacích nástrojích může být upnuto od 2 až do 48 břitů. Nabídka je shrnuta v tabulce 3.2.

Tab. 3.2 Nabídka čelních frézovacích nástrojů firmy Sandvik Coromant. [15], [27], [28]

Označení	ϕD [mm]	κ_r [°]	a_{pmax} [mm]	z [-]
CoroMill 210	25 ÷ 160	10	2	2 ÷ 8
CoroMill 360	160 ÷ 500	30	18	6 ÷ 24
CoroMill 245	32 ÷ 250	45	10	3 ÷ 24
CoroMill 345	40 ÷ 250	45	6	3 ÷ 24
T-Max 45	100 ÷ 400	45	12	6 ÷ 16
CoroMill 357	100 ÷ 315	57	10	
CoroMill 365	40 ÷ 250	65	6	3 ÷ 36
Auto AF	80 ÷ 500	75	1	8 ÷ 48
Auto FS	125 ÷ 500	90	8,1	20 ÷ 48

Obě firmy nabízejí široký sortiment čelních frézovacích nástrojů s různými nástrojovými úhly nastavení hlavního ostří. Z tabulek je patrné, že firma Sandvik nabízí nástroje s více možnostmi nastavení nástrojového úhlu než firma Pramet. Zároveň Sandvik poskytuje nástroje o větších průměrech a díky tomu může být na jejich nástrojích upnuto více břitů, než je na nástrojích od Pramet. Maximální šířka záběru ostří je u obou producentů srovnatelná.

3.2 Nabídka vybraných frézovacích nástrojů do rohu

Nástroje určené pro frézování do rohu mají nástrojový úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 90^\circ$. Nabídka firmy Pramet poskytuje nástroje s rozsahem průměru od 10 až do 315 mm. Maximální šířka záběru ostří se pohybuje v rozmezí od 9 do 22 mm. Rozsah počtu břitů na nástrojích je podobný, pohybuje se od 4 do 14. Výjimku tvoří fréza s označením W90XO12, na které může být upnuta až 36 břitů. Nabídky firmy Pramet je uvedena v tabulce 3.3.

Tab. 3.3 Nabídka frézovacích nástrojů do rohu firmy Pramet Tools. [25], [26]

Označení	ϕD [mm]	κ_r [°]	a_{pmax} [mm]	z [-]
S90AP10D	10 ÷ 63	90	9	6 ÷ 9
S90AD11E	16 ÷ 125	90	9	4 ÷ 12

Tabulka 3.3 - pokračování

Označení	øD [mm]	κ_r [°]	a_{pmax} [mm]	z [-]
S90SO09	20 ÷ 125	90	8	5 ÷ 12
S90LN12	25 ÷ 110	90	9	4 ÷ 8
S90AD16E	25 ÷ 160	90	13	4 ÷ 10
S90AP16D	25 ÷ 160	90	14	4 ÷ 10
C90AD15	40 - 80	90	12	6 ÷ 14
S90SD12	50 - 160	90	10	5 ÷ 12
W90XO12	50 - 315	90	10	4 ÷ 36
S90LN16	63 - 175	90	13	4 ÷ 8
F90TB27X	140 - 260	90	18	5 ÷ 12
W90SP25P	175 - 260	90	22	6 ÷ 10

Firma Sandvik nabízí frézovací nástroje do rohu s širokým rozsahem průměru. Hodnoty začínají na 12 mm a končí na průměru 500 mm. Maximální šířka záběru ostří dosahuje od 10 do 18 mm. Ovšem díky fréze CoroMill 690 může dosáhnout hodnoty až 112 mm. Těchto vysokých hodnot dosahuje díky tomu, že na této fréze jsou břitové destičky upnuty za sebou v několika šroubovicích. Může jich být až 70 rozdělených do pěti šroubovic. Počet upnutých břitů se na ostatních frézách pohybuje od 2 do 18. Nabídka je shrnuta v tabulce 3.4.

Tab. 3.4 Nabídka frézovacích nástrojů do rohu firmy Sandvik Coromant. [15], [27], [28]

Označení	øD [mm]	κ_r [°]	a_{pmax} [mm]	z [-]
CoroMill 390	12 ÷ 200	90	15,7	2 ÷ 12
CoroMill 490	20 ÷ 250	90	10	2 ÷ 18
CoroMill 790	25 ÷ 100	90	18	2 ÷ 9
CoroMill 690	40 ÷ 100	90	112	8/2 ÷ 70/5
CoroMill 290	40 ÷ 250	90	10,7	3 ÷ 18
CoroMill Century	40 ÷ 500	90	10	6 ÷ 16

I u frézovacích nástrojů do rohu se větším rozsahem průměrů prezentuje firma Sandvik. V hodnotách maximální šířky záběru ostří a počtu břitů jsou malé rozdíly. Výjimky tvoří frézy W90XO12 od Pramet a CoroMill 690 od Sandviku, které se liší nejen mezi sebou, ale i mezi ostatními nástroji svých výrobců. Frézovací nástroj W90XO12 může mít větší průměr než frézovací nástroj CoroMill 690, který díky své specifické konstrukci dosahuje mnohem vyšších maximálních hodnot šířky záběru ostří.

3.3 Nabídka vybraných kotoučových frézovacích nástrojů

V sortimentu kotoučových frézovacích nástrojů firmy Pramet lze nalézt nástroje o průměru 63 až 315 mm s nástrojovým úhlem nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 90^\circ$. Maximální šířka

záběru ostří se pohybuje v rozsahu od 4 do 30,5 mm. Počet břitů upnutých na frézách je od 6 do 20. Vybraný sortiment je uveden v tabulce 3.5.

Tab. 3.5 Nabídka kotoučových frézovacích nástrojů firmy Pramet Tools. [25], [26]

Označení	øD [mm]	κ_r [°]	a_{pmax} [mm]	z [-]
S90SN-R	63 ÷ 160	90	4,0 - 12,0	6 ÷ 16
S90SN	80 ÷ 200	90	4,0 - 14,0	8 ÷ 18
S90CN-R	125 ÷ 200	90	14,0 - 18,5	8 ÷ 14
S90CN	125 ÷ 315	90	14,0 - 18,5	8 ÷ 24
S90XN-R	160 ÷ 200	90	19,0 - 30,5	10 ÷ 12
S90XN	160 ÷ 315	90	19,0 - 30,5	10 ÷ 20

Firma Sandvik má ve svém sortimentu frézovací nástroje s průměry od 9,7 do 315 mm. S těmito nástroji lze dosahovat maximálních hodnot šířky záběru ostří od 5 do 33,8 mm. Počty břitů upnutých na nástroji jsou od 2 do 24.

Tab. 3.6 Nabídka kotoučových frézovacích nástrojů firmy Sandvik Coromant. [15], [27], [28]

Označení	øD [mm]	κ_r [°]	a_{pmax} [mm]	z [-]
CoroMill 327	9,7 ÷ 34,7	90	10	3 ÷ 6
CoroMill 328	39 ÷ 80	90	5	2 ÷ 8
T-MAX Q	80 ÷ 315	90	6,12	7 ÷ 24
CoroMill 331	80 ÷ 315	90	33,8	6 ÷ 16
CoroMill 329	100 ÷ 160	90	18	6 ÷ 11

Nabídka kotoučových fréz se u obou firem zásadně neliší. Firma Sandvik nabízí menší minimální průměry nástrojů, ale maximální průměry jsou stejné. Srovnatelné jsou hodnoty šířky záběru ostří i počty břitů na jednotlivých nástrojích.

3.4 Nabídka vybraných materiálů pro VBD.

Nabídka řezných materiálů obou porovnávaných firem je velmi široká. Proto byly z nabídky vybrány jen některé materiály, které byly vybírány podle jejich univerzálnosti v aplikačních oblastech.

Výběr z nabídky nejuniverzálnějších materiálů pro VBD ze sortimentu společnosti Pramet Tools: [25]

- **7230:** P25 - P40, M20 - M35, K20 - K35, N15 - N30, S15 - S25, H15 - H25
Slinutý karbid s vyšším obsahem kobaltu povlakovaný metodou PVD se zvýšenou odolností vůči oxidaci. Má unikátní kluzné vlastnosti a používá se pro střední řezné rychlosti s nižším nebo střední průřezem třísky. Je využitelný pro všechny skupiny obráběných materiálů (obr. 3.1 a).
- **8230:** P20 - P40, M20 - M35, K20 - K40, N15 - N30, S15 - S25, H15 - H25
Slinutý karbid s tenkým PVD povlakem s vysokým obsahem Al. Vysoce univerzální řezný materiál, který zaručuje dobrou ořezuvzdornost a provozní

spolehlivost. Je využitelný pro všechny skupiny obráběných materiálů při středních řezných rychlostech i při nestabilních záběrových podmínkách (obr. 3.1 b).

- **H10:** P15 - P25, M15 - M25, K15 - K30, N15 - N30, S15 - S25, H15 - H25
Slinutý karbid s nízkým obsahem kobaltu, který je doporučován pro všechny skupiny obráběných materiálů. Je používán pro obrábění s malým až střední průřezem třísky při stabilních záběrových podmínkách (obr. 3.1 c).



Obr. 3.1 Mikrostruktura materiálů: a) 7230, b) 8230, c) H10. [25]

Výběr z nabídky nejuniverzálnějších materiálů pro VBD ze sortimentu společnosti Sandvik Coromant: [15]

- **GC4240:** P40 (P35 - P50), M40 (M30 - M40), K40 (K30 - K40)
Povlakovaný slinutý karbid určený pro frézovací operace v oceli s vysokými nároky na houževnatost. Pro koncepce určené pro frézování do rohu a pro stopkové frézy je materiál GC4240 vhodný pro relativně stabilnější podmínky, např. kratší vyložení nástroje, čelní frézování, mělké frézování do rohu apod. Pro ostatní koncepce je první nebo záložní volbou pro operace vyžadující houževnatost nástroje, hodí se i pro střední až těžké operace na odlitcích z litin i korozivzdorných ocelí. Vhodný pro malosériovou výrobu součástek z různých druhů materiálů. Dobrá funkce při použití procesní kapaliny, ale i bez ní.
- **CT530:** P15 (P10 - P15), M10 (M10 - M15), N15 (N10 - N20), H25 (H10 - H25)
Cermetový materiál pro lehké frézování austenitických/duplexních korozivzdorných ocelí, hliníku, zejména bez přívodu procesní kapaliny a pro dokončování součástí z tvrzené oceli při nízkých až středních řezných rychlostech. Vysoká odolnost vůči plastické deformaci, ulpívání materiálu a vytváření nárůstu na břitě činí tento materiál vhodný pro široký rozsah řezných rychlostí. Ideální pro hladicí VBD.
- **GC1030:** P30 (P15 - P35), M15 (M10 - M25), N15 (N10 - N25), S15 (S10 - S20), H10 (H10 - H20)
Slinutý karbid s PVD povlakem je první volbou pro nestabilní podmínky (dlouhé břity, hromadění třísek, frézování stopkovou frézou, hluboké frézování do rohu, dlouhé vyložení, rotační frézování apod.). Lze ho také použít jako záložní řešení pro aplikace vyžadující tuhost. V kombinaci s obvodově broušenými VBD se jedná o první volbu pro materiály snadno ulpívající na břit, například nízkouhlíkové oceli. Dále pro lehké frézování korozivzdorných ocelí, hrubovací frézování hliníkových slitin a žáruvzdorných slitin při středních řezných rychlostech.

Porovnány byly tři řezné materiály ze sortimentu obou společností. Tyto materiály ze slinutých karbidů mají širokou aplikační oblast. Všechny tři materiály firmy Pramet lze použít pro všechny typy obráběných materiálů. Firma Sandvik nabízí řezné materiály, které lze využít pro tři až pět typů obráběných materiálů. Z toho vyplývá, že firma Pramet nabízí univerzálnější řezné materiály. Dále bylo zjištěno, že k povlakování karbidů se nejčastěji používá metoda PVD.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo přiblížit problematiku frézovacích nástrojů z hlediska jejich rozdělení, značení, materiálu, využití. Tím hlavním však bylo porovnat současnou nabídku významných producentů na trhu.

Frézovací nástroje byly popsány a rozděleny podle jejich konstrukčního řešení, geometrického tvaru funkčních částí, materiálu pro výrobu VBD, využití a označování. Tato problematika byla rozebrána a popsána v kapitole 2.

Porovnání sortimentu významných producentů bylo provedeno v kapitole 3. K porovnání byli vybráni dva producenti, jeden domácí a druhý světový. Za domácího producenta byla vybrána společnost Pramet Tools s.r.o. a za světového švédská společnost Sandvik Coromant. Porovnána byla nabídka čelních, kotoučových frézovacích nástrojů a nástrojů pro rohové frézování. Vzhledem k rozsáhlosti sortimentu obou společností, bylo v každé kategorii vybráno jen několik nástrojů k porovnání. Vybrané frézy byly zapsány do tabulek s několika parametry k porovnání. Těmito parametry byly rozsahy průměrů nástrojů, nástrojové úhly nastavení hlavního ostří, maximální šířka záběru ostří a množství břitů na nástroji. Jako poslední byly porovnány řezné materiály, které byly vybrány na základě jejich univerzálnosti.

Z porovnání obou nabídek vyplývá, že je v dnešní době opravdu z čeho vybírat. Obě firmy poskytují rozsáhlou škálu různých nástrojů a není tedy problém vybrat vhodný nástroj pro danou frézovací operaci. Je tedy nutné znát požadavky na nástroje a věnovat jeho výběru dostatečný čas a pozornost. Dále bylo zjištěno, že současným trendem je výroba frézovacích nástrojů s mechanicky upínanými VBD, které tvoří většinu sortimentu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ALBAOUNI, Mohammed. *Manufacturing Processes for Engineering Materials II: Material Removal Processes Theory of Metal Machining*. [online]. Applied Science Private University. [vid. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://dc338.4shared.com/doc/0FovRmzc/preview.html>.
2. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 1. Část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2003. [vid. 2014-03-01]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf.
3. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Poloha frézy vůči obrobku*. [online]. [vid. 2014-03-16]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/default.aspx.
4. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005, 270s. ISBN 80-214-3068-0.
5. PRAMET TOOLS, s.r.o., ČR. *Příručka obrábění - Optimální volba a použití nástrojů PRAMET DIADUR*. PRIR 0398-CZ. 198 s.
6. SANDVIK COROMANT AB. *Technical guide*. [online]. [vid. 2010-04-13]. Dostupné z: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech_guide/ENG/MTG_D.pdf.
7. PRAMET TOOLS, s.r.o., ČR. *Příručka obrábění 2004*. [online]. [vid. 2014-03-16]. Dostupné z: http://sphinx-eg.org/photo/prirucka_cz_2004.pdf.
8. POWER TOOLS. *Maximill A 251 / C 251*. [online]. [vid. 2014-03-16]. Dostupné z: http://www.power-tools.hu/dok/doc_yqjpcv7.pdf.
9. TRAVESR TOOL, Co. Inc. [online]. [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.travers.com/10-004-256>.
10. ZPS-FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. [online]. [vid. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/katalog-frez/frezy-tvarove/freza-uhlova-celni-din-1833-a-c-rychlomezna-ocel-hss-co5>.
11. ZPS-FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. [online]. [vid. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/katalog-sk-frez/frezy-kopirovaci-2/freza-kopirovaci-dlouha-2-zuby-din-6527-typ-n-slinuty-karbid-sk-tvrdokov>.
12. RADOSLAV ŠNAJDR - MT NÁSTROJE. [online]. [vid. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.i-frezy.cz/i-frezy/eshop/5-1-Tvarove-stopkove-frezy/18-2-Radiusove-frezy/5/350-DIN6518-freza-radiusova-ctvrtkruhova-R10>.

13. HOFMANN GmbH, Germany. *Garant - Příručka obrábění*. [online]. [vid. 2008-03-08]. Dostupné z: <http://www.hoffmann-gmbh.de/download/cz/zerspanungshandbuch/cz-zerspanungshandbuch.pdf>.
14. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Povlakovaný slinutý karbid*. [online]. [vid. 2014-03-04]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/coated_cemented_carbide/pages/default.aspx.
15. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Rotační nástroje - frézování*. [online]. [vid. 2014-03-08]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/rotating/rot_d.pdf.
16. PRAMET TOOLS, s.r.o., ČR. *Frézování 2010*. [online]. [vid. 2010-03-26]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/indexc1b6.html?menu=down1>.
17. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Nepovlakované slinuté karbidy*. [online]. [vid. 2014-04-05]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/uncoated_cemented_carbide/pages/default.aspx.
18. FIALA, S., KOUŘIL, K. Nová generace průmyslového diamantu. *MM Průmyslové spektrum*. [online]. [vid. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-prumysloveho-diamantu.html>.
19. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, s.r.o., 2008. 236 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
20. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxi*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
21. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Polykrystalický diamant*. [online]. [vid. 2014-04-06]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/polycrystalline_diamond/pages/default.aspx.
22. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Cermet*. [online]. [vid. 2014-04-21]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/cermet/pages/default.aspx.
23. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Řezná keramika*. [online]. [vid. 2014-04-21]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/ceramics/pages/default.aspx.

24. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Polykrystalický kubický nitrid bóru*. [online]. [vid. 2014-04-21]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/polycrystalline_cubic_boron_nitride/pages/default.aspx.
25. PRAMET TOOLS, s.r.o., ČR. *Katalog frézování 2014*. [online]. [vid. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/ke-stazeni.html>.
26. PRAMET TOOLS, s.r.o., ČR. *E-katalog*. [online]. [vid. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/default.aspx>.
27. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Nástroje pro frézování*. [online]. [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/default.aspx#milling>.
28. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Corokey 2010*. [online]. [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/corokey_2010.pdf.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CVD	-	chemical vapour deposition
H	-	kalené oceli
HC	-	povlakované slinuté karbidy
HRC	-	tvrdost podle Rockwella
HT	-	nepovlakované SK, zvané cermety
HW	-	nepovlakované slinuté karbidy
K	-	litiny
KNB	-	kubický nitrid boru
M	-	korozivzdorné oceli
N	-	slitiny hliníku
P	-	oceli
PKD	-	polykrystalický diamant
PKNB	-	polykrystalický kubický nitrid boru
PVD	-	physical vapour deposition
RO	-	rychlořezné oceli
S	-	žáruvzdorné slitiny
SK	-	slinuté karbidy
VBD	-	vyměnitelné břitové destičky

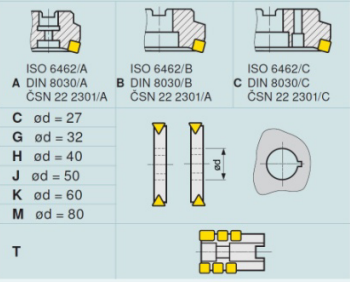
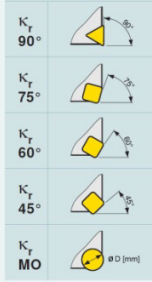
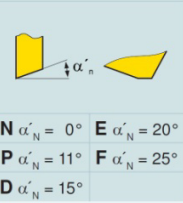
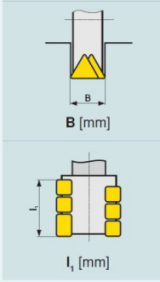
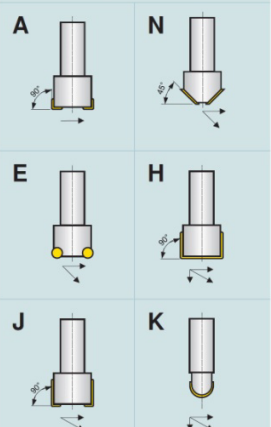
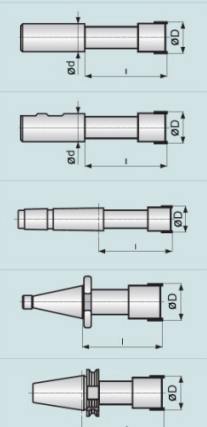
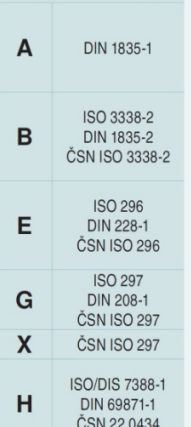
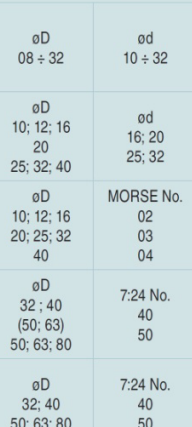
Symbol	Jednotka	Popis
A_{Di}	mm^2	jmenovitý průřez třísky
A_{Dmax}	mm^2	maximální jmenovitý průřez třísky
B	mm	šířka obrobku
C_{Fe}	-	konstanta, vyjadřující vliv obráběného materiálu
D	mm	průměr nástroje
F_c	N	celková řezná síla
F_{ci}	N	složka řezné síly
F_{cNi}	N	složka řezné síly
F_{fi}	N	složka řezné síly

Tabulka použitých symbolů - pokračování

Symbol	Jednotka	Popis
F_{fNi}	N	složka řezné síly
F_i	N	celková řezná síla působící na břitu
H	mm	hloubka odebírané vrstvy
L	mm	dráha nástroje ve směru posuvového pohybu
a_p	mm	šířka záběru ostří
a_{pmax}	mm	maximální hodnota šířky záběru ostří
b_i	mm	jmenovitá šířka třísky
e	mm	vyosení
f_z	mm	posuv na zub
h_i	mm	jmenovitá tloušťka třísky
h_{max}	mm	maximální hodnota jmenovité tloušťky třísky
k_{ci}	MPa	měrná řezná síla
l	mm	délka obrobku
l_n	mm	délka náběhu
l_{nf}	mm	délka záběru
l_p	mm	délka přeběhu
l_{pf}	mm	pomocná hodnota pro výpočet dráhy L
n	min^{-1}	otáčky nástroje
n_z	-	počet zubů v současném záběru
t_{AS}	min	jednotkový strojní čas
v_c	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	řezná rychlost
v_f	$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	posuvová rychlost
x	-	exponent vlivu tloušťky třísky
z	-	počet zubů
κ_r	°	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
φ	°	úhel polohy zubu
φ_{max}	°	maximální úhel polohy zubu

PŘÍLOHA 1

Značení nástrčných a stopkových frézovacích nástrojů s VBD podle ISO: [25]

NÁSTRČNÉ FRÉZY ISO 11529-2 DIN ISO 11529-2	2 Typ frézy, druh a velikost upínání Typ frézy, druh a veľkosť upnutia			6 Úhel nastavení Uhol nastavenia		10 Úhel hřbetu Uhol chrčba		11 Délka(šířka) břitu Dĺžka (šířka) reznej hrany		
										
	1 160 250			5 S W		7 S S		9 12 12		
STOPKOVÉ FRÉZY ISO 7848 DIN ISO 11529-2	1a Typ frézy a úhel nastavení Typ frézy a uhol nastavenia			2a Délka vyložení [mm] Dĺžka vyloženia [mm]		3a Typ upínací stopky Typ upínacej stopky		4a Velikost stopky Veľkosť stopky		
										
	1 63 32			2a 150 042		3a H B		4a 50 32		