



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

HRUBOVACÍ FRÉZOVÁNÍ ROVINNÝCH A PROSTOROVÝCH TVAROVÝCH PLOCH NA CNC STROJÍCH

ROUGHING MILLING OF PLANE AND FORM SURFACE WITH CNC MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV INDRA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MILAN KALIVODA

BRNO 2009

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá hrubovacím frézováním. Počátek práce je věnován obecnému popisu frézování a příkladům obráběných ploch. Následná část zmiňuje potřebné informace k volbě vhodného hrubovacího nástroje pro frézování a jeho upínače. Další kapitola se zabývá základními údaji o CNC frézovacích strojích. Poslední část je věnována výběru konkrétních sestav stroje, nástroje a upínače pro hrubování rovinných a tvarových ploch na CNC strojích.

Klíčová slova

Frézování, hrubování, rovinná plocha, tvarová plocha, čelní fréza, stopková fréza, slinutý karbid, vyměnitelná břitová destička, nástrojový upínač, kužel ISO, kužel HSK, Coromant Capto, CNC frézka.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with roughing milling. Beginning of this thesis is concerned with common description milling and example work surface. Next part refers about necessary information for selection of roughing milling tool and its toolholder. Next chapter deals with basic information about CNC milling machines. Last part is devoted selection of concrete configuration machine, tool and its toolholder for roughing milling of plane and form surface with CNC machines.

Key words

Milling, roughing cut, plane surface, form surface, face mill, shank mill, sintered carbide, exchangeable insert, toolholder, cone ISO, cone HSK, Coromant Capto, CNC milling machine.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

INDRA, J. *Hrubovací frézování rovinných a prostorových tvarových ploch na CNC strojích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 43 s., 8 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Hrubovací frézování rovinných a prostorových tvarových ploch na CNC strojích“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 28. 5. 2009

.....

Jaroslav Indra

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	8
1 ZÁKLADY TEORIE FRÉZOVÁNÍ.....	9
2 FRÉZOVACÍ HRUBOVACÍ OPERACE.....	10
2.1 Frézování rovinných ploch.....	11
2.2 Frézování tvarových ploch.....	11
3 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE.....	12
3.1 Rozdělení řezných nástrojů.....	12
3.2 Výběr nástroje	13
3.2.1 Systém značení fréz s VBD a samotných VBD dle ISO	13
3.2.2 Výběr materiálu VBD	15
3.2.3 Úhel nastavení hlavního ostří.....	16
3.2.4 Volba provedení břitu	18
3.2.5 Volba nástroje dle tvaru obráběné plochy.....	19
3.2.6 Volba nástroje dle požadované integrity povrchu	19
3.2.7 Volba nástroje dle způsobu obrábění	20
4 UPÍNAČE ROTAČNÍCH NÁSTROJŮ.....	23
4.1 Způsoby upínání nástrojových držáků do vřetena stroje.....	23
4.2 Upínání nástrčných fréz	25
4.3 Upínání stopkových fréz	25
4.4 Nástrojové sestavy	27
4.5 Výrobci nástrojů a nástrojových upínačů	28
5 OBRÁBĚCÍ STROJE PRO FRÉZOVÁNÍ.....	28
5.1 Rozdělení obráběcích strojů pro frézování.....	28
5.2 CNC frézky.....	29
5.2.1 Základní části CNC stroje	29
5.2.2 Základní typy CNC strojů pro frézování.....	30
5.2.3 Příklad konkrétních strojů	32
5.3 Výrobci obráběcích strojů pro frézování.....	35
6 VÝBĚR KONKRÉTNÍ SESTAVY STROJE, NÁSTROJE A UPÍNAČE	35
6.1 Výběr stroje	35
6.2 Výběr nástroje a jeho upínače	35
6.2.1 Nástroj s upínačem pro rovinné plochy	36
6.2.2 Nástroj s upínačem pro tvarové plochy	37
Závěr	38
Seznam použitých zdrojů	39
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	42
Seznam příloh	43

ÚVOD

Frézování patří po soustružení k nejpoužívanějším obráběcím operacím. Hlavní pohyb koná rotační vícebřitý nástroj - fréza, vedlejší pohyb koná obrobek.

Úkolem hrubovacího frézování je odebrat co největší množství materiálu v co nejkratším čase. To vše s ohledem především na náklady při obrábění. Z toho vyplývá, že stroj i nástroj jsou extrémně zatíženy a proto je kladen velký důraz na tuhost celé obráběcí soustavy. Při volbě hrubovací technologie se také bere v úvahu, zda se plocha po hrubování poté dokončuje (funkční plocha), či nikoli.

Výkonné hrubování rovinných ploch se provádí pomocí čelních fréz a frézovacích hlav. Pro hrubování tvarových ploch se používají stopkové frézy s VBD. Ve speciálních případech je možno také použít technologii ponorného frézování.

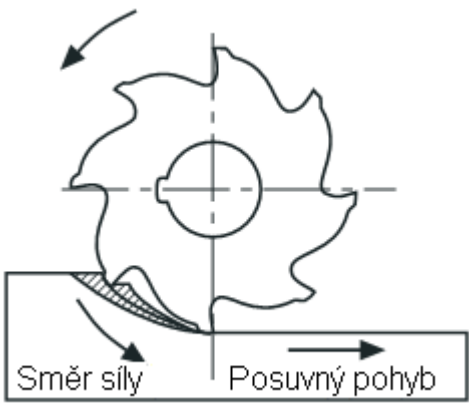
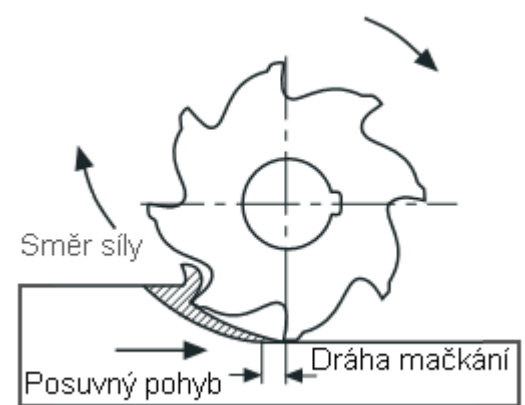
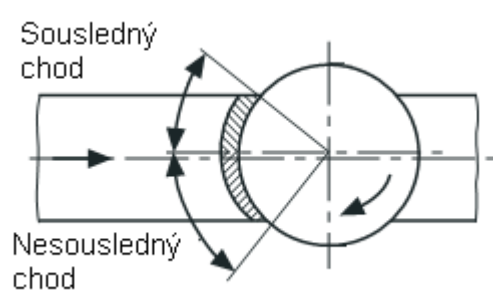


Obr. 1.1 Obrábění čelní válcovou frézou Walter F4041 s VBD ¹

1 ZÁKLADY TEORIE FRÉZOVÁNÍ

Dle principu funkce se frézování dělí na dva hlavní způsoby - frézování válcové a čelní. Dále se v závislosti na kinematice frézovacího pohybu rozlišuje frézování sousledné a nesousledné².

Tab. 1.1 Rozdělení metod frézování³

Válcové frézování	
Sousledné	Nesousledné
	
Čelní frézování	
Sousledné a nesousledné	
	

Sousledné frézování – směr pohybu obrobku je shodný se směrem rotace frézy. Tloušťka třísky je na začátku řezného procesu maximální a postupně klesá až na nulu. Z tohoto důvodu dochází k rázovému namáhání břitu, ten je však stále udržován v řezu a nevzniká kluzný efekt, jak je tomu při nesousledném frézování.

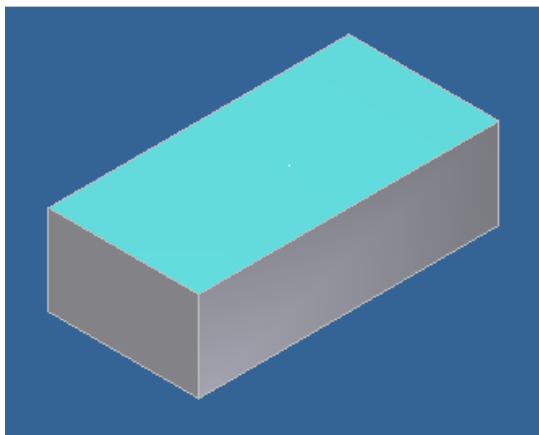
Nesousledné frézování – směr pohybu obrobku je proti směru rotace frézy. Tloušťka třísky začíná na nulové hodnotě a maximální velikosti dosahuje na konci záběru. V okamžiku záběru je břit odtlačován od materiálu, čímž vzniká velký tlak mezi frézou a obrobkem. Tímto dochází na nástroji k většímu opotřebení než v dalším průběhu řezu⁴.

2 FRÉZOVACÍ HRUBOVACÍ OPERACE

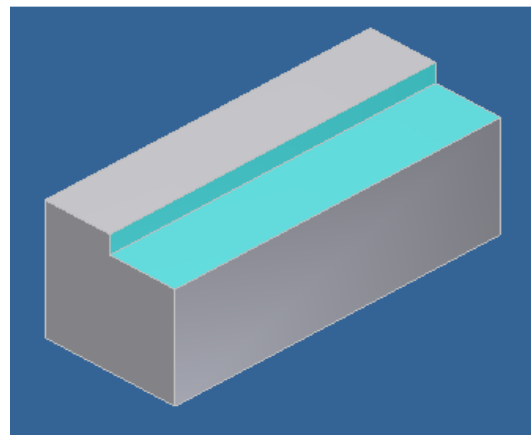
Přehled tvarů obráběných ploch, kterými se tato práce zabývá, znázorňuje, kde se aplikuje rovinné frézování čelní frézou a prostorové frézování stopkovou frézou.

Rovinné frézování čelní frézou a frézovací hlavou jsou nejproduktivnější metody obrábění rovinných ploch. Obrábění stopkovou frézou s VBD a ponorné frézování jsou nejúčinnější způsoby hrubování tvarových ploch jako jsou například formy⁴.

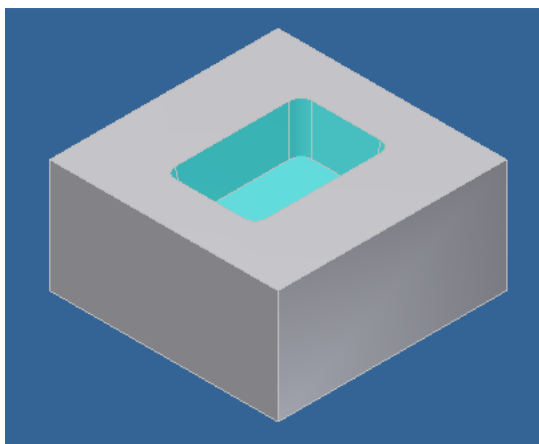
Příklady obráběných ploch:



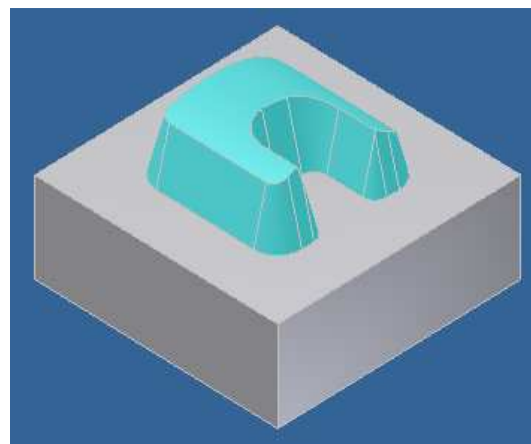
Obr. 2.1 Rovinná plocha



Obr. 2.2 Rovinná plocha s osazením



Obr. 2.3 Prostorová tvarová plocha
vnitřní



Obr. 2.4 Prostorová tvarová plocha
vnější

2.1 Frézování rovinných ploch

Technologie rovinného frézování nahradila dříve hojně používané obrábění jednobřitým nástrojem – hoblování. V současné době není frézování rovinných ploch různých velikostí žádným problémem. Naopak je to velmi účinná metoda, vezme-li se jako měřítko výkon obrábění a jakost povrchu⁴.

V praxi se neobrábí pouze jednoduchá rovinná plocha (obr. 2.1), ale velmi často je třeba také obrobit rovinnou plochu s pravoúhlým osazením (obr. 2.2). Pro tuto operaci lze jako nástroje použít válcovou čelní frézu, nebo frézovací hlavu s úhlem nastavení hlavního ostří 90°. Rovinné plochy bez osazení je výhodnější obrobit frézou s úhlem nastavení menším než 90°, z důvodu větší účinnosti nástroje⁴.



Obr. 2.5 Frézování rovinné plochy frézou CoroMill 365⁵

2.2 Frézování tvarových ploch

Obrábění tvarových ploch se zejména dříve provádělo na kopírovacích frézkách. Dnes jsou tyto stroje většinou nahrazeny CNC frézkami, které jsou díky svému programovatelnému řízení velmi vhodné právě k obrábění tvarových ploch.

Nástroje vhodné k obrábění těchto ploch musí umožňovat nejen klasické frézování, ale i obrábění v axiálním směru pro výrobu vnitřních tvarových částí. Tyto požadavky kladou na nástroje vysoké nároky. Při hrubování tvarových ploch se používají stopkové frézy s vyměnitelnými břitovými

destičkami, pro dokončování přesně vybroušené frézy monolitní ⁵. Pro speciální metodu hrubování ponorným frézováním se používají závrtné frézy.



Obr. 2.6 Ponorné frézování ⁶

3 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE

Produktivní obrábění není zajištěno pouze výkonným strojem, ale především výkonným a vhodně zvoleným nástrojem. Proto výběru vhodné frézy věnujeme velkou pozornost a vybíráme dle několika parametrů.

3.1 Rozdělení řezných nástrojů

Pro frézování se využívá mnoho druhů frézovacích nástrojů. Ty jsou rozděleny do několika kategorií dle různých hledisek ².

- a) Dle umístění zubů na tělese nástroje:
 - frézy válcové: mají zuby na válcové ploše nástroje,
 - frézy čelní: mají zuby na čele nástroje,
 - frézy válcové čelní: mají zuby na válcové i čelní ploše nástroje.
- b) Dle materiálu zubů:
 - frézy z rychlořezné oceli,
 - frézy ze slinutých karbidů,
 - frézy z cermetů,
 - frézy z řezné keramiky,
 - frézy z KBN,
 - frézy z PKD.
- c) Dle provedení zubů:
 - frézy s frézovanými zuby,
 - frézy s podsoustruženými zuby.

- d) Dle směru zubů vzhledem k ose rotace:
 - frézy s přímými zuby,
 - frézy se zuby ve šroubovici.
- e) Dle počtu zubů vzhledem k průměru frézy:
 - frézy jemnozubé,
 - frézy polohrubozubé,
 - frézy hrubozubé.
- f) Dle konstrukčního uspořádání:
 - frézy celistvé,
 - frézy s vloženými zuby,
 - frézy s VBD.
- g) Dle geometrického tvaru funkční části:
 - frézy válcové,
 - frézy kotoučové,
 - kopírovací, ...
- h) Dle způsobu upnutí:
 - frézy nástrčné,
 - frézy stopkové.
- i) Dle smyslu otáčení (při pohledu od vřetena obráběcího stroje):
 - frézy pravořezné,
 - frézy levořezné.

3.2 Výběr nástroje

Výkonné frézovací nástroje pro hrubování musí splňovat požadavky především na výkon obrábění, od toho jsou odvozeny náklady na frézování.

Práce se zabývá hrubovacím frézováním rovinných a prostorových tvarových ploch na CNC strojích. Pro frézování rovinných ploch se na těchto strojích používají především čelní frézy a frézovací hlavy, pro hrubování prostorových tvarových ploch se používají frézy stopkové. Pro tyto hrubovací operace je nejvýhodnější provedení fréz s VBD. Proto se další výběr nástrojů vztahuje především k těmto dvěma druhům fréz, a to z několika hledisek.

3.2.1 Systém značení fréz s VBD a samotných VBD dle ISO

Pro výběr vhodného frézovacího nástroje a orientaci v katalozích je třeba znát způsob jejich označování. Proto je zde uveden příklad označení a popis jednotlivých symbolů u nástrčných a stopkových fréz. Dále je zde uvedeno i označení VBD.

Tab. 3.1 Označení nástrčných fréz dle ISO ⁷

1	2	3	4	-	5	6	7	8	9	10	11
250	C	16	R	-	W	45	S	E	12	F	

Tab. 3.2 Označení stopkových fréz dle ISO ⁷

1	1a	3	4	2a	3a	4a	-	5	7	8	9 (11)
32	A	3	R	040	B	32	-	S	A	D	12

- Význam symbolů⁷:
- 1 – Řezný průměr
 - 2 – Typ frézy, druh a velikost upínání
 - 3 – Pracovní počet ostří
 - 4 – Směr řezu
 - 5 – Způsob upínání
 - 6 – Úhel nastavení
 - 7 – Tvar VBD
 - 8 – Úhel hřbetu
 - 9 – Velikost VBD nebo délka ostří
 - 10 – Úhel hřbetu fazetky
 - 11 – Délka (šířka) bříty
 - 1a – Typ frézy a úhel nastavení
 - 2a – Délka vyložení
 - 3a – Typ upínací stopky
 - 4a – Velikost stopky

Tab. 3.3 Označení VBD dle ISO ⁷

1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	P	G	N	12	03	ED	S	R

- Význam symbolů⁷:
- 1 – Tvar VBD
 - 2 – Úhel hřbetu
 - 3 – Tolerance
 - 4 – Provedení VBD
 - 5 – Délka ostří
 - 6 – Tloušťka
 - 7 – Úhel nastavení, úhel hřbetu fazetky
 - 8 – Provedení ostří
 - 9 – Směr posuvu

Pozn.: Detailní označení fréz a VBD i se schématy viz přílohy 1a 2.

3.2.2 Výběr materiálu VBD

Existuje celá řada materiálu pro VBD, pro frézovací hrubovací operace je však nejvhodnější slinutý karbid (SK) pro svoje mechanické vlastnosti jako je tvrdost, houževnatost a odolnost vůči otěru. Pro zvýšení otěruvzdornosti jsou na SK nanášeny tvrdé povlaky karbidu titanu TiC, nitridu titanu TiN nebo oxidu hlinitého Al_2O_3 . Tyto břity se vyznačují velkou otěruvzdorností a zároveň houževnatostí. Povlaky mohou být i vícevrstvé, s jednou nebo více komponentou⁸.

Slinuté karbidy jsou dle ISO 513 rozděleny do šesti skupin ve vztahu k obráběnému materiálu. V těchto skupinách jsou zařazeny materiály, které způsobují kvalitativně stejný typ zatížení (namáhání) bříty a vyvolávají podobný typ opotřebení. Skupiny jsou označeny písmeny a barevným označením⁹.

Tab. 3.4 Rozdělení SK dle obráběného materiálu⁹

OBRÁBĚNÝ MATERIÁL	OZNAČENÍ SK dle ISO 513
Ocel	P
Korozivzdorná ocel	M
Litina	K
Neželezné kovy	N
Žárupevné slitiny	S
Kalené, zušlechtnuté oceli	H

Doplňující označení je číselné, např. P20, M30, K10, kde vyšší číslo znamená vyšší obsah pojícího kovu, tudíž vyšší houževnatost a pevnost v ohybu, ale nižší tvrdost a otěruvzdornost a vymezuje oblast použití pro nižší řezné a vyšší posuvové rychlosti¹⁰.

Doporučené použití základních druhů SK pro frézování⁸:

Tab. 3.5 Doporučené použití SK bez povlaku pro frézování

Označení dle ISO	Doporučené použití pro frézování
P 25 – P 35	Frézování oceli a ocelolitiny středními a nižšími rychlostmi, středními průřezy třísek při méně příznivých podmínkách obrábění. Vysoká houževnatost a odolnost vůči opotřebení.
P 30 – P 50	Frézování oceli a ocelolitiny středními až nižšími rychlostmi, středními a většími průřezy třísek při horších podmínkách obrábění. Vysoká houževnatost.

M 10 – M 20	Frézování oceli, ocelolitiny, austenitických ocelí, temperované litiny a žáruvzdorných slitin středními až nižšími rychlostmi. Vysoká houževnatost, dobrá odolnost vůči opotřebení.
K 10 – K 20	Frézování nelegované šedé litiny, temperované litiny, automatové oceli a neželezných kovů při středních a vyšších rychlostech malými a středními průřezy třísek. Vysoká odolnost vůči opotřebení.

Tab. 3.6 Doporučené použití povlakovaných SK pro frézování

Označení dle ISO	Doporučené použití pro frézování
P 25 – P 30	Frézování oceli, ocelolitiny, korozivzdorných ocelí a temperované litiny při běžných pracovních podmínkách středními a vyššími průřezy třísek. Vysoká odolnost vůči opotřebení.
M 15 – M 20	Frézování oceli, ocelolitiny, korozivzdorné oceli a šedé litiny nižšími až středními rychlostmi při méně stabilních podmínkách obrábění. Vysoká houževnatost.
K 10 – K 20	Frézování legované i nelegované litiny s krátkou třískou při středních a vyšších rychlostech středními průřezy třísek. Vysoká odolnost vůči opotřebení a stabilita břitu. Frézování kalené oceli a litiny.

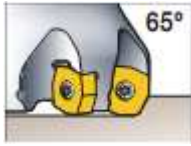
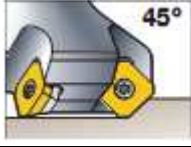
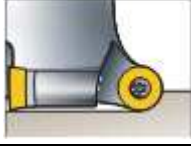
VBD z cermetu nejsou tak houževnaté jako z SK, proto jsou v oblasti hrubování vhodné pouze pro lehké a střední hrubování. Používají se především pro dokončovací operace.

3.2.3 Úhel nastavení hlavního ostří

Úhel nastavení hlavního ostří κ_r je velmi důležitý parametr, který ovlivňuje průběh obrábění. Na tomto úhlu závisí způsob pronikání břitu do obráběného materiálu, působení řezných sil a rozdělení zatížení na břitu.

Menší úhel nastavení při stejném posuvu na zub má za následek zmenšení tloušťky třísky⁷.

Tab. 3.7 Druhy nastavení hlavního ostří

Úhel nastavení hlavního ostří κ_r	Schematické znázornění ⁶
90°	
60°, 65° a 75°	
45°	
VBD kruhového tvaru	

Extrémními úhly nastavení hlavního ostří (pro konvenční metody frézování) jsou hodnoty 90° a 45°. Čím je úhel nastavení menší, tím tenčí je odebíraná tříska, ale zabírá větší délku břitu. Namáhání jednotlivých břitů je menší, což umožňuje zvýšení posuvu na zub. Nevýhodou však je, že při menším úhlu nastavení, při dané délce břitu, je fréza schopna obrábět jen při menších hloubkách řezu ⁴. Úhel nastavení 90° je použit, zejména pokud je nutno dodržet pravý úhel osazení na obrobku.

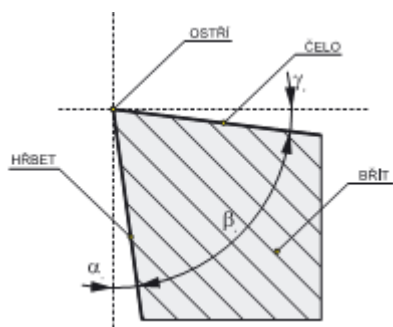
Frézy s VBD kruhového tvaru jsou zvláště vhodné pro hrubování při velkém posuvu na zub, protože tvar břitových destiček zaručuje maximální stabilitu břitu a také větší počet použitelných břitů než jiné tvary břitových destiček. Tyto vlastnosti předurčují použití jimi osazených frézovacích nástrojů k obrábění většiny materiálů, zvláště pak ocelí s vysokou pevností, žáruvzdorných slitin, slitin titanu, korozivzdorných slitin a slitin hliníku. Vhodné pro osazení válcových čelních i stopkových fréz ⁴.

Na základě těchto informací a znalosti obráběného polotovaru vybereme vhodný úhel nastavení hlavního ostří.

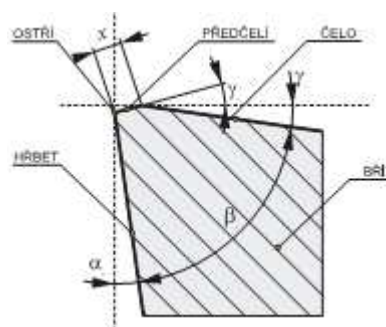
3.2.4 Volba provedení břitu

Provedení břitu výrazně ovlivňuje vlastnosti nástroje a z toho plynoucí použití. Volba závisí na obráběném materiálu a na charakteru frézovací operace.

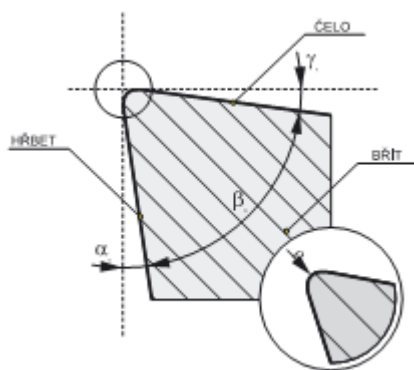
Základní způsoby provedení břitu ⁹:



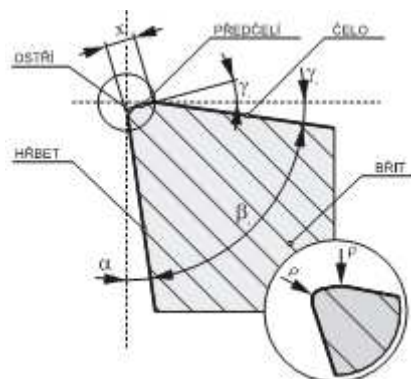
Obr. 3.1 Ostrý břit



Obr. 3.2 Břit s fazetkou



Obr. 3.3 Břit s rektifikovaným ostřím



Obr. 3.4 Rektifikovaný břit s fazetkou

Ostrý břit se doporučuje používat hlavně pro obrábění Al slitin, má nejmenší pevnost ostří.

Břit s fazetkou má zvýšenou odolnost vůči mechanickému poškození díky fazetce, která v blízkosti ostří zvětšuje úhel břitu. Odolnost proti lomu břitu tím roste.

Břit s rektifikovaným ostřím má mírně zaoblené ostří z důvodu snížení mikronerovností řezné hrany. Touto úpravou ostří pod velmi malým poloměrem se dosahuje zvýšené odolnosti proti mechanickému poškození. Toto provedení břitu je v současnosti používané téměř u všech VBD bez fazetky.

Rektifikovaný břit s fazetkou je kombinace dvou předchozích variant, která vede k ještě větší mechanické odolnosti břitu. Úprava vhodná pro nejtěžší podmínky při frézování.

Z tohoto stručného popisu provedení ostří vidíme, že pro použití v hrubovacích operacích je vhodný především rektifikovaný břit s fazetkou. Naopak ostrý břit je nejméně pevný a proto k hrubovacím operacím nevhodný.

3.2.5 Volba nástroje dle tvaru obráběné plochy

Volba nástroje závisí také na požadovaném tvaru plochy po obrobení. V následující tabulce jsou přiřazeny frézovací nástroje pro hrubování k základním druhům tvarů obráběných ploch.

Tab. 3.8 Přiřazení hrubovacích nástrojů k obráběným plochám

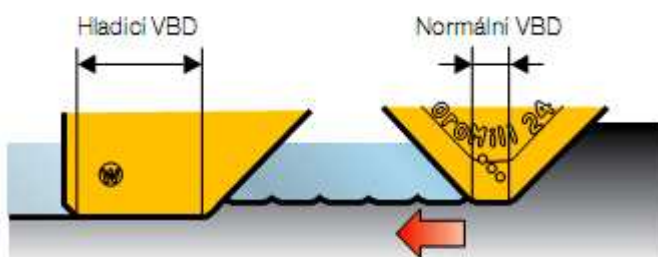
Tvar plochy		Frézovací nástroje
Rovinná plocha	- jednoduchá	čelní frézy, frézovací hlavy
	- s osazením	čelní frézy, frézovací hlavy s úhlem nastavení 90°
Tvarová plocha	- vnější	stopkové frézy
	- vnitřní	

3.2.6 Volba nástroje dle požadované integrity povrchu

Integrita obrobeného povrchu je široký pojem, který označuje souhrn fyzikálně-chemických vlastností povrchu součásti vzhledem k jejímu využití. Integrita zahrnuje kvalitu povrchu – průměrnou aritmetickou odchylku profilu (R_a), výskyt mikroskopických trhlin, tepelných degradací, fázových transformací a zbytkovou napjatost. Významnou složkou je pro nás při obrábění především hodnota R_a , která se uvádí na výkresech společně s dalšími údaji o jakosti povrchu dle ISO¹¹.

Pro hrubovací operace je prvořadé docílit co největšího úběru materiálu v nejkratším čase, bez ohledu na hodnotu R_a . Požadavky na integritu povrchu musí zajistit až dokončovací operace. Pouze v případě obrábění nefunkčních ploch je brán zřetel na integritu povrchu i při hrubování a dokončovací operaci je pak možno vypustit.

Při hrubování rovinných ploch na jeden, popřípadě dva záběry a_p je možno použít hladicí VBD s níž docílíme dostatečné hodnoty R_a . Při použití hladicí VBD na více záběrů a_p by docházelo k zbytečnému opotřebení hladicí destičky a zdražení hrubovací operace.

Obr. 3.5 Použití hladicí VBD⁵

Hladicí VBD zlepšuje kvalitu povrchu při zvětšeném posuvu, dlouhý paralelní zábřít umožňuje zvýšení posuvu až na čtyřnásobek při zachování kvality povrchu. Obvykle stačí frézu osadit jednou hladicí břitovou destičkou⁵.

3.2.7 Volba nástroje dle způsobu obrábění

Volba nástroje závisí také na způsobu obrábění. Proto je v této kapitole frézování rozděleno na klasické a nekonvenční. Dále je vysvětlen základní rozdíl mezi těmito způsoby. V závěrečné části je ukázka nástrojů použitých pro porovnání technologií v tab. 3.9.

Klasické (konvenční) frézování

Progresivní způsoby frézování - HSC/M

- HPC/M

- HFC/M

- Ponorné obrábění

Charakteristika frézovacích technologií:

Konvenční frézování – obrábění za běžných řezných podmínek.

HSC - Obrábění vysokými řeznými rychlostmi. Pojem HSC je velmi relativní. Nelze totiž říci, že konvenční obrábění přechází do oblasti vysokorychlostního od konkrétní řezné rychlosti, bez ohledu na způsob obrábění a především na obráběný materiál. Rychlostní obrábění zahrnuje mimo podstatného zvýšení řezné rychlosti nástroje vůči obrobku i možnost obrábění bez chlazení a obrábění tepelně zpracovaných ocelí a velmi tvrdých materiálů^{8,12}.

HPC – Obrábění s vysokým úběrem materiálu (až 2x vyšší než u srovnatelných standardních fréz). Vhodné i pro obrábění kalených forem a zápustek¹³.

HFC – Frézování vysokými posuvy při malých hloubkách řezu. Hloubka řezu 0,4-1,5 mm v závislosti na průměru nástroje. Výhodou je také snížení rizika vzniku vibrací při obrábění s velkým vyložení nástroje¹³.

Ponorné obrábění - Metoda ponorného frézování je ideální u operací vyžadujících dlouhé vyložení nástroje, kde lze ve srovnání se standardním bočním frézováním dosáhnout mnohem většího úběru materiálu. Přitom nedochází ke ztrátě stability, neboť většina řezných sil působí souběžně s osou nástroje¹³.

Tab. 3.9 Orientační řezné podmínky v závislosti na frézovací technologii a použitém nástroji

Způsob frézování / Nástroj	Obráběný materiál	Řezné podmínky		
		v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	a_p [mm]
Klasické Pramet Tools SAP 11D ^{7,9}	Ocel	180-200	0,1-0,25	6
HSC FRANKEN Trace-Cut ¹⁴	Ocel	260-280	0,20	0,5
HPC FRANKEN HPC VBD ¹⁴	Ocel	220-260	0,8-1,6	0,5-0,7
HFC FRANKEN Time-S4-Cut ¹⁴	Ocel	220-260	0,8-1,6	0,5-0,7

Ukázka nástrojů z tab. 3.9:



Obr. 3.6 Stopková fréza PRAMET SAP11D⁸



Obr. 3.7: Čelní HFC fréza FRANKEN s VBD Time-S4-Cut¹⁵



Obr. 3.8 Stopková HSC fréza
FRANKEN Trace-Cut¹⁴

Těla fréz pro HSC a HPC frézování od firmy Franken jsou totožná, frézy se liší pouze použitými VBD. Provedení VBD je pro ilustraci zobrazeno v tab. 3.10, včetně VBD pro HFC frézu na obr. 3.7.

Pro hrubování jsou z nekonvenčních technologií frézování určeny převážně HPC a HFC frézy, které jsou konstruovány pro co nejvyššího množství odebraného materiálu za jednotku času.

HSC frézy jsou vhodné především pro dokončovací obrábění povrchu. V porovnání s konvenční technologií je dosaženo až 75 % úspory strojního času¹⁴.

Tab. 3.10 VBD pro nekonvenční způsoby frézování od firmy Franken¹⁴

HSC	HPC	HFC
		



Obr. 3.9 Závrtná fréza PRAMET SSA⁷

4 UPÍNAČE ROTAČNÍCH NÁSTROJŮ

U CNC fréz se nástroje většinou neupínají přímo do vřetena stroje, ale nejčastěji pomocí upínacího nářadí. Upínače pak usnadňují seřízení nástrojů mimo stroj a také rychlou automatickou, případně ruční výměnu. Držáky pro automatickou výměnu mají přírubu s drážkou, umožňující automatickému podavači přenesení držáku ze zásobníku do vřetena stroje¹⁵.

Pro dosažení velkého úběru obráběného materiálu při hrubování se volí vysoké řezné rychlosti a posuvy. S vysokou řeznou rychlostí souvisejí vysoké otáčky vřetena obráběcího stroje, zejména pro malé průměry nástrojů. Tyto požadavky kladou vysoké nároky nejen na nástroje, ale také na použité upínače. Základní předpoklady upínačů – vysoká pevnost v ohybu, dynamické vyvážení, zajištění vysokých upínacích sil, které jsou schopné přenést vysoké krouticí momenty, schopnost tlumit vibrace, přivádět procesní kapalinu do místa řezu, umožňovat krátké časy upínání a dále také umožnit zajištění snadné a bezpečné obsluhy¹⁶.



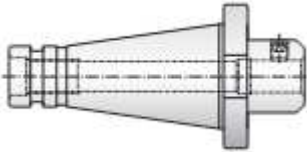
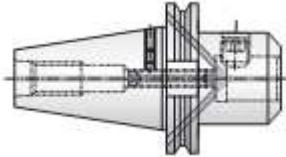
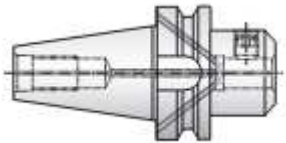
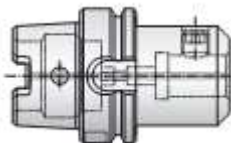
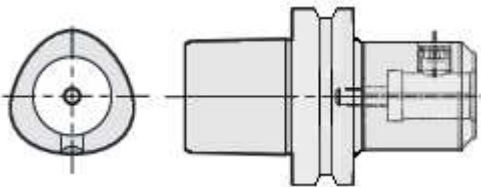
Obr. 4.1 Upínače od firmy Pramet Tools¹⁷

4.1 Způsoby upínání nástrojových držáků do vřetena stroje

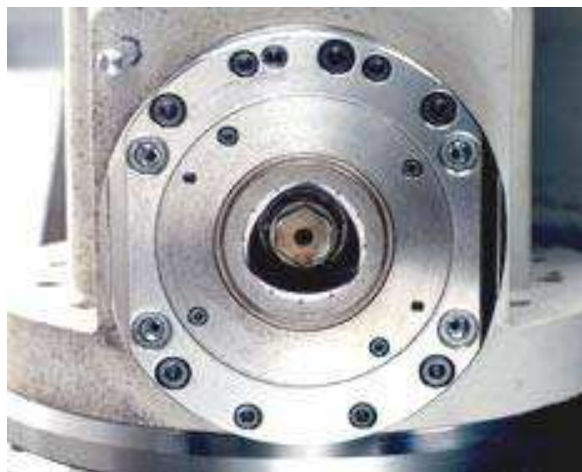
Dle tvaru a velikosti upínací dutiny vřetena stroje vybereme vhodný nástrojový držák. Nejběžnější tvar dutiny je strmý kužel či HSK kužel, v poslední době se lze setkat i s upínáním Coromant Capto také přímo ve

vřetenu stroje (obr. 4.2), tento způsob upínání vyvinula firma Sandvik Coromant. Dále je také brán v úvahu způsob výměny nástroje (viz výše).

Tab. 4.1 Základní typy upínačů dle tvaru vřetena stroje^{17, 18}

Stopka upínače	Rozměr stopky (char. příklady)	Schéma (provedení pro upnutí frézy s válcovou stopkou s ploškou - Weldon)
DIN 2080	ISO 30 ISO 40 ISO 50	
DIN 69871-A/B	ISO 30 ISO 40 ISO 45 ISO 50	
MAS 403 BT (JIS B 6339)	ISO 30 ISO 40 ISO 50	
HSK – A/B/C/D/E/F (DIN 69893)	32 40 50 63 80 100	
Capto	C3 C4 C5 C6 C8	

Z tab. 4.1 lze dle schématu vidět vhodnost použití držáků normy DIN 2080 pouze pro ruční výměnu.



Obr. 4.2 Systém upínání Coromant Capto ve vřetenu stroje¹⁸

4.2 Upínání nástrčných fréz

Nástrčné frézy a frézovací hlavy se upínají pomocí frézovacích trnů. Provedení stopky frézovacího trnu se vyrábí v obdobných variantách jako upínače, tzn. strmý kužel či HSK provedení, viz tab. 3.9. Tyto trny jsou pak spojeny s upínačem, který je upnut ve vřetenu obráběcího stroje. Pokud má frézovací trn vlastní kuželovou stopku se shodnou kuželovitostí jako je ve vřetenu stroje, může být upnut přímo do vřetena stroje.

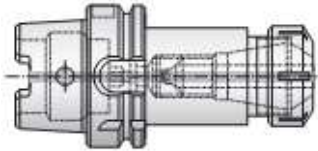
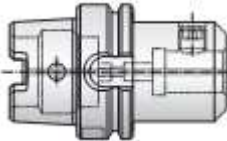
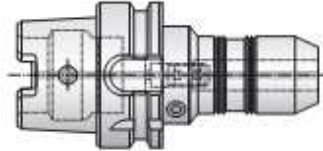
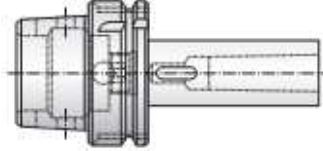


Obr. 4.3 Upínací trn se stopkou HSK pro nástrčné frézy s unášecím kroužkem a upínacím šroubem¹⁷

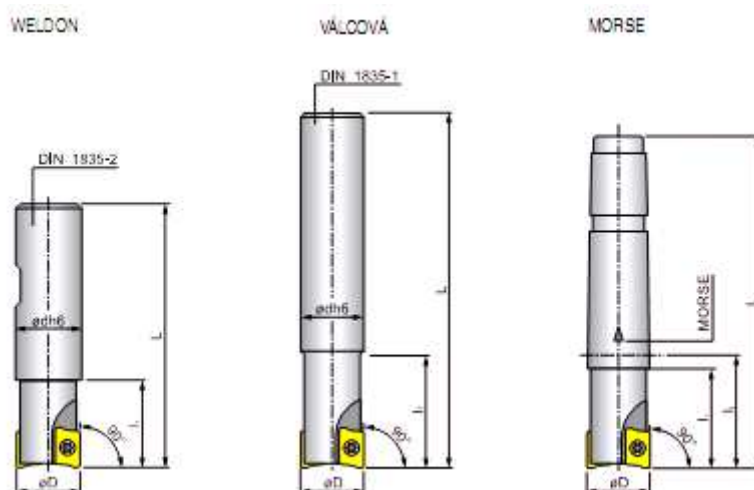
4.3 Upínání stopkových fréz

Stopkové frézy se upínají do frézovacího stroje pomocí nástrojových držáků. Držák se zvolí podle tvaru upínací části frézy – kuželová nebo válcová stopka, popř. válcová stopka s ploškou. Přiřazení fréz k nástrojovým držákům dle tvaru upínací části frézy je patrné z tab. 3.9.

Tab. 4.2 Základní druhy a velikosti stopek upínačů^{17,19}.

Stopka	Způsob upnutí		Schéma
válcová	kleština		
	Weldon		
	Moderní způsoby upínání	mechanicko-deformační	
		hydraulické	
		tepelné	
kuželová	Morse kužel		

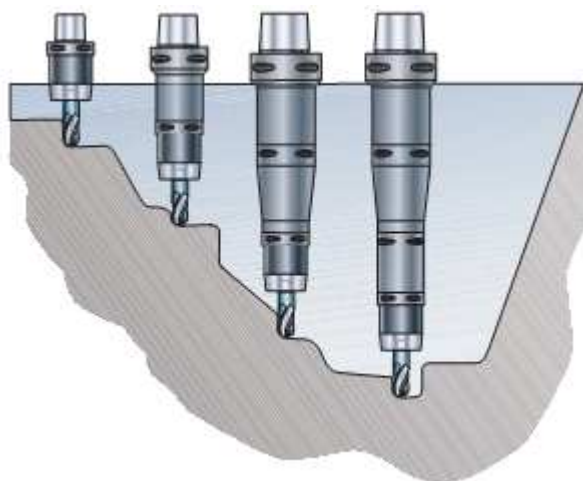
Moderní způsoby upínání stopkových fréz s válcovou upínací částí jsou velmi přesné, ale také dražší v porovnání s konvenčním způsobem upnutí. Proto se tyto systémy upínání volí především pro dokončovací frézování, popř. pro progresivní metody obrábění. Pro klasické hrubovací operace je vhodné volit např. upnutí pomocí systému Weldon.

Obr. 4.4 Varianty upínací části stopkové frézy⁷.

4.4 Nástrojové sestavy

Ve výrobě je požadavek na flexibilitu systému upínání. Nástrojová sestava musí zajistit např. různý dosah nástroje při udržení dostatečné výkonnosti a tuhosti. Toto se řeší pomocí prodlužovacích mezikusů. Dále musí sestava zajistit také zaměnitelnost nástrojů, popř. jejich velikostí. Tento problém řeší redukční nástavce požadované velikosti.

Konkrétní řešení této problematiky firmou Sandvik Coromant lze vidět na obr 4.5. Je zde použit modulární upínací systém Coromant Capto, který disponuje dostatečnou tuhostí i při velkém vyložení nástroje z vřetena stroje¹⁸.

Obr. 4.5 Modulární upínací systém (Coromant Capto)¹⁸

Pro hrubovací operace je požadována maximální tuhost obráběcí soustavy, proto se prodlužovací mezikusy používají pouze v nejnutnějších případech.

4.5 Výrobci nástrojů a nástrojových upínačů

Existuje celá řada výrobců kvalitních frézovacích nástrojů, většina z nich se zabývá i výrobou upínacího nářadí pro tyto nástroje. Jsou však i firmy specializované pouze na nástrojové upínače, např. firma SCHUNK. Vzhledem k nabídce těchto firem je možno vybrat z jejich výrobního sortimentu vhodný nástroj i jeho upínač pro konkrétní frézovací operaci a porovnat s ostatními výrobci. Pro ukázkou jsou zde vyjmenováni někteří výrobci nástrojů. Největším domácím producentem je firma Pramet Tools, mezi zahraniční patří například Sandvik Coromant, Walter, Ceratizit, Iscar, Seco, Mitsubishi, LMT FETTE Tools, FRANKEN a další.

5 OBRÁBĚCÍ STROJE PRO FRÉZOVÁNÍ

Frézovací stroje – frézky jsou vyráběny ve velkém počtu modelů a velikostí, mohou být dodány i s rozsáhlým speciálním příslušenstvím. Velikost stroje určuje šířka upínací plochy stolu a velikost upínací dutiny ve vřetenu pro upnutí nástroje¹⁶.

- Technické parametry
- šířka upínací plochy stolu,
 - velikost upínací dutiny ve vřetenu,
 - rozsah pohybu - osy X / Y / Z,
 - rozsah otáček vřetena,
 - rozsah posuvů,
 - výkon elektromotoru vřetena, popř. přepočteno na výkon na vřetenu.

5.1 Rozdělení obráběcích strojů pro frézování

Frézky lze dělit dle několika kritérií¹⁶:

- a) Dle konstrukčně technologického hlediska:
- frézky konzolové,
 - frézky stolové,
 - frézky rovinné,
 - frézky speciální.
- b) Dle osy vřetena:
- vodorovné,
 - svislé,
 - univerzální.

c) Dle způsobu řízení:

- řízené ručně,
- řízené programově - tvrdá automatizace,
- pružná automatizace (CNC, NC).

5.2 CNC frézky

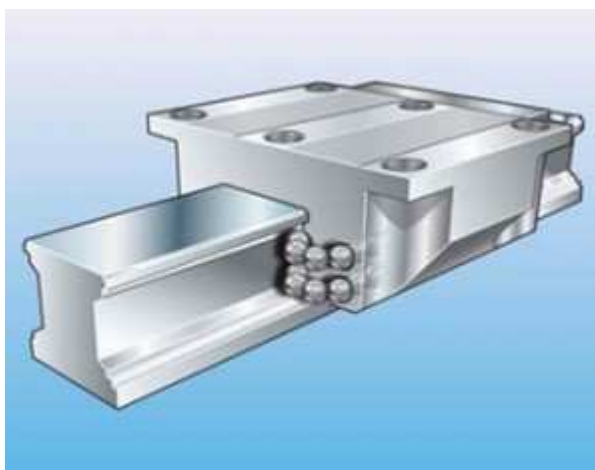
Vzhledem k tématu „Hrubovací frézování rovinných a prostorových tvarových ploch na CNC strojích“ se práce dále věnuje pouze výběru stroje s CNC řízením.

Číslicově řízené výrobní stroje ovládají pracovní funkci stroje řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Díky tomuto řízení je lze rychle přizpůsobit jiné výrobě a pracují v automatickém cyklu.

5.2.1 Základní části CNC stroje

Základní rozdíly v konstrukci oproti klasickým frézovacím strojům jsou v těchto bodech²⁰:

- Rám stroje – CNC stroje vzhledem ke svým vysokým výkonnostním parametrům vyžadují zvýšenou tuhost a dynamickou stabilitu, tu zajišťují především tuhé rámy. Klasické litinové rámy bývají nahrazeny svařenci plněné polymerbetony, kovovými pěny apod.
- Vedení lože - Kluzné vedení je ve většině případů nahrazeno vedením valivým. To má řadu výhod, ale také některé nevýhody, jako např. nízké tlumení rázu, citlivost na nečistoty, řešení mazání atd.



Obr. 5.1 Valivé lineární vedení²¹

- c) Vřeteník – Hlavní pohon vřetena stroje musí být schopen zajistit plynulou změnu otáček při zatížení, vysoké zrychlení i zpomalení. Tyto stroje dosahují otáček vřetena až $12\,000\text{ ot.min}^{-1}$, v případě elektrovřetena nebo vřetena s vlastním pohonem až $20\,000\text{ ot.min}^{-1}$. Tyto otáčky jsou uplatněny především v technologii HSC. Pro takovéto hodnoty jsou pak potřebné pro kontrolu funkce snímače nejen otáček, ale i teploty a zatížení ložisek, snímače chvění apod.
- d) Pohony posuvů – Základní řešení konstrukce těchto mechanismů je pomocí servomotorů a kuličkových šroubů. Servomotor je konstrukčně dán počtem inkrementů na otáčku motoru. Kuličkový šroub a matice jsou vzájemně předepjaty, tím je odstraněna veškerá vůle.
- Další konstrukční řešení je použití lineárních motorů, které dosahují ještě vyšších posuvových hodnot. Mají však své nevýhody, především zahřívání, proto vyžadují chlazení.
- e) Automatická výměna nástrojů – Především u obráběcích center jsou nástroje měněny automaticky a skladovány v zásobníku (bubnový, deskový, řetězový).
- f) Krytování stroje – Pracovní prostor je uzavřený především z důvodů hygieny a bezpečnosti. Pokud je kryt otevřený, stroj nelze spustit.
- g) Příslušenství stroje – Důležitou podmínkou pro správnou funkci těchto výkonných strojů je odstranění třísek z obráběcího prostoru. To je zajištěno správnou konstrukcí příslušných částí stroje (šikmá lože se skluzu). Transport třísek mimo stroj je pak proveden pomocí pásových či šnekových dopravníků. Na konce dopravníků jsou pak montovány drtiče třísek z důvodu snížení jejich objemu.

5.2.2 Základní typy CNC strojů pro frézování

- a) CNC frézky¹⁶ - Jednoprofesionální obráběcí stroje pro frézování s CNC řízením. Dle konstrukce stroje jsou rozděleny na konzolové, stolové, rovinné a speciální v provedení vodorovném či svislém.

Konzolové frézky – Hlavním znakem těchto strojů je výškově stavitelná konzola pohybující se po vedení stojanu. Na konzole jsou umístěny příčné saně s podélným pracovním stolem. Tyto části stroje umožňují pohyb obrobku upnutého na pracovním stole ve třech pravoúhlých souřadnicích. Právě toto konstrukční řešení předurčuje konzolové frézky k obrábění rovinných i tvarových ploch menších až středně velkých obrobků.

Stolové frézky – U těchto druhů strojů je podélný a příčný stůl umístěn přímo na základně stroje. Svislý pohyb proto koná vřeteník pohybující se po vedení stojanu. Tato konstrukce stroje je vhodná k obrábění těžších a rozměrnějších součástí.

Rovinné frézky – Pracovní stůl těchto strojů se pohybuje pouze v jednom vodorovném směru a v dalších dvou osách se přesouvá vřeteník. Toto konstrukční řešení plus robustní konstrukce umožňuje obrábět velmi těžké a rozměrné součásti a řadí tak tyto stroje mezi nejvýkonnější druhy frézek. Vyrábějí se i v provedení jako portálové.



Obr. 5.2 CNC portálová frézka MCU 2000 (výrobce MAS) ²²

Speciální frézky – Do této kategorie patří zejména odvalovací frézky na výrobu ozubení.

b) Frézovací centra¹⁶ - jsou to číslicově řízené obráběcí stroje schopné provést různé operace při jednom upnutí obrobku, automaticky vyměnit nástroj, nastavit vzájemnou polohu obrobku a nástroje, apod. Dalším charakteristickým znakem těchto strojů jsou zásobníky nástrojů různých typů.

- dle konstrukčního rozdělení
- centra svislá.
- centra vodorovná.

Frézovací centra svislá - Tyto tří až pětiosé multiprofesní obráběcí stroje slouží k obrábění převážně plochých nerotačních součástí. Vřeteno s třemi, popřípadě dvěma ovládanými osami je svisle umístěno na pojízdném portálu. Upínací část pro obrobek může být tvořena pevným stolem, otočným stolem, nebo otočným a sklopným stolem se dvěma otočnými osami pro plnohodnotné pětiosé obrábění.



Obr. 5.3 Svislé obráběcí centrum VDL 1000 (výrobce DMG) ²³

Frézovací centra vodorovná – Tří až pětiosé multiprofesní obráběcí stroje sloužící k obrábění většinou nerotačních součástí skříňovitého tvaru. Vodorovně umístěné vřeteno je pohyblivé ve třech osách, stůl pro umístění obrobku je pak vybaven dvěma rotačními osami. Další varianta strojů je tvořena vodorovným vřetenem pohyblivým ve dvou osách a stolem pohybujícím se ve třech osách. Existují i vodorovná frézovací centra v dalším provedení.

5.2.3 Příklad konkrétních strojů

Zde je pro znázornění vybrán jeden zástupce z třídy jednofesních CNC frézovacích strojů a jeden zástupce ze skupiny frézovacích center. U obou strojů je proveden stručný popis s tabulkou základních parametrů.

a) CNC frézka FNG 40 CNC E

Konstrukcí se tento stroj, od firmy INTOS, řadí mezi konzolové frézky. Lze efektivně využít k obrábění menších a středních, tvarově složitých součástí v kusové, nebo malosériové výrobě. Dosahuje vysoké přesnosti obrábění, která je předepsána např. u přípravků, nástrojů, forem apod.²⁴

Obr.: 5.4 Frézka FNG 40 CNC E²⁴Tab. 5.1 Technické údaje FNG 40 CNC E²⁴

Velikost upínacího stolu		800 x 400	[mm]
Max. zatížení stolu		300	[kg]
Upínací dutina ve vřetenu		40	ISO
Rozsah pohybů	X	600	[mm]
	Y	400	[mm]
	Z	400	[mm]
Rozsah otáček		10 - 3150	[min ⁻¹]
Rozsah posuvů	Pracovní	1 - 5000	[mm.min ⁻¹]
	rychloposuv	6000	[mm.min ⁻¹]
Výkon elektromotoru vřetena		5,5	[kW]
Řídicí systém		Heidenhain TNC 310	-----

b) Svislé obráběcí centrum VARIAXIS 500-5X II

Toto pětiosé svislé obráběcí centrum firmy YAMAZAKI MAZAK je navrženo pro kompletní obrábění malých a středních obrobků. Obrábění polotovarů z pěti stran snižuje množství potřebných upnutí a tím se zvyšuje rozměrová přesnost obrobku. Použitím tohoto frézovacího centra se podstatně snižuje celkový čas na obrobení polotovaru a s tím související výrobní náklady²⁵.

Obr.: 5.5 Svislé obráběcí centrum VARIAXIS 500-5X II ²⁵Tab. 5.2 Technické údaje VARIAXIS 500-5X II ²⁵

Velikost upínacího stolu		500 x 400	[mm]
Max. zatížení stolu		300	[kg]
Upínací dutina ve vřetenu		40	ISO
Rozsah pohybů	X	510	[mm]
	Y	510	[mm]
	Z	460	[mm]
Rozsah otáček		35 - 12000	[min ⁻¹]
Rozsah posuvů	Pracovní	1 - 52000	[mm.min ⁻¹]
	rychloposuv	52000	[mm.min ⁻¹]
Výkon elektromotoru vřetena		15	[kW]
Řídicí systém		MAZATROL MATRIX	-----

5.3 Výrobci obráběcích strojů pro frézování

Na trhu je velké množství výrobců CNC frézovacích strojů a obráběcích center, avšak ne všichni nabízejí kompletní sortiment strojů. Někteří výrobci se zaměřují spíše na jednoprofesní stroje. Například firma INTOS vyrábí číslíkově i ručně řízené jednoprofesní stroje. Oproti tomu firma Kovosvit MAS se zabývá výrobou jak jednoprofesních CNC strojů, tak i obráběcích center. Existuje však ještě celá řada domácích i zahraničních výrobců jako např. YAMAZAKI MAZAK, MORI SEIKI, TOS Kuřim, DMTG a další.

6 VÝBĚR KONKRÉTNÍ SESTAVY STROJE, NÁSTROJE A UPÍNAČE

V této části jsou uplatněny teoretické informace z předchozích kapitol a na jejich základě je vybrána konkrétní sestava pro obrábění jak rovinných, tak i prostorových tvarových ploch.

6.1 Výběr stroje

CNC obráběcí stroje jsou velmi univerzální a pružné výrobní prostředky. Proto jeden stroj je vhodný pro hrubování ploch rovinných i prostorových, stejně tak jako pro jejich následné dokončení.

Do této obráběcí sestavy je pro ukázkou vybráno již zmíněné svislé obráběcí centrum VARIAXIS 500-5X II od výrobce YAMAZAKI MAZAK, viz obr. 5.5, technické parametry tab. 5.2.

6.2 Výběr nástroje a jeho upínače

Nástroje jsou voleny pro hrubovací obrábění konstrukční oceli klasickými reznými podmínkami. Poté je k nim na základě informací o stroji i nástroji přiřazen vhodný upínač.

6.2.1 Nástroj s upínačem pro rovinné plochy

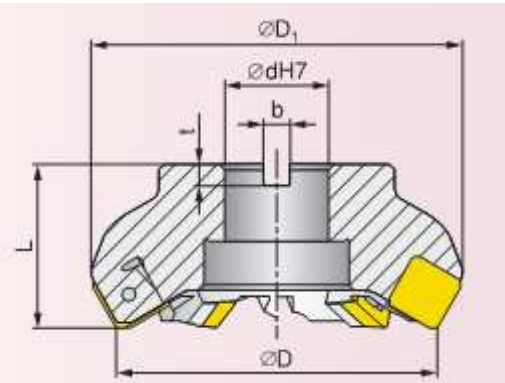
Nástroj: Čelní hrubovací fréza F60SB22X od firmy Pramet Tools.

Materiál VBD: 8040 (označení výrobce), viz příloha 4.

Tab. 6.1 Rozměry nástroje + schéma⁷

ISO	Rozměry [mm]						
	D	D ₁	dH7	L	t	b	Z
125B07R-F60SB22X	125	144,4	40	63	9	16,4	7

Z – počet zubů

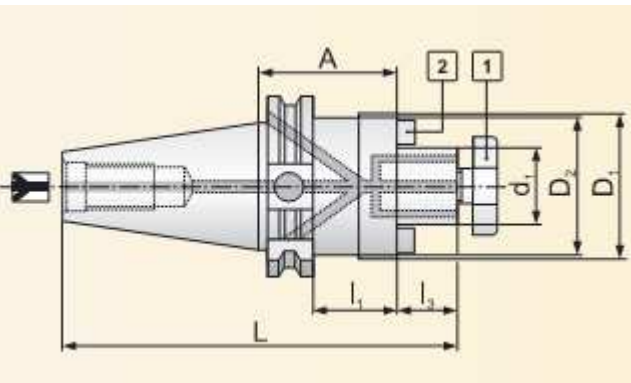



Detailní popis nástroje a jeho VBD viz příloha 3 a 4.

Upínač: Upínací trn pro nástrčné frézy – typ B od firmy Pramet Tools.

Tab. 6.2 Rozměry upínače + schéma¹⁷

Označení PRAMET	Rozměry [mm]							
	Kužel	d ₁	A	D ₁	D ₂	L	l ₁	l ₃
69871.40ADB-FMH1 4050	40	40	50	89	50	145,4	31	27

Detailní popis upínače i s příslušenstvím viz příloha 5.

6.2.2 Nástroj s upínačem pro tvarové plochy

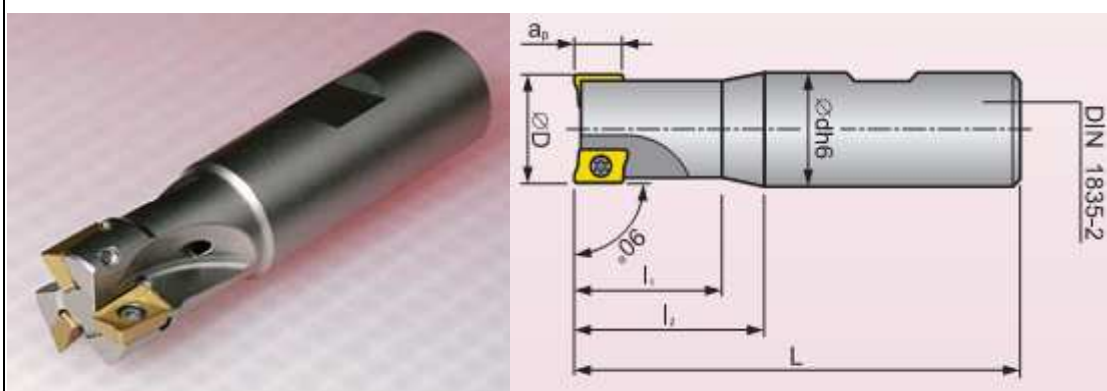
Nástroj: Stopková fréza od firmy Pramet Tools se stopkou typu Weldon.

Materiál VBD: 8040 (označení výrobce), viz příloha 7.

Tab. 6.3 Rozměry nástroje + schéma⁷

ISO	Rozměry [mm]					
	D	L	l_1	l_2	Z	dh6
20A3R032B20-SAP10D-C	20	82	-	32	3	20

Z – počet zubů

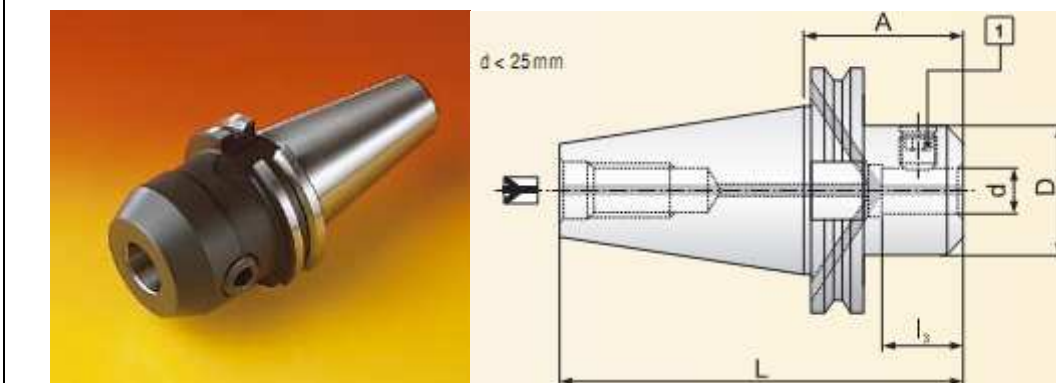


Detailní popis nástroje a jeho VBD viz příloha 6 a 7.

Upínač: Upínač pro nástrčné frézy – typ B od firmy Pramet Tools.

Tab. 6.4 Rozměry upínače + schéma¹⁷

Označení PRAMET	Rozměry [mm]					
	Kužel	d	A	l_3	D	L
69871.40AD-W 40115	40	20	63	49	52	131,4



Detailní popis upínače i s příslušenstvím viz příloha 8.

ZÁVĚR

Předmětem této bakalářské práce je hrubovací frézování rovinných a prostorových ploch na CNC strojích. Úvodní část je věnována základní teorii frézování. Následující kapitoly pak řeší volbu vhodného nástroje pro hrubování s jeho upínačem a představení typických CNC frézovacích strojů.

Výběr nástrojů je zúžen na frézy nástrčné čelní a na frézy stopkové. Pro hrubování rovinných ploch se používají čelní frézy, pro hrubování tvarových ploch frézy stopkové. Obě tyto varianty fréz v provedení s VBD ze slinutých karbidů, které je pro hrubovací operace nejvhodnější. Jsou zde také zmíněny hlediska výběru těchto nástrojů a to především konkrétní materiál VBD, úhel nastavení hlavního ostří κ_r , provedení břitu a další.

Nástrojové upínače se v první řadě dělí podle druhu upínaného nástroje. Pro upínání nástrčných fréz slouží frézovací trny. Stopkové frézy jsou upínány např. kleštinou, pomocí systému Weldon, nebo dalšími způsoby. Jiné rozdělení nástrojových upínačů je pak podle tvaru upínací dutiny stroje.

V kapitole věnované CNC frézovacím strojům je provedeno jejich rozřídění a také jsou zde vypsány hlavní rozdíly oproti strojům konvenčním. Pro názornou ukázkou je zde uveden konkrétní příklad CNC frézky a frézovacího centra.

Poslední část práce využívá poznatků z předchozích kapitol. Na jejich základě jsou zde doloženy konkrétní sestavy nástroje a upínače pro frézování rovinných a tvarových ploch pro obrábění na svislém frézovacím centru.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. NOVÁK, Zdeněk. Moderní výkonné frézovací nástroje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Vyd: 22.4.2008, č. 4 [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-vykonne-frezovaci-nastroje>>.
2. HUMÁR, Anton. *Výrobní technologie II.* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia. VUT v Brně, FSI, 2002. 84 s. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobniTecnologie_II.pdf>.
3. *Garant - Příručka obrábění.* HOFFMANN GROUP, Německo. [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.hoffmann-gmbh.de/download/cz/zerspanungshandbuch/cz-zerspanungshandbuch.pdf>>.
4. 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 91-9722 99-4-6.
5. *Katalog CoroKey 2008.* SANDVIK COROMANT, Švédsko. [online]. 2008, [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/ENG/CoroKey_2008.pdf>.
6. *TangPlunge.* ISCAR, Izrael. [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <http://www.iscar.com/ProductUpdate/Img/TangPlunge_2027_2.jpg>.
7. *Katalog Frézování 2008.* PRAMET TOOLS, s.r.o., ČR. [online]. 2008, [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/Milling%202008%20CZ.zip>>.
8. KOČMAN, Karel. *Speciální technologie. Obrábění.* 3. přepracované a doplněné vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 227 s. ISBN 80-214-2562-8.
9. *Příručka obrábění.* PRAMET TOOLS, s.r.o., ČR. [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <http://www.pramet.com/download/katalog/prirucka_cz.zip>.
10. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje.* [online]. Interaktivní multimediální text pro všechny studijní program FSI. VUT v Brně, FSI, 2006. 192 s. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW:<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf>.
11. FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje.* 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

12. HOFMANN, Petr, et al. Tvorba třísky při vysokorychlostním obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003, č. 4 [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/tvorba-trisky-pri-vysokorychlostnim-obrabeni>>.
13. Nové nástroje pro výkonné obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, č. 9 [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-nastroje-pro-vykonne-obrabeni-2>>.
14. *Machining Technology*. EMUGE-FRANKEN, Německo. [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://counterwelt.com/cwlinker.php?1207573773.13>>.
15. Kolektiv. *Frézování I*. Brno : VUT, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 1999. 192 s. ISBN 80-214-1425-1.
16. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Základní metody obrábění – 1. část*. [online]. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, FSI, 2004. 17 s. [cit. 2008-05-12]. Dostupné na WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf>.
17. *Upínače rotačních nástrojů*. PRAMET TOOLS, s.r.o., ČR. [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/Upinace%202007%20CZ-AJ.zip>>.
18. *Coromant Capto Modular Tooling System*. SANDVIK COROMANT, Švédsko. [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/ENG/Capto_2008.pdf>.
19. *Tribos - R*. SCHUNK GmbH & Co. KG, Německo. [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <http://217.5.167.5/schunk_files/images/TRIBOS-R_overview.jpg>.
20. ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
21. *Svět CNC strojů*. [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.cnc.estranky.cz>>.
22. *Portálová frézka MCU 2000*. KOVOSVIT MAS, [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.kovosvit.cz/2008/cs/technologie-frezovani/portalova/mcu-2000>>.
23. *CNC vertikální obráběcí centra*. CZ MOOS TRADING, s.r.o., [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.moostrading.cz/cnc-vertikalni-obrabeci-centra.html>>.
24. *FNG 40 CNC E*. INTOS, s.r.o., [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <http://www.intos.cz/cz/vyrobek.php?id_vyr=11&id_kat=3>.

25. *VARIAXIS 500-5X II*. MISAN, s.r.o., [online]. [cit. 2009-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.misan.cz/mazak/katalog-detail/vrx5005xii-variaxis-500-5x-ii>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CNC	[-]	Computer Numeric Control Počítačově číslicové řízení
NC	[-]	Numeric Control Číslicové řízení
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
SK	[-]	Slinutý karbid
KBN	[-]	Kubický nitrid boru
PKD	[-]	Polykrystalický diamant
HSC	[-]	High Speed Cutting Vysokorychlostní obrábění
HPC	[-]	High Performance Cutting Vysokovýkonnostní obrábění
HFC	[-]	High Feed Cutting Vysokoposuvové obrábění
Ra	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka profilu
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	Řezná rychlost
f_z	[mm]	Posuv na zub
K_r	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Systém značení fréz ISO
Příloha 2 1/2	ISO systém značení VBD
Příloha 2 2/2	ISO systém značení VBD
Příloha 3	Čelní fréza F60SB22X, výrobce Pramet Tools
Příloha 4	VBD pro čelní frézy F60SB22X, výrobce Pramet Tools
Příloha 5	Upínací trn pro nástrčné frézy – typ B, výrobce Pramet Tools
Příloha 6	Stopková fréza SAP10D, výrobce Pramet Tools
Příloha 7	VBD pro stopkové frézy SAP10D, výrobce Pramet Tools
Příloha 8	Upínací trn typ Weldon, výrobce Pramet Tools

NÁSTRČNÉ FRÉZY

ISO 11529-2
DIN ISO 11529-2

1
Řezný průměr Rezný priemer øD [mm]

2
Typ frézy, druh a velikost upínání Typ frézy, druh a veľkosť upnutia
T

6
Úhel nastavení Uhol nastavenia

10
Úhel hřbetu Uhol chrbta

11
Délka (šířka) břitů Dĺžka (šířka) reznej hrany

1	2	3	4
160	H	05	N
250	C	16	R

5	6	7	8	9	10	11
F	90	T	P	16	P	22
W	45	S	E	12	F	

4
Směr řezu Smer rezu

5
Způsob upínání Spôsob upínania

3
Pracovní počet ostří Pracovný počet rezných hran

7
Tvar destičky Tvar doštičky

8
Úhel hřbetu Uhol chrbta

9

Velikost desičky - délka řezné hrany
Veľkosť doštičky - dĺžka reznej hrany

d	S	C	T	W	R	A
[mm]						
6,35						09/11
7,64						
8,00					08	
9,525	09	09	16	06		12
10,00					10	
12,00					12	
12,70	12	12	22	08		15
15,875	15					
16,00					16	
25,00					25	
25,40	25					

1	1a	3	4
63	J	4	R
32	A	3	R

2a	3a	4a
150	H	50
040	B	32

5	7	8	9 (11)
S	SA	P	95
S	A	D	12

STOPKOVÉ FRÉZY

ISO 7848
DIN ISO 11529-2

1a
Typ frézy a úhel nastavení Typ frézy a uhol nastavenia

2a
Délka vyložení Dĺžka vyloženia l [mm]

3a
Typ upín. stopky Typ upín. stopky

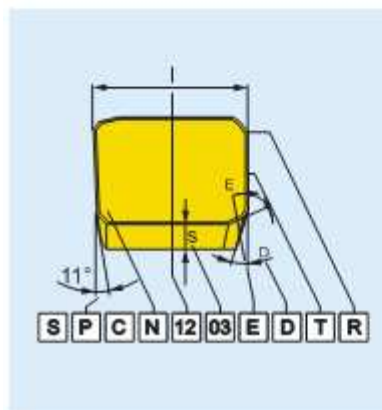
4a	
Velikost stopky Veľkosť stopky	
ØD	Ød
08 + 32	10 + 32
ØD	Ød
10, 12, 16	16
20	20
25	25
32, 40	32
ØD	MORSE No.
10, 12, 16	02
20, 25, 32	03
40	04
ØD	7:24 No.
32, 40 (50; 63)	40
50, 63, 80	50
ØD	7:24 No.
32, 40	40
50, 63, 80	50

Příloha 2 (1/2)

1			
Tvar destičky / Tvar doštičky			
H	O	P	R
S	T	C	D
E	M	V	W
L	A	B	K

2	
Úhel hřbetu / Úhol chrbta	
A	B
C	D
E	F
G	N
	Speciální Speciálny
P	O

4	
Provedení / Prevedenie	
N	R
F	A
M	G
W	T
	Speciály Speciálny
Q	X

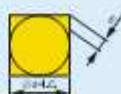


ISO kód

ANSI kód

1	2	3	4
S	P	G	N
S	P	K	N
1	2	3	4
S	P	G	
S	P	K	N

3						
Tolerance / Tolerancia						
Označení / Označenie	Tolerance / Tolerancia [mm]			Tolerance / Tolerancia [Palce]		
	m (±)	s (±)	d = I.C. (±)	m (±)	s (±)	d = I.C. (±)
A	0,005	0,025	0,025	0,0002	0,001	0,0010
F	0,005	0,025	0,013	0,0002	0,001	0,0005
C	0,013	0,025	0,025	0,0005	0,001	0,0010
H	0,013	0,025	0,013	0,0005	0,001	0,0005
E	0,025	0,025	0,025	0,0010	0,001	0,0010
G	0,025	0,130	0,025	0,0010	0,005	0,0010
J	0,005	0,025	0,05 + 0,13	0,0002	0,001	0,002 + 0,005
K	0,013	0,025	0,05 + 0,13	0,0005	0,001	0,002 + 0,005
L	0,025	0,025	0,05 + 0,13	0,0010	0,001	0,002 + 0,005
M	0,08 + 0,18	0,130	0,05 + 0,13	0,003 + 0,007	0,005	0,002 + 0,005
N	0,08 + 0,18	0,025	0,05 + 0,13	0,003 + 0,007	0,001	0,002 + 0,005
U	0,05 + 0,38	0,130	0,08 + 0,25	0,005 + 0,015	0,005	0,003 + 0,010



Příloha 2 (2/2)

5							
Délka řezné hrany / Dĺžka reznej hrany							
d = I.C.	R	S	T	C	D	V	W
mm	Palce						
3,97	5/32"		06				
5,00	-	05					
5,56	7/32"		09				03
6,00	-	06					
6,35	1/4"		11	06	07		04
8,00	-	08					
9,525	3/8"	09	09	16	09	11	16
10,0	-	10					
12,0	-	12					
12,7	1/2"	12	12	22	12	15	08
15,875	5/8"	15	15	27	16		
16,0	-	16					
19,05	3/4"	19	19	33	19		
20,0	-	20					
25,0	-	25					
25,4	1"	25	25		25		
31,75	1 1/4"	31					
32,0	-	32					

6		
Tloušťka / Hrubka		
Označ.	s	
	mm	Palce
01	1,59	1/16"
T1	1,98	5/64"
02	2,38	3/32"
03	3,18	1/8"
T3	3,97	5/32"
04	4,76	3/16"
05	5,56	7/32"
06	6,35	1/4"
07	7,94	5/16"
09	9,52	3/8"

7	
Úhel nastavení Úhol nastavenia	Úhel hřbetu fazetky Úhol chrbta fazetky
Ozn.	χr
A	45°
D	60°
E	75°
F	85°
P	90°
Z	Spec./Spec.
Ozn.	αn
A	3°
B	5°
C	7°
D	15°
E	20°
F	25°
G	30°
N	0°
P	11°
Z	Spec./Spec.
ZZ - Speciální/Speciálny	

5
12
12
5A
4
4

6
03
03
6A
2
2

7
08
ED
7A
2
ED

8	9
S	R
8	9
S	R

ANSI kód

Vepsaná kružnice Vpísaná kružnica	

Označ.	d = I.C.	
	mm	Palce
1	3,175	1/8"
(1.2)	3,969	5/32"
(1.5)	4,763	3/16"
(1.8)	5,556	7/32"
2	6,350	1/4"
(2.5)	7,938	5/16"
3	9,525	3/8"
4	12,700	1/2"
5	15,875	5/8"
6	19,050	3/4"
7	22,225	7/8"
8	25,400	1"
10	31,750	1 1/4"

Tloušťka Hrubka	

Označ.	s	
	mm	Palce
1	1,588	1/16"
(1.2)	1,984	5/64"
(1.5)	2,381	3/32"
2	3,175	1/8"
(2.5)	3,969	5/32"
3	4,763	3/16"
(3.5)	5,556	7/32"
4	6,350	1/4"
5	7,938	5/16"
6	9,525	3/8"
7	11,113	7/16"
8	12,700	1/2"
9	14,288	9/16"
10	15,875	5/8"

Rádus špičky Rádus hrotu	

Označ.	rR	
	mm	Palce
0	0,050	1/512"
(0.2)	0,099	1/256"
(0.5)	0,198	1/128"
1	0,397	1/64"
2	0,794	1/32"
3	1,191	3/64"
4	1,588	1/16"
5	1,984	5/64"
6	2,381	3/32"
7	2,778	7/64"
8	3,175	1/8"
10	3,969	5/32"
12	4,763	3/16"
14	5,556	7/32"
16	6,350	1/4"
x	ostatní	

8	
Provedení řezné hrany / Prevedenie reznej hrany	
	Ostré hrany Ostre hrany
	Zaoblené hrany Zaoblené hrany
	Hrany s fazetkou Hrany s fazetkou
	Zaoblené hrany s fazetkou Zaoblené hrany s fazetkou
	Hrany s dvojitou fazetkou Hrany s dvojitou fazetkou
	Zaoblené hrany s dvojitou fazetkou Zaoblené hrany s dvojitou fazetkou

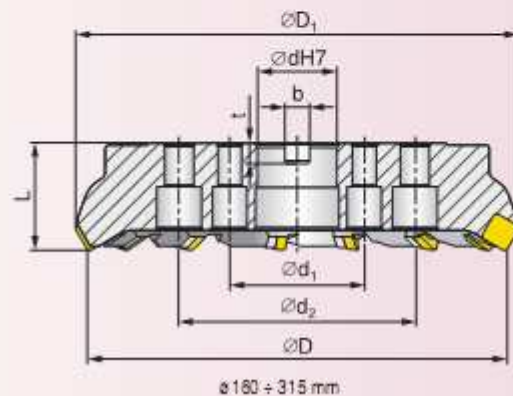
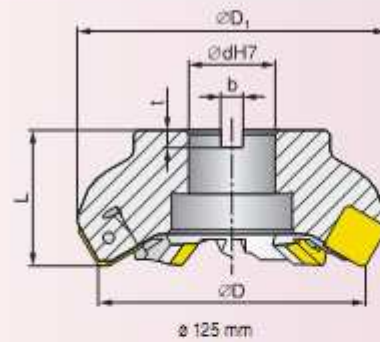
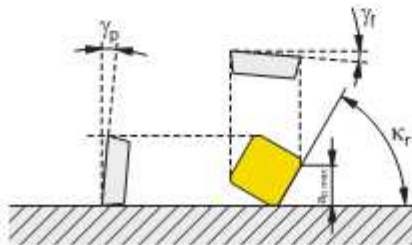
9	
Směr posuvu / Smer posuvu	
	Posuv
	Posuv
	Posuv

F60SB22X

ČELNÍ FRÉZY PRO TĚŽKÉ HRUBOVÁNÍ
ČELNÉ FRÉZY PRE ŤAŽKÉ HRUBOVANIE



γ_2	$+9^\circ$	κ_r	60°
γ_1	-9°	B_{0max}	15 mm



Z = Počet zubů / Počet zubov

[illegible]

● skladovaný ○ neskladovaný

všechny rozměry v / všetky rozmery v [mm]

[illegible]

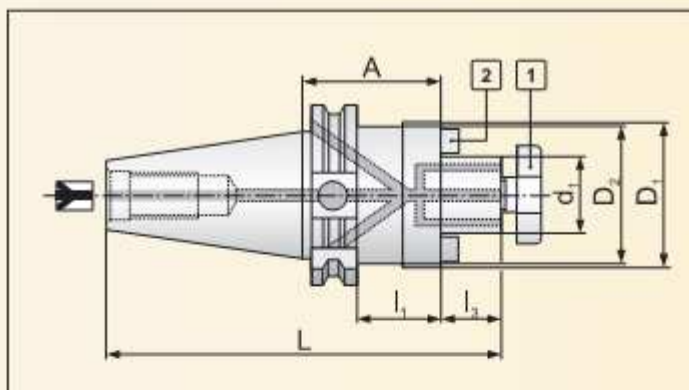
Fréza průměr Fréza priemer	Podložka 	Upínací šroub Upínacia skrutka 	Klíč Kľúč 	Klin Klin 	Diferenciální šroub Diferenc. skrutka 	Klíč Kľúč 	
125 ÷ 315	LNX 220516	US 6013-T20P	SDR T20P-T	KU SBMR 2207	DS 01Z	KL 04	

všechny rozměry v / všetky rozmery v [mm]

Příloha 5

69871.40 ADB-FMH1

UPÍNACÍ TRNY PRO NÁSTRČNÉ FRÉZY - TYP B
SHELL MILL HOLDERS - B TYPE



POZNÁMKA:

Maximální hřízovitost průměru d_1 v porovnání s upínacím kuželem je 0,005 mm.

NOTE:

Maximum run-out 0,005 mm.

Označení PRAMET PRAMET specification	Seri / Assort.	Rozměry / Dimensions												[kg]
		Kužel Taper	d_1	A	D_1	D_2	L	l_1	l_2	-	-	-	-	
69871.40ADB-FMH1 1635	●	40	16	35	38	38	120,4	16	17					1,00
69871.40ADB-FMH1 16100	●	40	16	100	38	38	185,4	81	17					2,56
69871.40ADB-FMH1 2235	●	40	22	35	48	48	122,4	16	19					1,05
69871.40ADB-FMH1 22100	●	40	22	100	48	48	187,4	81	19					2,18
69871.40ADB-FMH1 2745	●	40	27	45	60	50	134,4	26	21					1,60
69871.40ADB-FMH1 27100	●	40	27	100	60	50	189,4	81	21					3,55
69871.40ADB-FMH1 3250	●	40	32	50	78	50	142,4	31	24					1,75
69871.40ADB-FMH1 4050	●	40	40	50	89	50	145,4	31	27					2,05

NÁHRADNÍ DÍLY - PŘÍSLUŠENSTVÍ / SPARE PARTS - ACCESSORIES

d_1	Náhradní díly / Spare parts			Příslušenství / Accessories		
	Šroub [1] Bolt [1]	Unašet [2] Tenon [2]	Šroub [2] Screw [2]	Klíč Key	Šroub Bolt	
16						
22	KS 2210	UC1 10	USI 0416	KK 22	KSL 2210	
27	KS 2712	UC1 12	USI 0512	KK 27	KSL 2712	
32	KS 3216	UC2 14	USI 0516	KK 32	KSL 3216	
40	KS 4020	UC2 16	USI 0616	KK 40	KSL 4020	

● Skladovaný / Stock Assort. ○ Neskladovaný / Non-stock Assort.

Všechny rozměry v / All dimensions in [mm]

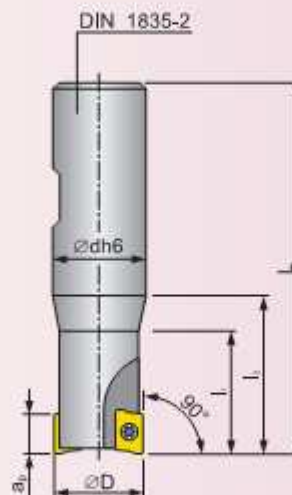
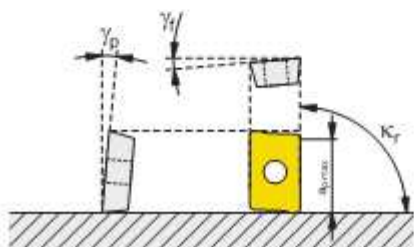
Příloha 6

SAP10D

STOPKOVÉ FRÉZY
STOPKOVÉ FRÉZY



γ_p	$+4^\circ + 10^\circ$	κ_i	90°
γ_s	$+12^\circ$	$a_{\dots}$	9 mm

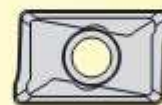
Z¹ - Počet zubů / Počet zubov[illegible]

● skladovaný ○ neskladovaný

všechny rozměry v / všetky rozmery v [mm]



APKT-M



APKT-FA

[illegible][illegible]

všechny rozměry v / všetky rozmery v [mm]

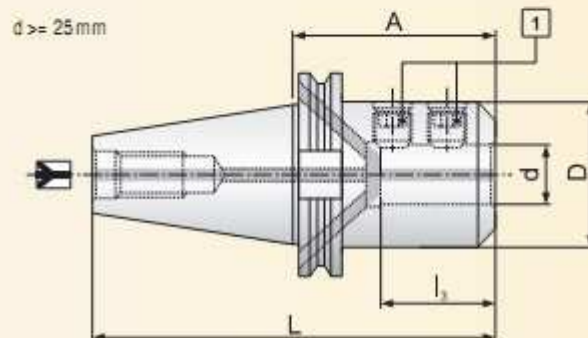
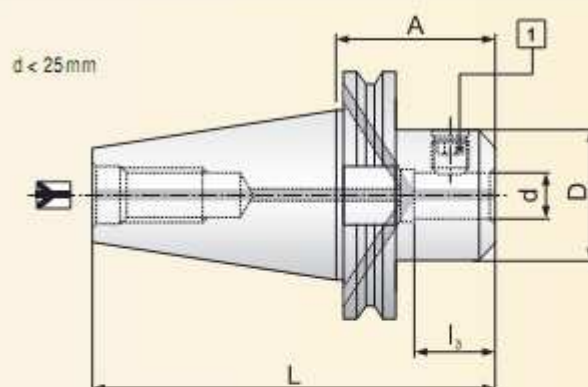


POZNÁMKA:

Maximální házivost průměru d v porovnání s upínacím kuželem je 0,003 mm.

NOTE:

Maximum run-out 0,003 mm.



Označení PRAMET PRAMET specification	Sest./Assort.	Rozměry / Dimensions											[kg]
		Kužel Taper	d	A	l ₃	D	L	-	-	-	-	-	
69871.40ADB-W 0650	●	40	6	50	30	25	118,4						0,90
69871.40ADB-W 0850	●	40	8	50	30	28	118,4						0,95
69871.40ADB-W 1050	●	40	10	50	39	35	118,4						1,00
69871.40ADB-W 1250	●	40	12	50	44	42	118,4						1,15
69871.40ADB-W 1450	●	40	14	50	44	44	118,4						1,15
69871.40ADB-W 1663	●	40	16	63	47	48	131,4						1,30
69871.40ADB-W 16120	●	40	16	120	47	48	188,4						2,10
69871.40ADB-W 1863	●	40	18	63	47	50	131,4						1,30
69871.40ADB-W 2063	●	40	20	63	49	52	131,4						1,35
69871.40ADB-W 20120	●	40	20	120	49	52	188,4						2,30
69871.40ADB-W 25100	●	40	25	100	54	63	168,4						2,25
69871.40ADB-W 32100	●	40	32	100	58	72	168,4						2,60
69871.40AD-W/WN 40115	●	40	40	115	62	80	183,4						3,10

NÁHRADNÍ DÍLY - PŘÍSLUŠENSTVÍ / SPARE PARTS - ACCESSORIES

d	Náhradní díly / Spare parts			Příslušenství / Accessories		
	Šroub [1] Screw [1]					
						
10	US 1012					
12 + 14	US 1216					
16 + 18	US 1416					
20	US 1616					
25	US 1820					