

OPTIMALIZACE VÝROBY MODELŮ

Bc. Vladimír Kašný

Diplomová práce 2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vladimír KAŠNÝ**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Optimalizace výroby modelů**

Zásady pro vypracování:

- 1 Provedte studium literatury se zaměřením na NC technologii**
- 2. Popište technologii výroby modelů**
- 3. Navrhnete zlepšení výroby modelů**
- 4. Zhodnoťte návrh**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1.Kocman, K., Prokop J.: **Technologie obrábění**, CERM Brno, 2003, ISBN: 80-214-1996-2

2. Kocman, K.: **Speciální technologie. Obrábění**, 3. přepracované a doplněné vydání, CERM Brno, 2004, ISBN: 80-214-2562-8

3.Janděčka, K. aj.: **Postprocesory a programování NC strojů**, UJEP, FVTM, 2007, ISBN:978-80-7044-870-0

4.Oplatek, F.: **Číslicové řízení obráběcích strojů**, FRAGMENT. 1998, ISBN: 80-7200-294-5

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

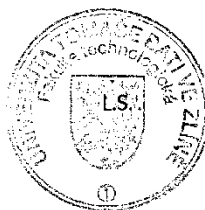
Ústav výrobního inženýrství

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

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2010**

Ve Zlíně dne 21. ledna 2010

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



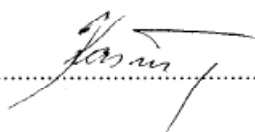
doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.5.2010



.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá technologií obrábění na CNC frézkách a technologií výroby modelů. Cílem této práce je najít co nejlepší způsob výroby modelů pro výrobu formy pneumatiky slévárenskou technologií. Model se zhotovuje z materiálu Necuron 651 na pětiosé CNC frézce Fidia. Řeší vhodné frézovací nástroje, řezné podmínky a strategii frézování.

Klíčová slova: model, CNC obrábění, frézování, fréza

ABSTRACT

The thesis deals with the technology of cutting at CNC milling machines and model production technology. The aim of the thesis is to find the best method of model production for tire mold manufacture using cast technology. The model is made from Necuron 651 on Fidia five – axis milling - cutter. The thesis concerns suitable cutting tools, cutting conditions and milling policy.

Keywords: model, CNC machining, milling, cutting tool

Poděkování

Děkuji **doc. Ing. Imrichu Lukovicovi, CSc.** z Ústavu výrobního inženýrství FT UTB ve Zlíně, vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení mé diplomové práce. Jeho cenné rady a připomínky mi pomohly při psaní a dokončení práce.

Děkuji také všem mým blízkým za jejich velkou trpělivost, morální podporu a důvěru.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 12. 5. 2010

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 OBRÁBĚNÍ	12
1.1 POHYBY PŘI OBRÁBĚNÍ.....	12
1.2 PLOCHY PŘI OBRÁBĚNÍ	14
1.3 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY PROCESU ŘEZÁNÍ.....	14
1.3.1 Oblasti deformace	15
1.3.2 Plastická deformace	16
1.3.3 Tříska.....	17
1.3.4 Práce a výkon řezání	18
1.3.5 Teplota řezání.....	18
1.3.6 Řezné prostředí.....	19
1.4 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	21
1.4.1 Nástrojové oceli	22
1.4.2 Slinuté karbidy	23
1.4.3 Cermety	24
1.4.4 Keramické řezné materiály	25
1.4.5 Supertvrdé řezné materiály	25
2 TEORIE A TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ	27
2.1 DRUHY FRÉZOVÁNÍ	27
2.1.1 Válcové frézování	27
a) Nesousledné frézování.....	27
b) Sousledné frézování.....	28
2.1.2 Čelní frézování	28
2.2 ZÁKLADNÍ VZORCE.....	31
2.3 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE (FRÉZY).....	31
2.3.1 Rozdělení fréz	31
2.3.2 Správný výběr frézovacího nástroje.....	35
2.4 FRÉZOVACÍ STROJE (FRÉZKY).....	36
2.4.1 Konzolové frézky	37
2.4.1.1 Konzolové frézky vodorovné.....	37
2.4.1.2 Konzolové frézky svislé.....	38
2.4.2 Stolové frézky	38
2.4.3 Rovinné frézky	39
2.5 UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ	39
2.6 UPÍNÁNÍ OBROBKŮ	41
3 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE	42
3.1 PODSTATA ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	43
3.1.1 Základní pojmy	44
3.2 ROZDĚLENÍ NC SYSTÉMŮ.....	47
3.2.1 Podle použité zpětné vazby	47
3.2.2 Podle složitosti pracovního cyklu	47
3.2.2.1 Systém s přetržitým řízením (nespojité)	47

ÚVOD

V současné moderní době je cestování automobilem nebo jiným dopravním prostředkem téměř nutností. Lidé, kteří tráví cestováním stále více času, kladou důraz jak na komfortní a bezpečnou jízdu, tak také na spotřebu paliva, jehož cena neustále roste. Při tomto neustálém nárůstu cen pohonných hmot musejí výrobci reagovat opatřeními, která vedou k celkovému snížení spotřeby paliva. Velká konkurence v automobilovém průmyslu nutí výrobce pneumatik přicházet na trh s novými výrobky. Tlak na snižování spotřeby pohonných hmot snížením valivého odporu, při zachování komfortních a bezpečných jízdních vlastností, jako je dobrá brzdná dráha, nízká hlučnost a dobrý kilometrový výkon, nutí výrobce k neustálému vývoji a inovaci jak gumárenských směsí, tak také nových tvarů dezénů.

Tvar dezénu se liší od jeho použití. To znamená, že se liší dezén u pneumatik letních nebo zimních, pneumatik pro osobní nebo nákladní vozy a pneumatik pro jízdu na rychlostních komunikacích nebo jízdu v terénu. V současné době konkurenčního boje jsou výrobci pneumatik nuceni vyvíjet stále nové a tvarově složitější dezény. Aby bylo možné tyto různě složité dezény vyrobit, musí se nejdříve vyrobit forma, která se zhotovuje slévárenskou technologií pomocí sádrových jader. Tato jádra jsou odlitá pomocí silikonových rozmnožovacích zařízení a jsou kopií modelu. Proto kvalitně vyrobený model je předpokladem správné formy. Tento model je vyroben z materiálu Necuron na CNC frézce.

Nedílnou součástí kvalitní výroby modelů se tak staly CNC stroje. Aby bylo možné využít všech předností CNC strojů, rostou také požadavky na odbornou kvalifikaci pracovníků. To je dáno i tím, že moderní obráběcí stroje využívají pro řízení výpočetní techniku. Nelze však zapomínat ani na znalosti technologické. U obrábění je to zejména správná strategie obrábění, volba nástrojů a volba řezných podmínek. Oblast CNC techniky se rychle rozvíjí, proto je nutné neustále sledovat její vývoj a pružně inovovat nejen techniku v podnicích, ale i naše vědomosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚNÍ

Obráběním se rozumí jakýkoli technologický proces, kterým se polotovar mění na hotový výrobek požadovaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu postupným oddělováním přebytečného materiálu ve formě třísek. Obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj, nástroj, obrobek, přípravek.

Obrábění můžeme rozdělit podle různých hledisek:

Podle charakteru práce:

- ruční,
- strojní.

Podle charakteristických znaků:

- obrábění pomocí nástrojů s definovanou geometrií (soustružení, vrtání, frézování, obrážení, hoblování),
- obrábění pomocí nástrojů s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování, superfinišování),
- nekonvenční metody obrábění (elektroerozivní, chemické, ultrazvukem, laserem, soustředným paprskem),
- úpravy obrobených ploch (válečkování, leštění, brokování).

Podle oddělování materiálu můžeme řezný proces dělit:

- kontinuální (soustružení, vrtání),
- diskontinuální (hoblování, obrážení),
- cyklický (frézování, broušení).

1.1 Pohyby při obrábění

Obrábění se uskutečňuje pohybem břitu nástroje vůči obrobku.

Hlavní pohyb – vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který realizuje obráběcí stroj. Při soustružení je to rotační pohyb obrobku, při vrtání a frézování je to rotační pohyb nástroje, při hoblování je to přímočarý pohyb obrobku.

Směr hlavního pohybu - je definován jako směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.

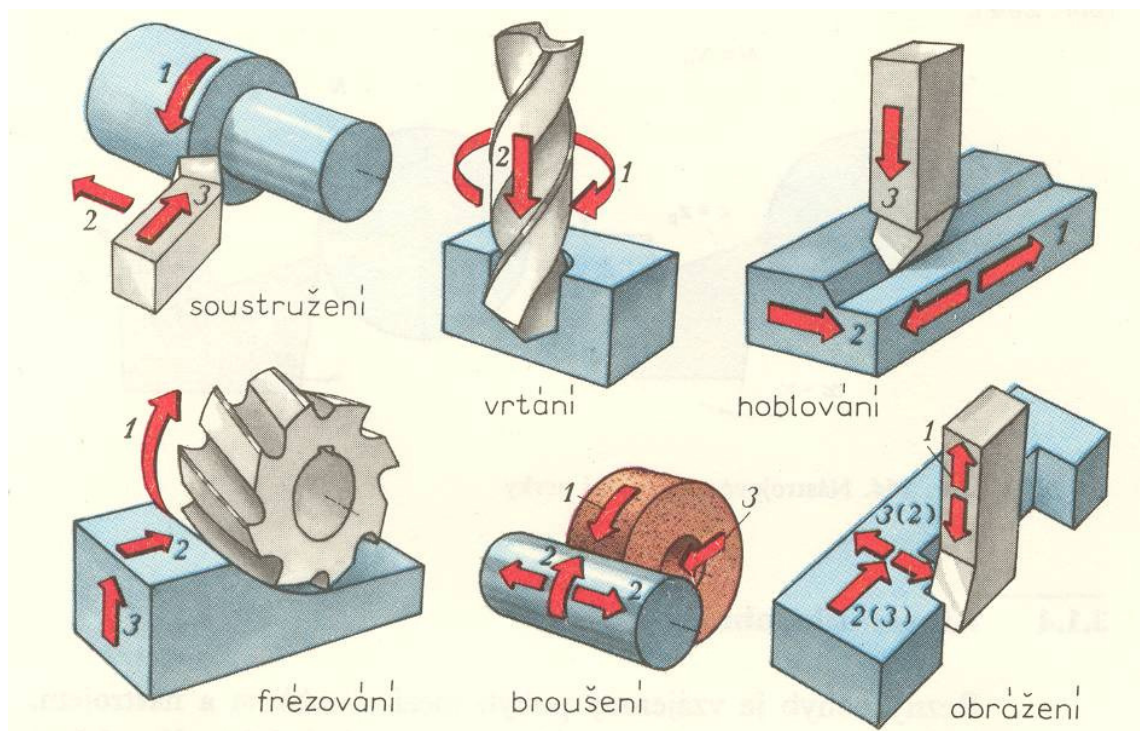
Řezná rychlost v_c – je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku.

Posuvový pohyb – je realizován obráběcím strojem jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Posuvový pohyb společně s hlavním pohybem umožňují plynulé nebo přerušované odřezávání třísky z obráběného povrchu.

Směr posuvového pohybu – je určen směrem okamžitého posuvového pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.

Posuvová rychlost v_f – je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku. V případě přerušovaného posuvu není jeho rychlost definována (hoblování, obrázení).

Řezný pohyb – je pohyb vycházející ze současného hlavního a posuvového pohybu. [1]



Obr. 1. Pohyby při obrábění

1.2 Plochy při obrábění

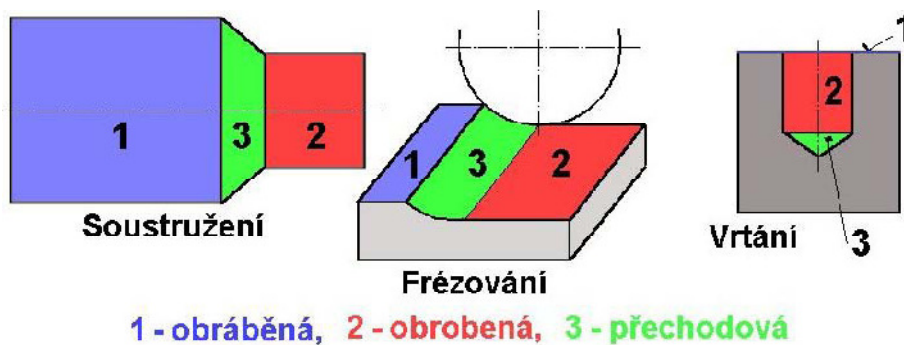
Plochami při obrábění se zde rozumí určité charakteristické plochy, které buď ohraničují obrobek a nástroj, nebo slouží k definování geometrie nástroje.

Na obrobku jsou plochy:

1- obráběná plocha na povrchu obrobku určená v dané operaci obrábění k odstranění.

2 - obrobená plocha, která po dokončení dané operace zůstává na obrobku. Je výstupem obráběcího procesu a z technologického hlediska je určena svými rozměry, tvarem, polohou, strukturou povrchu a vlastnostmi povrchové vrstvy. Identifikuje se souborem parametrů vztažených k jmenovité ploše, patří sem: úchylka rozměru, úchylka tvaru (přímosti, kruhovitosti), úchylka polohy (rovnoběžnosti, kolmosti, házení), struktura povrchu (drsnost), povrchové vady, zbytkové napětí.

3 - přechodová plocha vzniká působením ostří nástroje během zdvihu nebo otáčky nástroje nebo obrobku.



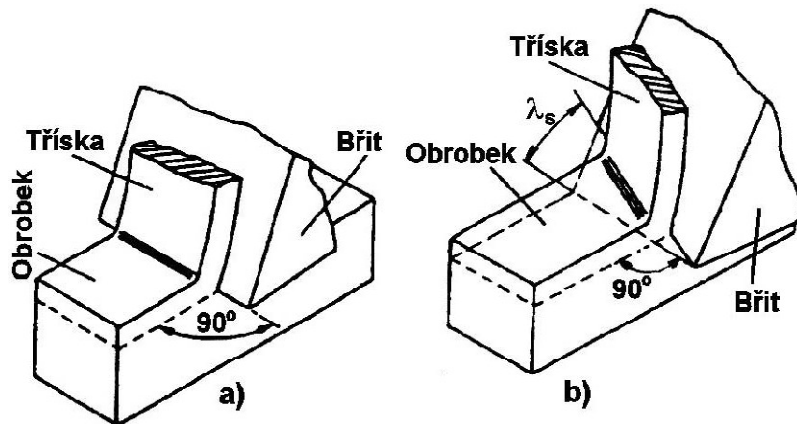
Obr. 2. Druhy ploch vzniklé při obrábění

1.3 Fyzikální základy procesu řezání

Při obrábění dochází k oddělování třísky (odřezávané vrstvy) trvalým působením řezného nástroje, přičemž hlavním výstupem jsou parametry obrobené plochy. Proto je důležité věnovat pozornost mechanismu tvoření třísky. Řezný proces se může realizovat jako:

- **ortogonální řezání (a)** – ostří kolmé na směr řezného pohybu a řeší se v rovině (zapichování, frézování s přímými zuby, protahování),

- **obecné řezání (b)** – je potřeba řešit v prostoru (podélné soustružení, vrtání, frézování se zuby ve šroubovici).

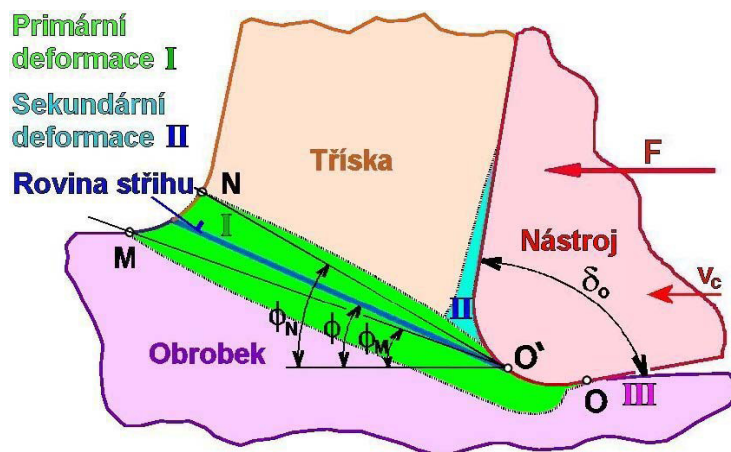


Obr. 3. Realizace řezného procesu

1.3.1 Oblasti deformace

Při vnikání břitu do materiálu vznikají deformace v těchto oblastech:

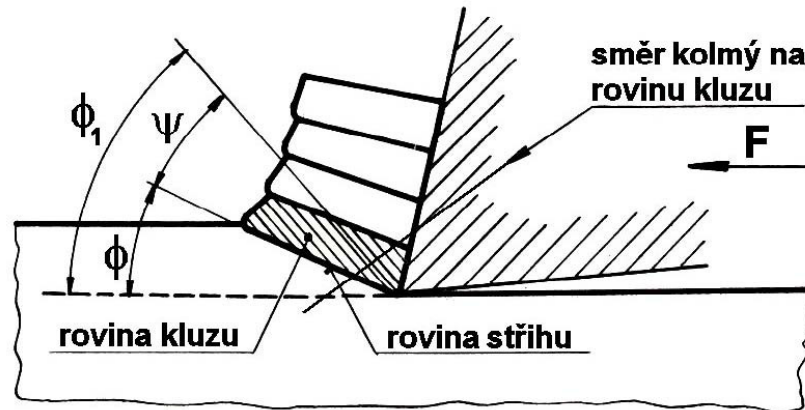
- před břitkem nástroje, oblast primární plastické deformace (I - OMNO'),
- v povrchových vrstvách styku třísky a čela nástroje (II – sekundární plastická deformace),
- v povrchové vrstvě obrobek (III).



Obr. 4. Oblasti deformace

1.3.2 Plastická deformace

Při vnikání nástroje do materiálu je břit tlačěn do obrobku silou F . Před a pod břitem se koncentruje napětí. To má za následek vznik plastické a pružné deformace. Smyková napětí rostou do té míry, než dojde k plastické deformaci před břitem (posuv vrstev v kluzných rovinách pod úhlem Φ_1). Pohyb nástroje pokračuje, roste plastická deformace a dochází k pěchování a posunu vrstev materiálu. Zde končí plastická deformace.



Obr. 5. Vznik třísky

Při dalším pohybu nástroje napětí v materiálu roste, až dosáhne vyšší hodnoty, než je mez pružnosti obráběného materiálu, a dojde k oddělení segmentu třísky pod úhlem stříhu Φ . Obecně platí, že při zvyšující se řezné rychlosti se oblast plastické deformace v zóně tvorby třísky zužuje a ke vzniku třísky dochází plastickým skluzem v jediné rovině, tzv. střížné rovině.

Deformaci ovlivňují:

Velikost a tvar oblasti OMNO' a stav napjatosti jsou proměnné a závisí:

- na fyzikálních vlastnostech materiálu (deformační a zpevňovací schopnosti),
- na řezné rychlosti v_c (s rostoucí rychlostí se oblast zužuje, při velmi vysokých rychlostech „HSC“ obě roviny splývají),
- na geometrii nástroje (zejména úhel čela),
- na řezném prostředí (chlazení).

Plastická deformace obráběného materiálu v procesu řezání způsobuje:

- oddělení třísky od obrobku (oblast I),
- mechanické zatížení nástroje řeznými odpory,
- tepelné zatížení nástroje,
- opotřebení nástroje (na čele v důsledku II, na hřbetě v důsledku vlivu III),


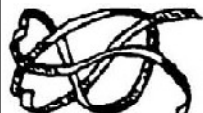

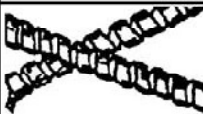

- změnu textury materiálu v tříске i v povrchové vrstvě obrobenej plochy,
- vznik zbytkových napětí v povrchové vrstvě obrobenej plochy,
- pýchování třísky (průřez a délka třísky neodpovídají teoretickým hodnotám).

1.3.3 Tříska

Tříska představuje vedlejší produkt řezného procesu a má mít určité vlastnosti z hlediska rozměrů a tvaru. Je to z důvodu lepší manipulovatelnosti při dopravě ze stroje. Tvar třísky je důležitý také pro efektivní využití nástroje, dlouhá plynulá tříska se namotává na nástroj a zvyšuje nebezpečí poškození) a dosažení předepsaných vlastností povrchu. Proto je potřeba dosáhnout pokud možno vždy dělení třísky. Takové požadavky na třísky se kladou při obrábění na automatizovaných strojích.

Tvar závisí na těchto faktorech:

- vlastnosti obráběného materiálu,
- geometrie nástroje a tvaru břitu (lamače, utvářeče),
- řezné podmínky,
- nástrojový materiál (tření).

TVAR TŘÍSEK		W	TVAR TŘÍSEK		W
	STUŽKOVÉ DLOUHÉ	400 a více		SPIRÁLOVÉ PLOCHÉ	10 až 20
	STUŽKOVÉ SMOTANÉ	300 až 400		OBLOUKOVITÉ SPOJENÉ	8 až 10
	VINUTÉ DLOUHÉ	80 až 150		ELEMENTÁRNÍ	4 až 6
	VINUTÉ KRÁTKÉ	40 až 60			

Obr. 6. Tvary třísek

Objemový součinitel třísek popisuje, jak se plní požadavky na tvar a rozměry třísek. Objemový součinitel třísek W lze vyjádřit:

$$W = \frac{V_t}{V_m} \quad , \text{ kde} \quad (1)$$

V_t – objem volně ložených třísek [dm^3],

V_m – objem odebraného materiálu [dm^3].

1.3.4 Práce a výkon řezání

K oddělení třísky musíme vynaložit určitou práci E. Je složena z následujících složek:

$$E = E_p + E_e + E_t + E_d \quad [\text{J}], \text{ kde:} \quad (2)$$

E_p – práce nutná k překonání plastických deformací (50-80%),

E_e – práce nutná k překonání elastických (pružných) deformací (5-10%),

E_t – práce nutná k překonání tření třísky po čele a tření hřbetu po řezné ploše (20-40%),

E_d – disperzní práce potřebná k vytvoření nového povrchu (1%).

Při obrábění působí řezné síly při relativním pohybu nástroje vůči obrobku charakterizovaném řeznou rychlostí. Tyto dva faktory určují výkon, který je nutno na obrábění vynaložit. Celkový potřebný příkon obráběcího stroje se určuje ze vztahu:

$$P_c = \frac{P_e}{\eta} \quad [\text{W}], \text{ kde:} \quad (3)$$

P_e – *pracovní výkon*: je příkon potřebný pro dosažení hlavního pohybu, to je pro překonání odporu obráběného materiálu proti hlavnímu pohybu,

η – *účinnost stroje*.

$$P_e = \frac{F_e \cdot v_e}{60} \quad [\text{W}], \text{ kde} \quad [1] \quad (4)$$

F_e – *pracovní síla* [N],

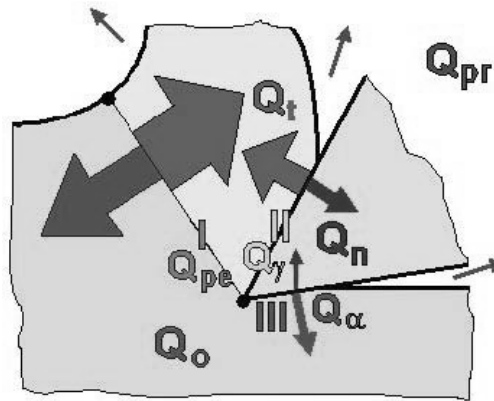
v_e – *rychlost řezného pohybu* [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$].

1.3.5 Teplota řezání

Během obráběcího procesu se téměř veškerá práce řezání transformuje v teplo. Teplo řezného procesu Q_e vzniklé při odebrání určitého množství materiálu je přibližně rovné práci řezného procesu E, takže $Q_e \approx E$. [1]

Teplo při obrábění vzniká v těchto oblastech:

- I (Q_{pe}) oblast plastické deformace,
- II (Q_{γ}) oblast v důsledku tření mezi čelem nástroje a třísky,
- III (Q_{α}) oblast v důsledku tření hřbetu nástroje a přechodové plochy.



Obr. 7. Tepelná bilance řezného procesu

Vzniklé teplo je odváděno:

- třískou Q_t ,
- nástrojem Q_n ,
- obrobkem Q_o ,
- řezným prostředím Q_{pr} .

Na základě předpokladu, že teplo vzniklé a odvedené musí být v rovnováze, platí:

$$Q_{pe} + Q_{\gamma} + Q_{\alpha} = Q_t + Q_n + Q_o + Q_{pr} \quad [J]. \quad (5)$$

Na velikost vzniklého tepla při řezném procesu mají vliv:

- mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- pěchování a zpevňování obráběného materiálu,
- podmínky tření na čele a hřbetě nástroje.

Všechny jmenované vlivy nám negativně působí na řezné vlastnosti nástroje, a proto je nutné je eliminovat.

1.3.6 Řezné prostředí

Prostředí v místě řezu má vliv na kvantitativní, kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Řezná média by měla splňovat následující požadavky a to:

- chladicí účinek (je to schopnost média odvádět teplo z místa řezu),
- mazací účinek (médium vytváří na povrchu obrobku tenkou vrstvou, která snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem),

- čistící účinek (má zajistit odstraňování třísek z místa řezu),
- provozní stálost (měřítkem je doba výměny a tím neměnné vlastnosti po dobu mezi jednotlivými výměnami),
- ochranný účinek (nesmí způsobovat korozi obrobku ani jinak napadat povrch),
- zdravotní nezávadnost (při práci přichází pracovník do přímého kontaktu s médiem, proto musí být zdraví neškodlivé),
- ekologická odbouratelnost,
- přiměřené provozní náklady (souvisí se spotřebou řezného média a náklady).

Řezné kapaliny lze rozdělit do dvou základních skupin:

- s převažujícím chladícím účinkem,
- s převažujícím mazacím účinkem.

Dále je lze podle složení rozdělit:

- vodní roztoky (základem je voda, která se musí upravovat, s přídavkem přísad proti korozi, pěnovosti apod.),
- emulze (tvoří disperzní soustavu dvou nerozpustných kapalin (voda x olej),
- mastné oleje,
- zušlechtěné řezné oleje (jsou na bázi minerálních olejů),
- rostlinné oleje (ekologicky nezávadné),
- syntetické kapaliny (mají vysokou provozní stálost, jsou složeny z glykolů).

Způsoby přívodu chladícího média do místa řezu:

- standardní chlazení (je dodáváno potrubím z nádrže s chladicí kapalinou, dodáváno přímo výrobcem obráběcího stroje),
- tlakové chlazení (v podstatě podobné jako standardní, ale pod vysokým tlakem do místa řezu, používá se tam, kde je nebezpečí vysoké teploty),
- podchlazování řezné kapaliny na teplotu nižší, než je teplota okolí, přispívá ke zvýšení trvanlivosti nástrojů,
- chlazení řeznou mlhou (řezná kapalina je rozptýlena tlakem vzduchu do prostředí, má velmi dobrý odvod tepla z místa řezu, protože mlha je schopna lépe přejímat teplo, někdy se používá i kapalin, které se poté odpaří – nemusí se likvidovat),
- vnitřní chlazení (do těla nástroje jsou vytvořeny otvory a kapalina je přiváděna přímo do místa řezu, vhodná pro nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami, nevýhoda – poměrně drahé nástroje),

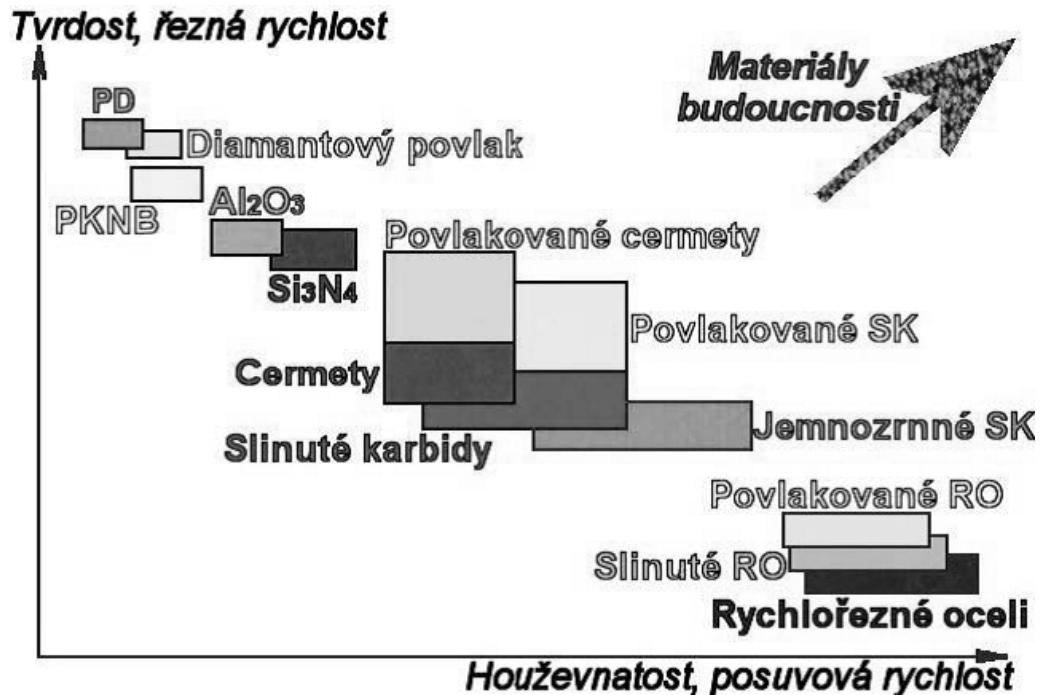
- plynné řezné prostředí se běžně nepoužívá, protože má nízký chladicí a téměř žádný mazací účinek. Některé materiály se však chladí vzduchem přiváděným pod tlakem do místa řezu. Tento způsob obrábění se výhodně uplatňuje v souvislosti s vývojem řezných materiálů.

1.4 Nástrojové materiály

V průběhu 19. století byly vyvinuty nové procesy výroby oceli, které vedly k použití nelegované a legované nástrojové oceli. S vývojem metalurgie byly objeveny nové legující prvky a způsoby tepelného zpracování. Na základě požadavků jednotlivých odvětví průmyslu, například automobilový průmysl, stavba lodí a letadel, došlo k celosvětovému výzkumu a rozvoji v oblasti nástrojových materiálů. Jsou na ně kladeny nároky, jako je vysoká produktivita a s tím související vysoká řezivost, vysoká odolnost proti mechanickým a teplotním rázům při minimálních nákladech.

Pro výrobu řezných částí nástrojů se nejčastěji používají tyto nástrojové materiály:

- nástrojové oceli uhlíkové,
- nástrojové oceli slitinové,
- rychlořezné oceli,
- slinuté karbidy,
- slinuté karbidy s tvrdými povlaky,
- cermety,
- keramické nástrojové materiály,
- polykrystalický kubický nitrid bóru,
- polykrystalický diamant,
- přírodní diamant. [2]



Obr. 8. Nástrojové materiály

Vzhledem k rozmanitosti postupů, kterými různí výrobci vyrábějí tvrdé řezné materiály s rozdílnými charakteristikami, je zavedena norma **ČSN ISO 513**. Tato mezinárodní norma stanovuje klasifikaci tvrdých řezných materiálů včetně tvrdokovů (karbidů), keramiky, diamantu a nitridu bóru pro obrábění a určuje jejich používání. Existuje šest skupin použití rozdělených podle různých obráběných materiálů. Rozlišují se velkým písmenem a identifikační barvou. Každá skupina použití se dále dělí na podskupiny použití. Podskupiny použití jsou označeny písmenem skupiny a číslem klasifikace podle relativní odolnosti řezných materiálů proti opotřeбенí a stupně houževnatosti.

1.4.1 Nástrojové oceli

Tento druh řezného materiálu můžeme zařadit mezi ušlechtilou ocel. Zhotovují se z nich především nástroje na obrábění, řezání, stříhání, tváření za tepla i za studena, měřidla apod. Podle chemického složení se dále dělí na:

- Uhlíkové oceli

Na vlastnosti těchto ocelí má největší vliv obsah uhlíku. Jsou citlivé na tepelné zpracování a na druh použití, zejména při vyšších teplotách, kdy nástroje z uhlíkových ocelí ztrácí

tvrdost. Jejich maximální teplotní odolnost je okolo 230°C. Vyrábí se z nich málo namáhané nástroje jako, např. ruční nástroje a nářadí (pilníky, sekáče).

- Slitinové oceli

Jsou to oceli obohacené legujícími prvky. Hlavní karbidotvorné prvky jsou chróm, vanad, wolfram, molybden. Jsou více odolné proti otupení a mají vyšší tvrdost a pevnost za tepla. Vyrábí se z nich nástroje s vyšším namáháním. Hlavními oblastmi použití jsou tvářecí nástroje, zápustky, formy na plasty a jednoduché rezné nástroje (výhrubníky, protahováky, závitníky, pilové listy, dřevoobráběcí nástroje. Odolávají teplotám do 350°C.

- Rychlořezné oceli

Tyto oceli obsahují karbidotvorné prvky wolfram, chróm, molybden, vanad, a nekarbidotvorný kobalt. V porovnání s ostatními nástrojovými oceli mají několikanásobně vyšší řezivost a dobrou pevnost v ohybu. Mají též vysokou tvrdost a odolnost proti popouštění a snášejí maximální teploty okolo 550 °C. Vyrábějí se z nich především namáhané nástroje pro obrábění (soustružnické a hoblovací nože, frézy, pilové kotouče, závitové čelisti a závitníky, tvarové nože) a nástroje na opracovávání dřeva. Mohou se používat i při obrábění s rázy nebo při přerušovaném řezu.

1.4.2 Slinuté karbidy

Jde o materiály vyráběné práškovou metalurgií. Struktura je tvořena karbidy vysoce tavitelných kovů, jako například karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC), karbid niobu (NbC) a pojivem, jímž bývá kobalt (Co). Z důvodu jejich velké tvrdosti se dají tvarově a rozměrově upravovat pouze broušením. Jejich velký rozvoj zaznamenala změna způsobu upínání vyměnitelných břitových destiček. Ze starého způsobu pájení se přešlo na mechanické upínání destiček. Slinuté karbidy předčí rychlořeznou ocel otěruvzdorností, jsou však křehké, mají sklon k vydrolování břitů. V současné době se většina slinutých karbidů povlakuje oxidy, nitridy, karbidy a jejich kombinací. Tento povlak má sice tloušťku jen několik tisícín milimetru, ale velmi zvyšuje výkonnost nástrojů ze slinutých karbidů.

Hlavním cílem povlaků je:

- snížit koeficient tření na čele,
- získání tvrdých povrchů při zachování houževnatého jádra,

- zamezení vzniku nárůstků,
- prodloužení životnosti nástroje,
- díky vyšší tepelné odolnosti je možné dosáhnout větších řezných rychlostí.

Povlakování slinutých karbidů se postupem času vyvíjelo od jednovrstvých povlaků po dvou až třívrstvé. Dnes už nejsou výjimkou povlaky deseti i vícevrstvé. Jako povlaky se používají karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN) nebo oxidu hlinitého Al_2O_3 .

Podle mezinárodní normy ISO se z hlediska řezného procesu dělí do skupin:

P – označuje obrábění materiálů tvořících dlouhou plynulou třísku (ocel, ocelolitiny, korozivzdornou ocel a temperovanou litinu).

M – označuje obrábění materiálů dávající plynulou i krátkou třísku (žárovzdorné materiály, manganové oceli, legované litiny).

K – označuje obrábění materiálů tvořících krátkou třísku, jako jsou šedá litina, kalená ocel, neželezné materiály, například hliník, bronz a plasty.

N – je určena k obrábění materiálů z neželezných kovů, zejména hliníku a dalších neželezných kovů a jejich slitin a nekovových materiálů.

S – používá se na obrábění tepelně odolných slitin na bázi železa, niklu a kobaltu, titanu a titanových těžce obrobitelných slitin.

H – je vhodná na obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí a tvrzených a kalených litin.

1.4.3 Cermety

Název tohoto materiálu vznikl odvozením dvou slov CERamic a METal, to znamená keramické částice s kovovým pojivem. Tvrdé částice jsou tvořeny karbidem titanu (TiC), karbonitridem titanu (TiCN) nebo nitridem titanu (TiN). Vykazují dobré vlastnosti obou materiálů. Pevnost a tvrdost keramiky a houževnatost kovu. Charakteristickou vlastností je nižší hmotnost, než mají karbidy. Cermety jsou vhodné pro obrábění ocelí, litin, lité oceli, neželezných kovů a snadno obrobitelných kovů. Výhody cermetů jsou vysoká chemická stabilita a tvrdost za tepla, použití vyšších řezných rychlostí než u slinutých karbidů. Nevýhody cermetů jsou nízká odolnost proti rázům a teplotním šokům. Používají se ve formě vyměnitelných břitových destiček.

1.4.4 Keramické řezné materiály

Základní složkou keramických řezných materiálů je korund, to jest kysličník hlinitý Al_2O_3 . Korund je jedním z vůbec nejtvrděších známých materiálů. Keramické řezné materiály mají vysokou stálost za tepla až $1600\text{ }^\circ\text{C}$. Jejich podstatnou výhodou je relativně nízká cena.

Keramické řezné materiály můžeme rozdělit:

Na bázi oxidu hlinitého (Al_2O_3)

- **čistá (oxidická)** – obsahuje až 99,5% kysličníku hlinitého (Al_2O_3). Doporučuje se pro soustružení na čisto šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí při vysoké řezné rychlosti. Barva čisté keramiky lisované za studena je bílá, lisované za tepla je šedá.

- **směsná** – obsahuje kysličník hlinitý (Al_2O_3) plus 20 – 40% karbidu titanu (TiC), nebo kysličník zirkonu (ZrO_2). V porovnání s čistou keramikou má větší odolnost proti tepelným a mechanickým rázům. Barva vyměnitelných břitových destiček je většinou černá.

- **vyztužená** – nazývá se také keramika vyztužená viskerem. Název je odvozen od vláken krystalu, kterému se říká visker. Tyto viskery mají průměr pouze asi $1\text{ }\mu\text{m}$ a délku více než $20\text{ }\mu\text{m}$, jsou z karbidu křemíku a mají velmi vysokou pevnost. Účinky tohoto vyztužení jsou mimořádné. Podstatně se zvýší houževnatost a pevnost v tahu, odolnost proti tepelnému šoku. Podíl viskeru v řezném materiálu činí asi 30%. Barva hotových destiček je zelená. [2]

Na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4)

Tento řezný materiál si zachovává vysoký stupeň tvrdosti za tepla při teplotách, které slinutý karbid již nesnáší.

1.4.5 Supertvrdé řezné materiály

Sem lze zařadit dva materiály, které svojí tvrdostí a otěruvzdorností převyšují ostatní nástrojové materiály, a jsou to:

- polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB),
- polykrystalický diamant (PD).

V technologické praxi jsou aplikovány jako prášky, které jsou obsaženy v brousících kotoučích, brousících pastách, nebo jako malé břity upevněné ve vyměnitelných břitových destičkách ze slinutého karbidu.

Polykrystalický kubický nitrid boru se používá s keramickým nebo kovovým pojivem. Vykazuje vysokou tvrdost za tepla i při velmi vysokých teplotách (2000°C), vysokou životnost a také schopnost dosahovat vysoké jakosti povrchu. Využívá se s výhodou jako náhrada za broušení při dokončovacím obrábění.

Polykrystalický diamant svojí tvrdostí je podobný nejtvrdějšímu známému materiálu, a to monokrystalickému diamantu. Jemné krystaly diamantu jsou spojovány za vysokých teplot a tlaků. Nástroje osazené elementy z tohoto materiálu se používají na obrábění neželezných kovů a slitin hliníku, mědi, titanu. Nehodí se na materiály obsahující uhlík, protože se zalepují břity. Další oblastí použití jsou keramické a plastické hmoty, gumy, kompozity. Perspektivní je jeho nasazení v oblasti obrábění dřeva. Obecně se u těchto materiálů používají velmi vysoké řezné rychlosti při dodržení malých hloubek řezu (řádově desetiny mm) a malých posuvů a je vysloveně zakázáno chlazení!

2 TEORIE A TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

Frézováním se obrábí rovinné i tvarové plochy také drážky a ozubení, otáčejícím se vícebřitým nástrojem – frézou. Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává jej fréza. Řezný proces je přerušovaný a každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky.

2.1 Druhy frézování

V závislosti na nástroji rozlišujeme dva druhy frézování: válcové (obvodem nástroje) a čelní (čelem nástroje).

2.1.1 Válcové frézování

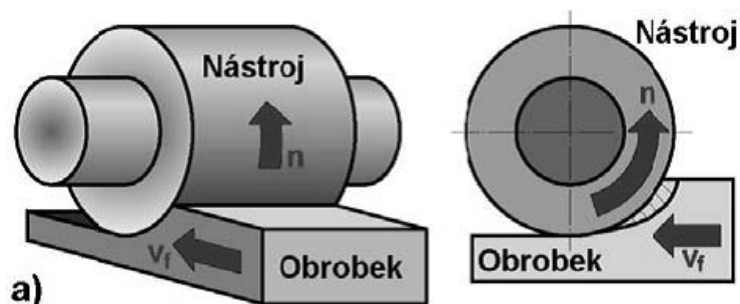
Uplatňuje se při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby jsou pouze po obvodu nástroje, hloubka řezu se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. V závislosti na kinematice nástroje rozlišujeme dva druhy válcového frézování:

a) Nesousledné frézování

Smysl rotace je proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do řezu. Tloušťka třísky se mění od nuly do maxima.

Výhody nesousledného frézování:

- trvanlivost, životnost nástroje nezávisí na okujích, písku v povrchu obrobku,
- menší opotřebení posuvového šroubu a matice,
- není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
- záběr zubů frézy při jejich vnikání do materiálu nezávisí na hloubce řezu.



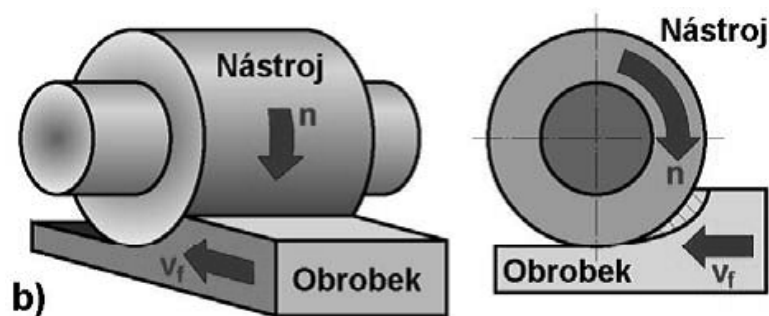
Obr. 9. Válcové frézování nesousledné

b) Sousedné frézování

Smysl rotace nástroje je ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu do záběru a obrobena plocha vzniká, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí směrem do stolu stroje.

Výhody sousledného frézování:

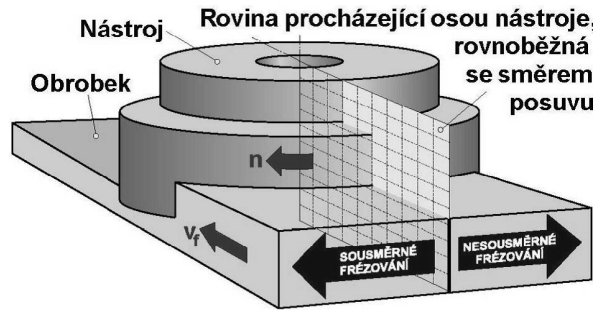
- vyšší trvanlivost, životnost břitů, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- menší potřebný řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu – jednodušší upínací systém,
- menší sklon ke kmitání,
- obvykle menší sklon ke tvoření nárůstku,
- lepší drsnost obrobeneho povrchu.



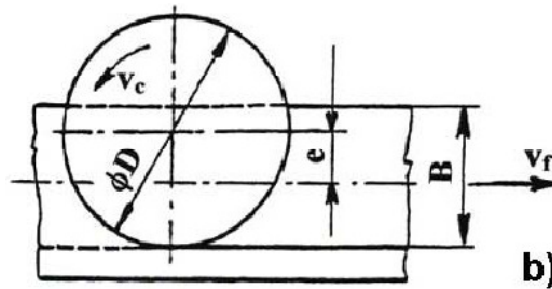
Obr. 10. Válcové frézování sousledné

2.1.2 Čelní frézování

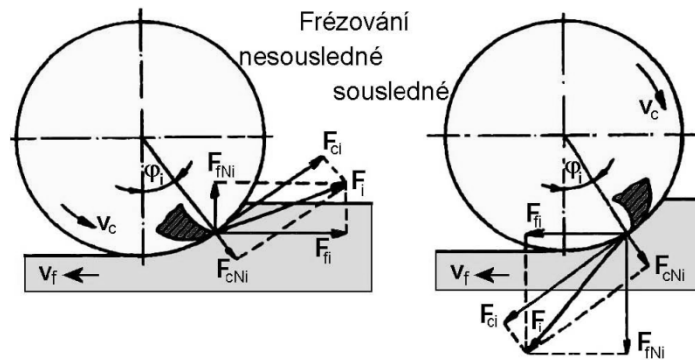
Osa frézy je kolmá k obráběné ploše. Materiál je odřezáván nejen po obvodě, ale také břity na čelní ploše frézy. Tloušťka třísky se mění od minima do maxima podle velikosti průměru frézy a šířky obráběné plochy. Tento způsob frézování je výkonnější. Podle polohy osy nástroje vzhledem k ose obrobku se dělí: **a) symetrické** (osa nástroje prochází středem frézované plochy), **b) nesymetrické** (osa nástroje je mimo střed frézované plochy). Při čelním frézování pracuje fréza současně sousledně i nesousledně.



Obr. 11. Čelní frézování



Obr. 12. Čelní frézování nesymetrické



Obr. 13. Síly při frézování

F_i - celková řezná síla, F_{ci} - řezná síla, F_{cNi} - kolmá řezná síla, F_{fi} - posuvová síla, F_{fNi} - kolmá posuvová síla

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \quad (6)$$

Tab. 1. Hodnoty C_{Fc} a x při frézování válcovou a čelní frézou (K. Kocman, J. Prokop, 1996, strana 126, tab. 8.7).

Obráběný materiál		Válcové frézy	
		C_{Fc}	x
Nelegovaná ocel	Rm = 450 Mpa	1200	0,63
	Rm = 650 Mpa	1380	0,72
	Rm = 850 Mpa	1600	0,72
Chromniklová ocel	Rm = 550 Mpa	1390	0,66
	Rm = 800 Mpa	1440	0,72
	Rm = 900 Mpa	1740	0,74
Litina	HB 180- 220	850	0,67
	HB 220	950	0,67
Bronz		420	0,60

Jednotlivé složky celkové řezné síly F se častěji určují empiricky. (K. Kocman, J. Prokop, 1996, strana 127).

$$F_{cN} = (0,60 - 0,8) F_c,$$

$$F_{fN} = (0,20 - 0,3) F_c \text{ - pro nesousledné frézování,}$$

$$F_{fN} = (0,75 - 0,8) F_c \text{ - pro sousledné frézování,}$$

$$F_f = (1,00 - 1,2) F_c \text{ - pro nesousledné frézování,}$$

$$F_f = (0,80 - 0,9) F_c \text{ - pro sousledné frézování.}$$

Při frézování je v záběru několik zubů současně. Výsledné síly pak závisí na počtu zubů v záběru a na okamžité poloze zubů frézy vzhledem k obrobku.

$$F_c = \sum_i F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sum_i \sin^x \varphi_i \quad (7)$$

2.2 Základní vzorce

Výpočet otáček vřetene v [ot/min]:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (8)$$

Výpočet řezné rychlosti v [m/min]:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (9)$$

Výpočet posuvu na zub v [mm/zub]:

$$f_z = \frac{V_f}{n \cdot z} \quad (10)$$

Výpočet rychlosti posuvu na otáčku v [mm/ot]:

$$f_n = z \cdot f_z ; \quad f_n = \frac{V_f}{n} \quad (11)$$

Výpočet rychlosti posuvu v [mm/min]:

$$V_f = n \cdot z \cdot f_z \quad (12)$$

D – průměr frézy v [mm] z - počet zubů frézy

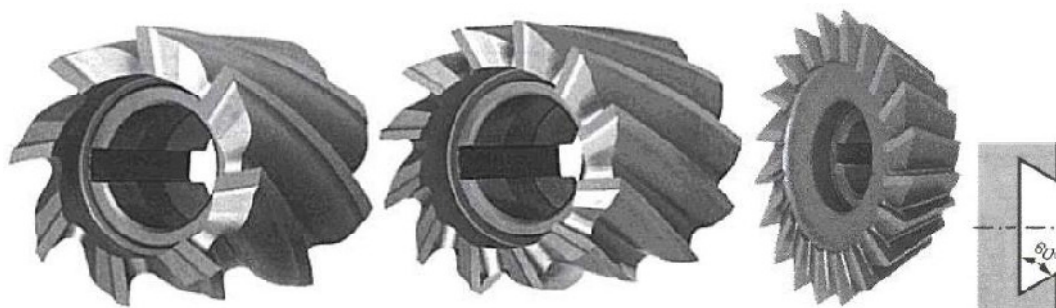
2.3 Frézovací nástroje (frézy)

Vzhledem k mnohostrannému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě a k velkému rozsahu technologie frézování se v současné době používá mnoho typů fréz. Frézy jsou vícebřité, někdy i tvarově složité nástroje, které lze v závislosti na jejich technologickém uplatnění třídit do jednotlivých skupin podle různých hledisek.

2.3.1 Rozdělení fréz

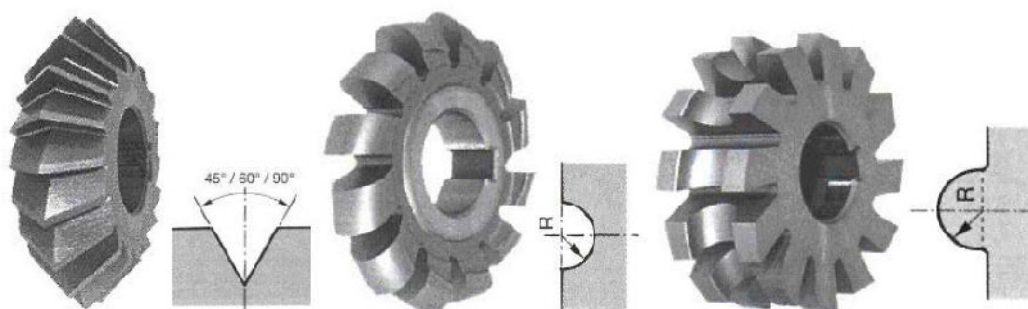
- a) Podle **umístění zubů** na tělese nástroje **válcové** (mají zuby na válcové ploše - a1), **čelní** (mají zuby na čelní ploše - a2), **válcové čelní** (mají zuby na čelní i válcové ploše - a3).
- b) Podle **nástrojového materiálu zubů** se rozlišují frézy z **rychlořezné oceli** (b1), **slinutých karbidů** (b2), **cermetů** (b3), **řezné keramiky** (b4), **PKNB** (b5) a **PKD** (b6).

- c) Podle *provedení zubů* se rozlišují frézy se zuby **frézovanými** (c1) nebo **pod soustruženými** (c2). U frézovaných zubů tvoří čelo i hřbet rovinné plochy. Pod soustružené zuby mají hřbetní plochu vytvořenou jako část Archimédovy spirály. Předností podsoustružených zubů je, že při ostření na čele se jejich profil mění jen nepatrně, takže se využívají především pro tvarové frézy.
- d) Podle *směru zubů* vzhledem k ose rotace frézy se rozlišují frézy se zuby **přímými** (d1) a zuby **ve šroubovici** (d2), pravé nebo levé. Zuby ve šroubovici vnikají do záběru postupně, takže řezný proces je plynulý a klidnější. Sklon šroubovice je 10° až 45° a někdy i více.
- e) Podle *počtu zubů* vzhledem k průměru frézy se rozlišují frézy **jemnozubé** (e1), **polohrubozubé** (e2) a **hrubozubé** (e3). Pro klidný chod frézy má být počet zubů takový, aby současně řezaly nejméně dva zuby.
- f) Podle *konstrukčního uspořádání* se rozlišují frézy **celistvé** (těleso i zuby jsou z jednoho materiálu - f1), s **vloženými noži** (f2) a frézy s **vyměnitelnými břitovými destičkami**, mechanicky upevněnými k tělesu frézy (f3).
- g) Podle *geometrického tvaru funkční části* se rozlišují frézy **válcové** (g1), **kotoučové** (g2), **úhlové** (g3), **drážkovací** (g4), **kopírovací** (g5), **rádiusové** (g6), **na výrobu ozubení** (g7) atd.
- h) Podle *způsobu upnutí* jsou frézy **nástrčné** (upínají se na centrální otvor - h1) a **stopkové** (upínají se za válcovou - h2 nebo kuželovou stopku - h3).
- i) Podle *smyslu otáčení* při pohledu od vřetena stroje se frézy dělí na **pravořezné** (i1) a **levořezné** (i2).



a3, b1, c1, d2, e2, f1, g1, h1, i1

a3, b1, c1, d1, e3, f1, g3, h1, i1



a1, b1, c1, d1, e2, f1, g3, h1, i2

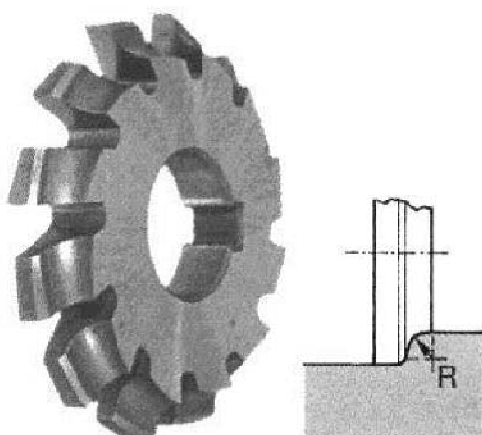
a1, b1, c2, d1, e2, f1, g6, h1, i2



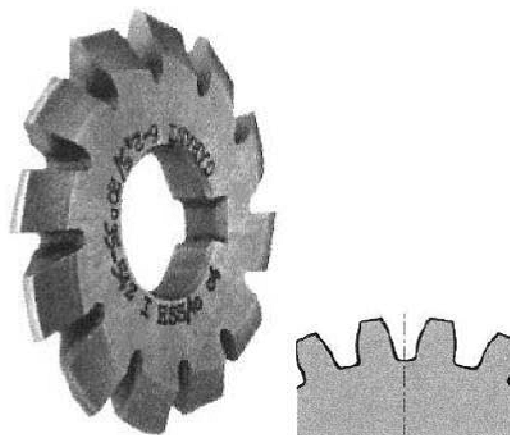
a3, b2, c1, d2, e3, f1, g4, h2, i1



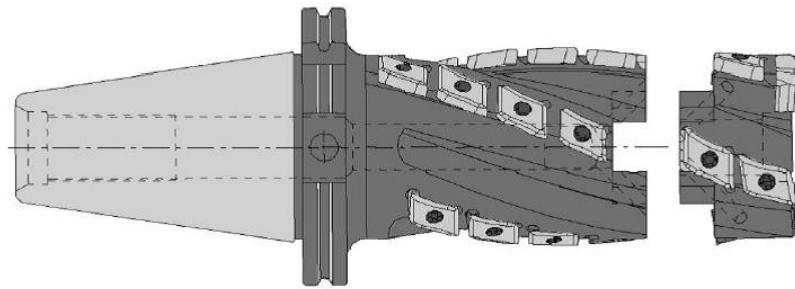
a3, b2, c1, d2, e3, f1, g5, h2, i1



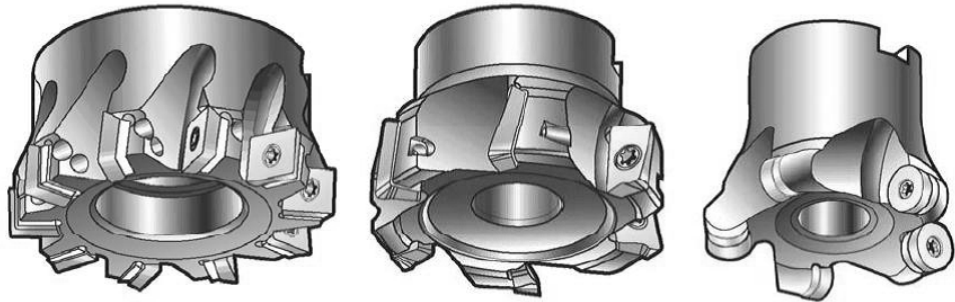
a1, b1, c2, d1, e2, f1, g6, h1, i2



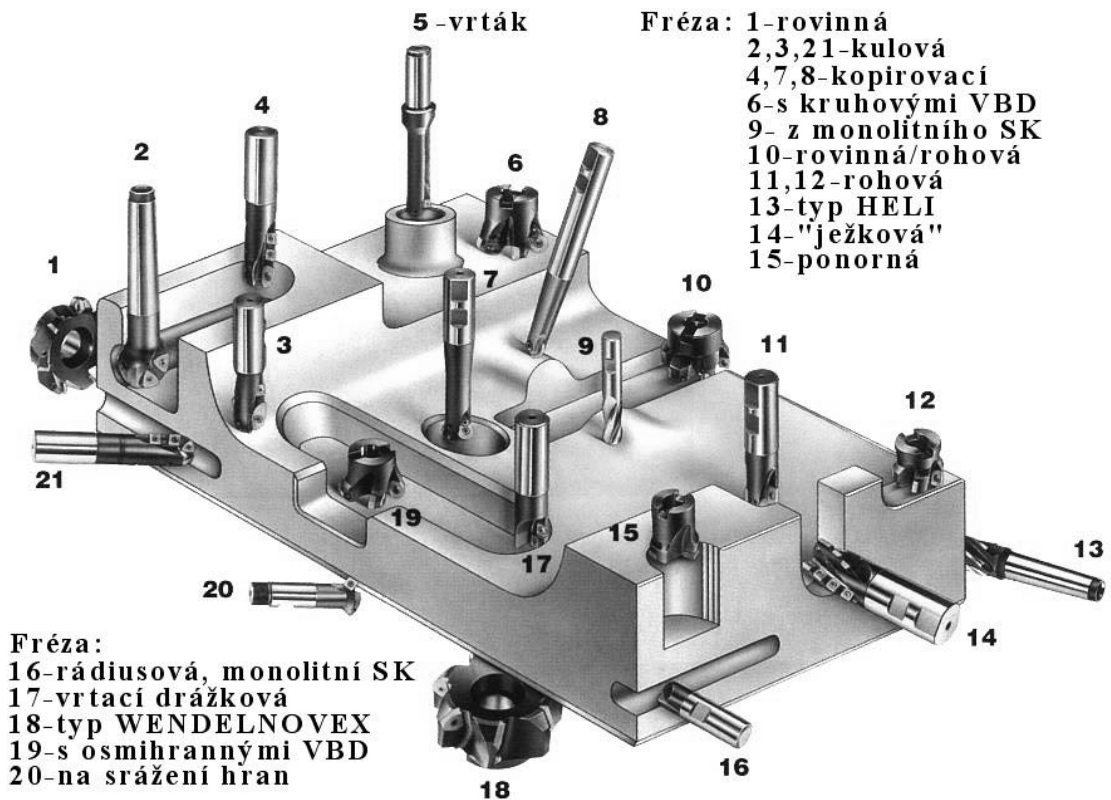
a1, b1, c2, d1, e2, f1, g7, h1, i2



a3, b2, c-, d2, e3, f3, g1, h3, i1



a2, b2, c-,d2, e2, f3, g-, h1, i1 a2, b2, c-, d2, e3, f3, g-, h1, i1 a2, b2, c-,d1, e3, f3, g-, h1, i1



Obr. 14. Typy frézovacích nástrojů (fréz)

2.3.2 Správný výběr frézovacího nástroje

(Doporučení od výrobce nástrojů SANDVIK Coromant). [5]

a) Určete typ operace:

rovinné čelní frézování, frézování do rohu, tvarové frézování, frézování drážek.

b) Určete druh materiálu obrobku, definujte použitý materiál podle ISO:

Ocel (P), korozivzdorná ocel (M), litina (K), hliník (N), žáruvzdorné a titanové slitiny (S), kalený materiál (H).

c) Zvolte frézu:

Vyberte rozteč a způsob upnutí frézy. Použijte frézu s malou roztečí jako první volbu. Pro dlouhé vyložení a nestabilní podmínky použijte frézu s velkou roztečí zubů. Použijte frézu s malou roztečí pro materiály tvořící krátkou třísku.

d) Vyberte vyměnitelné břitové destičky (VBD). Vyberte geometrii VBD odpovídající prováděné operaci:

Geometrie L = Lehké podmínky. Pro lehký řez, jsou-li požadovány malé řezné síly / výkon.

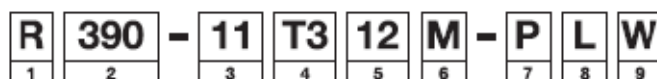
Geometrie M = Střední podmínky. První volba pro smíšenou výrobu.

Geometrie H = Těžké podmínky. Pro hrubování, výkovky, odlitky a přerušovaný řez
Vyberte karbidovou třídu VBD pro optimální produktivitu.

e) Určete počáteční hodnoty řezných podmínek:

Řezné rychlosti a posuvy pro různé materiály naleznete na obalech břitových destiček a v tabulkách. Tyto hodnoty je nutno optimalizovat podle konkrétního stroje.

Základní kódové značení břitových destiček Coromill:



1- provedení břitové destičky: R = pravostranné, L = levostranné,

2 - hlavní kódové označení,

3 - šířka břitové destičky v mm,

4 - tloušťka břitové destičky, příklad: T3 s = 3.97,

5 - poloměr rohu, příklad 12 = 1,2 mm,

6 - vlastnosti břitu, M = nejvyšší spolehlivost, E = nejvyšší ostrost a přesnost, H = vysoká ostrost a přesnost řezné hrany, K = vysoká ostrost břitu,

7 - hlavní oblasti použití dle ISO: P, M, K, S, N, H,

8 – pracovní operace, L = lehký řez, M = střední obrábění, H = hrubování, T = rotační frézování.

Základní kódové značení fréz Coromill:

R	A	390	-	063	Q	22	L	-	11	M	050
1	2	3		4	5	6	7		8	9	10

1- provedení, R = pravotočivé,

2 – jednotkový systém, A = palce,

3 – hlavní kódové značení,

4 – průměr řezu v mm, 063 = 63 mm,

5 – druh upínání, A = válcová stopka (mm), B = weldon (mm), C = Coromant Capto, D = válcová stopka (inch), M = typ Weldon (inch), N = whistle Notch (inch), Q = upínací trn (mm), O = válcová stopka (inch),

6 – velikost spojky v mm,

7 – L = extra dlouhá,

8 – velikost vyměnitelné břitové destičky,

9 – rozteč zubů, L = velká, M = malá, H = zvláště malá,

10 – délka frézy.

2.4 Frézovací stroje (frézky)

Frézky jsou vyráběny ve velkém počtu modelů a velikostí s rozsáhlým příslušenstvím. Zpravidla se dělí na 4 skupiny: konzolové, stolové, rovinné, speciální.

Velikost frézky určuje: šířka upínací plochy stolu, velikost upínacího kužele, délka pohybu pracovního stolu, rozsah posuvů a otáček vřetene, kvalitativní parametry obrobenej plochy.

Z hlediska řízení mohou být: ručně ovládané, programově řízené (s tvrdou nebo pružnou automatizací).

2.4.1 Konzolové frézky

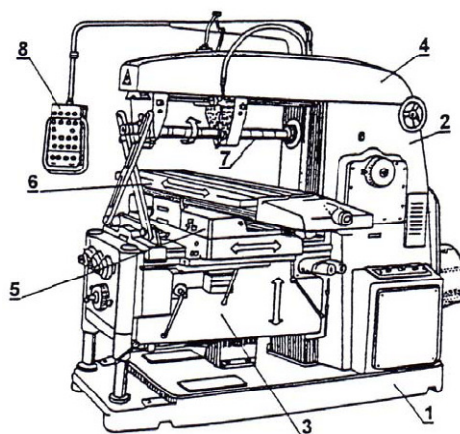
Je charakterizována výškově přestavitelnou konzolou, která se pohybuje po stojanu. Na konzole je pohyblivý příčný stůl s podélným pracovním stolem. Tato kombinace pohybů umožňuje pohyb obrobku ve všech třech osách vzhledem k nástroji. Používají se na výrobu menších a středních obrobků v kusové a malosériové výrobě.

Vyrábějí se ve třech základních variantách:

- vodorovné (horizontální), svislé (vertikální), univerzální.

2.4.1.1 Konzolové frézky vodorovné

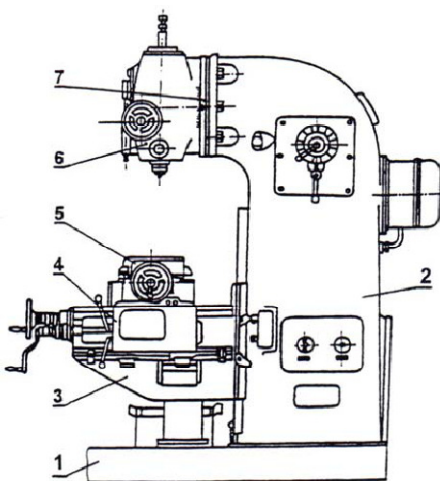
Mají osu pracovního vřetena vodorovnou, rovnoběžnou s plochou podélného stolu a kolmou na směr pohybu podélného stolu. Frézují se na nich převážně plochy rovnoběžné s upínací plochou stolu, drážky a tvarové plochy. Pracuje se na nich nejčastěji válcovými a kotoučovými frézami a frézami tvarovými. Frézovací trn může být podepřen v jednom nebo ve dvou opěrných ložiskách. Omezeně se u nich používají frézy s kuželovou stopkou a frézovací hlavy upnuté do kužele pracovního vřetena. Konzolové frézky univerzální se od vodorovných frézek liší tím, že jejich podélný stůl je ve vodorovné rovině otočný kolem svislé osy o $\pm 45^\circ$. Popis frézky: 1- základna, 2 - stojan, 3 - konzola, 4 - rameno, 5 - příčný stůl, 6 - podélný pracovní stůl, 7 - vřeteno, 8 - ovládací panel.



Obr. 15. Konzolová frézka vodorovná

2.4.1.2 Konzolové frézky svislé

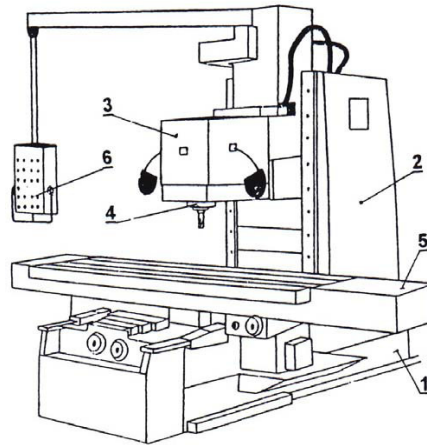
Mají osu pracovního vřetena kolmou k upínací ploše stolu. Pracovní vřeteno je uloženo buď ve svislé hlavě připevněné na stojanu frézky, nebo přímo ve stojanu. Svislá hlava se dá natáčet o $\pm 45^\circ$, vřeteno bývá svisle přestavitelné. Na svislých konzolových frézkách se frézují zejména rovinné plochy rovnoběžné s upínací plochou stolu, drážky v těchto plochách a tvarové plochy. Používají se k tomu čelní frézy upnuté na krátkém trnu, případně frézy s kuželovou stopkou upínané přímo do kužele vřetena, nebo s válcovou stopkou, upnuté do sklíčidla. Na větších svislých konzolových frézkách se používají také frézovací hlavy. Popis frézky: 1 - základna, 2 - stojan, 3 - konzola, 4 - příčný stůl, 5 - podélný pracovní stůl, 6 - naklápěcí vřeteník, 7 - kruhová základna vřeteníku.



Obr. 16. Konzolová frézka svislá

2.4.2 Stolové frézky

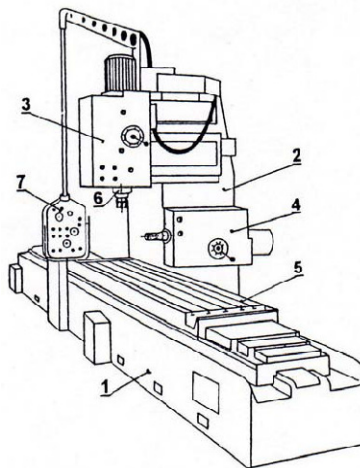
Mívají obvykle příčný a podélný stůl. Pohyb ve svislém směru je zajišťován přemisťováním vřeteníku pro vedení stroje. Lze na nich vyrábět velké a těžší součásti. Vyrábějí se jak vodorovné, tak svislé. Popis frézky: 1 – základní deska, 2 – stojan, 3 – vřeteník, 4 – vřeteno, 5 – pracovní stůl, 6 – ovládací panel.



Obr. 17. Svislá stolová frézka

2.4.3 Rovinné frézky

Patří mezi nejvýkonnější druhy frézek. Jsou velmi robustní a umožňují obrábět velmi rozměrné a těžké obrobky. Stůl má jeden stupeň volnosti (pohybuje se jen v jednom směru). Mohou mít více vřeteníků. Vyrábí se i jako portálové. Popis frézky: 1 – lože, 2 – stojan, 3 – svislý vřeteník, 4 – vodorovný vřeteník, 5 – pracovní stůl, 6 – vřeteno, 7 – ovládací panel.



Obr. 18. Rovinná frézka
























2.5 Upínání nástrojů

Pro upínání nástrčných fréz na frézkách se používají frézovací trny. Upínací kužel frézovacích trnů a pracovního vřetena může být buď metrický, Morse, nebo strmý. Metrický a Morse kužel jsou samosvorné a mohou přenést krouticí moment z vřetena na

frézovací trn. Poloha frézy na dlouhém trnu se zajišťuje volně navlečenými rozpěrnými kroužky. Čelní nástrčné frézy a frézovací hlavy se upínají krátkými upínacími trny letmo upnutými do vřetena stroje. Pokud se rozměr kužele nástroje neshoduje s kuželem ve stroji, používají se redukční pouzdra.

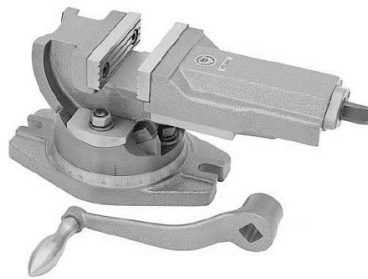
Tab. 2. Upínání frézek (katalog upínání nástrojů) [5]

Celistvé držáky HSK

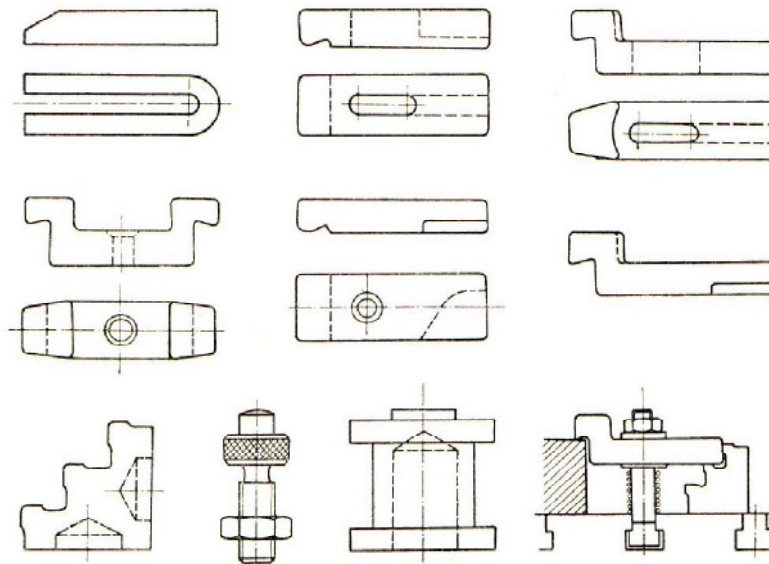
Adaptér pro čelní frézy	Adaptér pro čelní frézy	Tlumený frézovací nástavec	CoroGrip - přesné hydromechanické sklíčidlo	Velmi přesné hydraulické sklíčidlo HydroGrip	Velmi přesné hydraulické sklíčidlo HydroGrip Tužkový typ	Kleštinové sklíčidlo DIN 6499
						
392.41005	41005CG	392.41006	392.410HMD 392.417HMD	392.410CGA	392.410CGB	392.41014
Strana G68	G89	G68	G78	G89	G90	G69
						
Adaptér pro stopkové frézy, typ Weldon	Držák pro stopkové frézy, typ Whistle Notch	Nastavitelný držák vrtáků	Držák pro vrtáky Podle ISO 9766	Sklíčidla pro závitníky	Sklíčidla pro závitníky	Adaptér pro závitníky
						
393.41020	393.14021	392.410227	393.41027	392.41062 392.41063	392.41060	392.41060 392.41061
Strana G69	G70	E67	G70	G73	G74	G72
						

2.6 Upínání obrobků

Protože při záběru několika zubů vznikají při frézování velké řezné síly, je nutné obrobek řádně upnout. Je ovšem důležité, aby obrobek nebyl při upínání deformován a aby byla obráběná i upínací plocha co nejlíže vřetená. Menší obrobky se obvykle upínají do běžných strojních svěráků, otočných a sklopných svěráků, speciálních svěráků pro upínání válcových součástí apod. Mohou se ovládat ručně, pneumaticky nebo hydraulicky. K upínání větších obrobků se používají rozličné upínací pomůcky, jako jsou upínky, opěrky, podpěry, apod. Všechny tyto upínací pomůcky jsou upevňovány do T-drážek stolu frézky pomocí speciálních šroubů s čtvercovou hlavou.



Obr. 19. Strojní svěrák



Obr. 20. Upínky

3 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE

V tržní ekonomice současnosti je nutné pro přežití firmy na trhu, aby firma maximálně uspokojila své odběratele. Musí toho dosáhnout v době, kdy vzrůstá složitost a různorodost produkováných výrobků s nároky na přesnost a spolehlivost jednotlivých dílů. Splnit tyto požadavky nám umožňuje zavedení číslicového řízení. Číslicově řízené obráběcí stroje představují nosný prvek pružné automatizace obráběcích procesů v oblasti středně sériových, malosériových a v řadě případů také kusových výrob. Zavedením číslicového systému řízení se tedy dosáhlo na obráběcích strojích největší pružnosti zejména tím, že se podařilo oddělit řídicí program od vlastního obráběcího stroje. Řídicí program se zhotovuje mimo dílenské pracoviště, což umožňuje vyšší využití číslicově řízeného stroje.

Číslicově řízené obráběcí stroje mají řadu výhod a předností před konvenčními obráběcími stroji:

- výroba na číslicově řízených obráběcích strojích je produktivnější a hospodárnější,
- odpadá výroba, skladování, údržba a obsluha rýsovacích, vrtacích a jiných přípravků,
- odpadá výroba šablon, vzorových součástí a současně jejich skladování,
- výrobní programy lze snadno měnit,
- lze zmenšit sklady náhradních dílů, požadovanou součást lze snadno vyrobit pomocí archivovaného programu, je velmi výhodné zejména pro starší výrobky,
- zvýší se kvalita výrobků, odpadají chyby a nepřesnosti způsobené nepozorností, únavou pracovníků,
- zmenšují se požadavky na kvalifikaci pracovníků pro obsluhu,
- výrobní čas je přesně určen programem a nezávisí na obsluze, je možno upřesnit plánování výroby,
- umožňují výrobu součástí, jejichž tvar je zadán matematickými funkcemi, např. profily lopatek turbín, kompresorů, různé druhy tvarových součástí,
- umožňují rychlé zavádění nových typů strojů do výroby,
- číslicové řízení si vynucuje zavedení dokonalého nářadí a tím je zpětně ovlivněna produktivita a hospodárnost výrobního procesu,

- číslíkově řízené stroje na jedné straně požadují nižší kvalifikaci pracovníků určených k obsluze, na druhé straně ale požadují vyšší kvalifikaci pracovníků zabezpečujících výrobu, servis, údržbu a seřizování strojů,
- zkrácení doby výroby.

Nevýhody číslíkově řízených obráběcích strojů:

- vysoká pořizovací cena,
- vyšší nároky na technologickou přípravu,
- zvýšené nároky na údržbu, organizaci pracovišť a organizaci práce.

Číslíkové řízení daleko překračuje funkce jednoho stroje, ale využívá všech předností a možností výpočetní techniky a zasahuje do struktury a organizace výroby v nejširším slova smyslu. [1]. Je tedy výhodné, když je vytvořen počítačově integrovaný systém začínající v konstrukci, kde se uplatní programy pro počítačovou podporu tvorby geometrie nebo modelu obrobku – CAD programy (například Autodesk Inventor, CATIA, Solid CAD, Pro/Engineer) a programy pro počítačovou podporu inženýrských výpočtů (například ANSYS, COSMOS).

3.1 Podstata číslíkově řízených obráběcích strojů

Všeobecně nazývané **NC (Numerical Control)** jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, které se nazývají bloky nebo věty. Program je určen pro řízení silových prvků stroje a zaručuje, aby proběhla požadovaná výroba součásti.

Informace potřebné k řízení všech funkcí obráběcího stroje můžeme takto rozdělit:

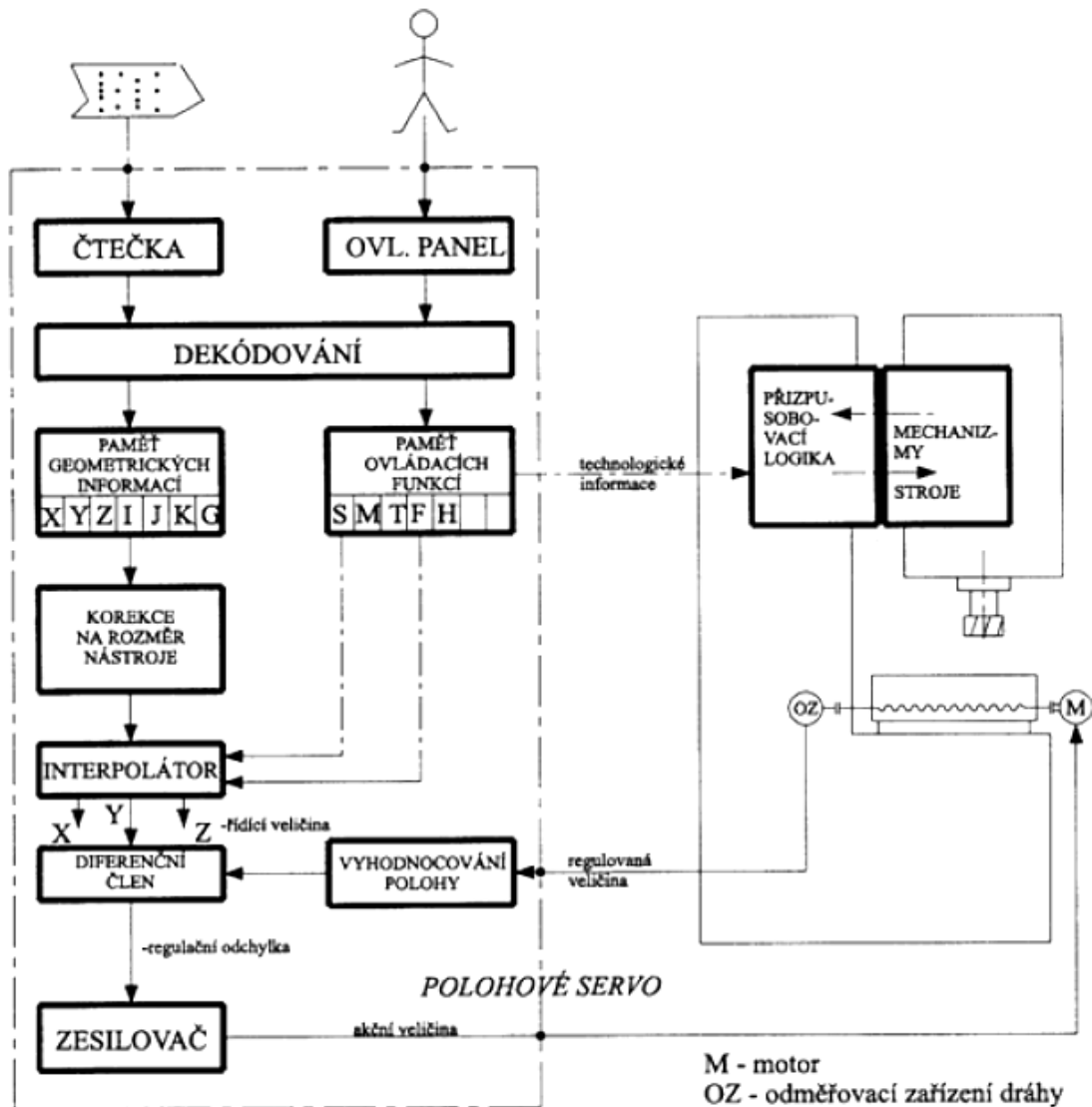
- **informace o geometrii obrábění**, určující rozměry součásti nebo vzdálenosti otvorů, příjezd a odjezd nástroje k obrobku. Jde tedy o popis drah nástroje v kartézských souřadnicích, kdy pro tvorbu programu potřebujeme rozměry z výrobního výkresu. V programu je uveden popis v osách X, Z u soustruhu, v osách X, Y, Z u frézky (a často i v dalších osách dle konstrukce stroje a náročnosti výrobku) danými funkcemi, které stanoví norma ISO a také jednotliví výrobci řídicích systémů.

- **informace o technologii obrábění**, které nám stanovují řezné podmínky, jako jsou velikost otáček, posuvu, hloubky třísky.
- **informace pomocné**, jsou to například zapnutí a vypnutí chlazení, směr otáček vřetena, stop programu atd.

3.1.1 Základní pojmy

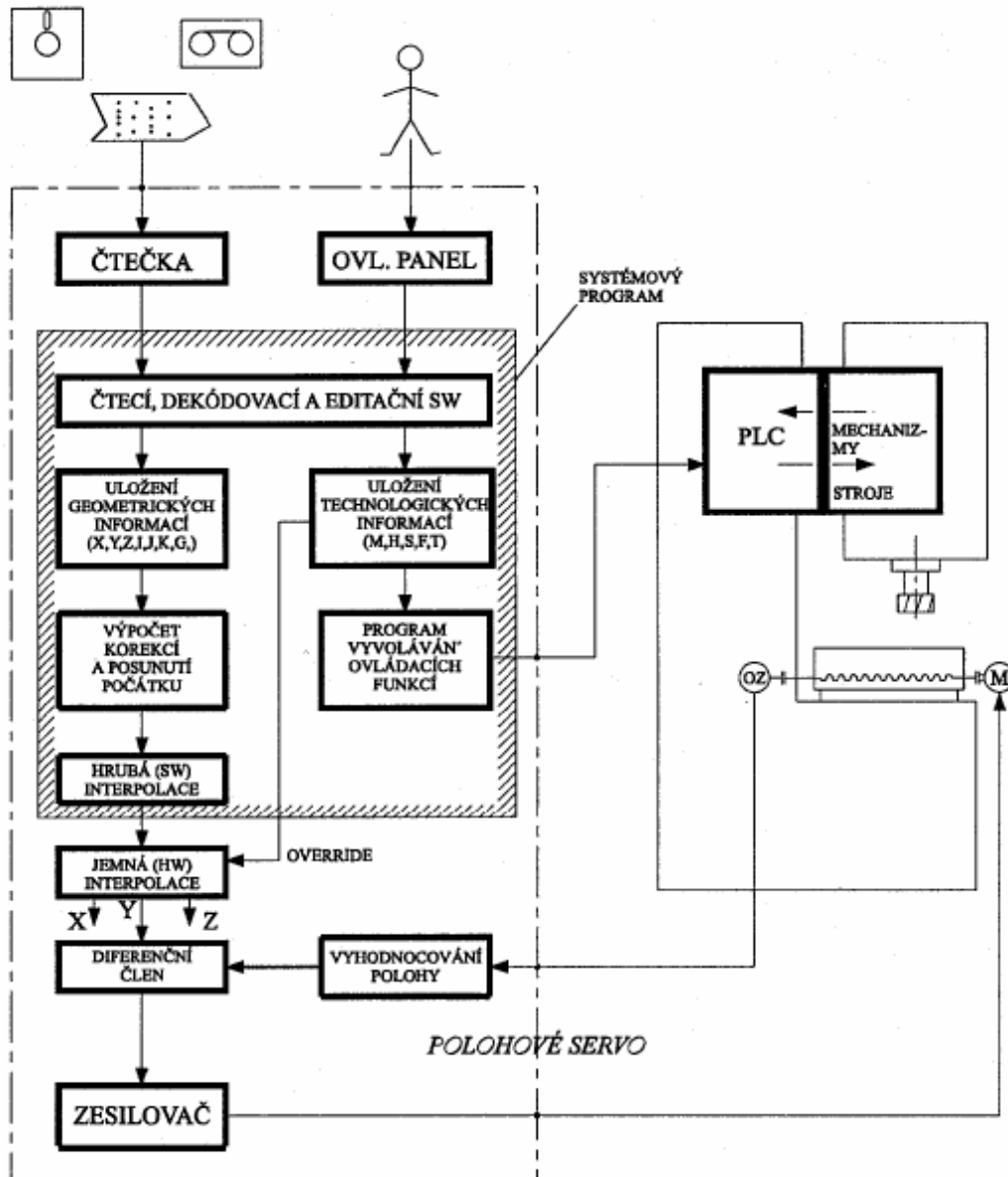
- **Řídicí program** je v počítačově orientovaných číslicově řídicích systémech, je to posloupnost instrukcí, kterými se nastavují operační schopnosti systému.
- **Strojní program** je uspořádaný soubor instrukcí v jazyce a formátu automatického řízení, zaznamenaný na příslušném vstupním médiu. Je dostatečně úplný k tomu, aby provedl přímé řízení automatickým řídicím systémem.
- **Part program** je řídicí program pro zhotovení daného dílce nebo určité operace, v němž jsou vyjádřeny informace určující každý detail v sekvenci pracovních pohybů stroje.
- **Podprogram** je část strojního programu, která může být vyvolána příslušným povelům řízení stroje.
- **Řádka** je část strojního programu nebo podprogramu, která odpovídá jednomu bloku číslicových dat.
- **Formát bloku** je uspořádání slov, znaků a dat v bloku.
- **Procesor** je počítačový program, který provádí výpočty podle programu obrobku a připravuje souřadnice nástroje pro konkrétní obrobek bez ohledu na stroj, na kterém by mohl být obroben.
- **Postprocesor** je počítačový program, který upravuje výstup procesoru na strojní program pro zhotovení obrobku na konkrétní kombinaci obráběcího stroje a řídicího systému. [1]
- **NC (Numerical Control) obráběcí stroj**, je číslicově řízený obráběcí stroj, u něhož průběh pracovního procesu je řízen číslicově vyjádřenými informacemi o dráze, směru a smyslu pohybu pracovních elementů, řezných podmínkách a pomocných funkcích, které jsou postupně předávány stroji nositelem informací. Do paměti systému se načítá jen jedna věta, která se vykoná. Po provedení věty se načte nová, přičemž se stávající

obsah paměti přemaže. Informace je zadána ve formě programu na paměťovém médiu nebo ručně z klávesnice. Po zhotovení kusu se musí program načíst znovu.



Obr. 21. Schéma NC systému [3]

- **CNC (Computer Numerical Control)**, systém, jehož zvlášť k tomu určený počítač s programem uloženým v paměti je používán k provádění některých nebo všech základních funkcí číslicového řízení. U CNC systémů je možné snadno editovat program, větvit program, používat parametry, pracovat s podprogramy, využívat grafickou simulaci obrábění.



Obr. 22. Schéma CNC systému [3]

- **MNC (Memory Numerical Control)**, je řídicí systém s vestavěnou pamětí. Nepoužívají pro řízení strojů počítač. Vyznačují se přidáním paměťového zařízení počítačového typu.
- **DNC (Direct Numerical Control)**, systém přímého řízení skupiny NC strojů počítačem v reálném čase. Takzvaný systém řízení nadřazeným počítačem. Hlavním úkolem DNC je uchovávat v paměti programy podřízených NC strojů a ve vhodnou dobu je jim předat buď celé – pro systémy vybavené vlastní pamětí (CNC, MNC), nebo jednotlivě po blocích. Systém DNC mohou přejímat i úkoly ekonomické.

3.2 Rozdělení NC systémů

Každý numericky řízený stroj je tvořen těmito celky:

- **Řídicím systémem**, který na základě údajů zakódovaných ve formě programu a uložených na vnějším paměťovém médiu, nebo po částech předávaných do vyrovnávací paměti, či zapsaných ve vnitřní paměti systému a s využitím údajů zpětně vazebného generuje na výstupu signál pro řízený stroj.
- **Řízeným strojem** vybaveným takovými zařízeními, která mu umožňují realizovat požadovaný průběh technologického procesu.
- **Přizpůsobovacími obvody**, umožňujícími vzájemné spojení řízeného stroje s řídicím systémem.

NC systémy můžeme rozdělit do skupin podle různých hledisek:

3.2.1 Podle použité zpětné vazby

Základní spojení numerického řídicího systému a řízeným strojem lze realizovat:

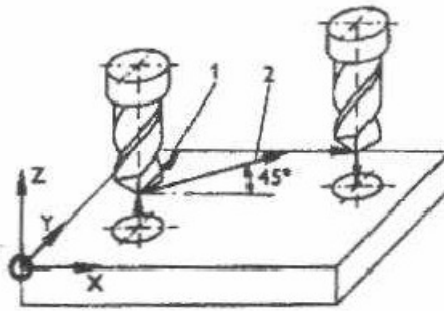
- **V otevřené smyčce (bez zpětné vazby)**, kde řídicí systém nemá žádné informace o skutečné poloze řízené části stroje. Využití při aplikaci krokových motorů.
- **V uzavřené smyčce (se zpětnou vazbou)**, kde řídicí systém je průběžně pomocí odměřovacího zařízení informován o skutečné poloze řízené části. Zpětnovazební signál udávající skutečnou polohu řízené části stroje je využit k porovnání s hodnotou požadovanou. Výsledek tohoto porovnání je po příslušné úpravě řídicím vstupním signálem pro pohybové servomotory.

3.2.2 Podle složitosti pracovního cyklu

3.2.2.1 Systém s přetržitým řízením (nespojité)

- Systém stavění souřadnic

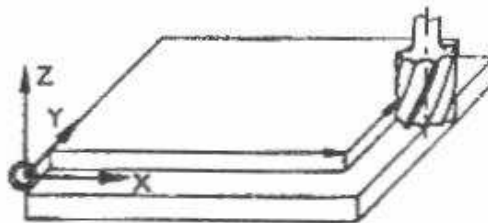
Používá se u číslíkově řízených vrtaček nebo vyvrtávaček pro přemísťování, a polohování obrobku vzhledem k nástroji. Polohování probíhá v souladu s řídicím programem, přičemž charakteristické zde je, že v době přemísťování obrobku nástroj neobrábí. Pohyb v souřadnicích X a Y není tedy pohybem pracovním, pracovní pohyb je pouze v souřadnici Z.



Obr. 23. Systém stavění souřadnic

- Systém pravoúhlého řízení

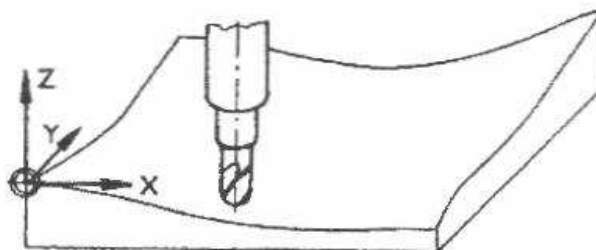
Nástroj může konat pracovní pohyb ve všech souřadnicích X, Y, Z, a to vždy jen v jedné z nich. Přitom je nástroj ve styku s obrobkem, odebírá třísku. Tento systém umožňuje soustružit válcové plochy a frézovat pravoúhlé obrobky.



Obr. 24 Pravoúhlé řízení

3.2.2.2 Systém souvislého řízení (spojité)

Používají se nejčastěji u soustruhů, frézek a obráběcích center. Ve srovnání se systémy pravoúhlého řízení je u těchto systémů pohyb nástroje vůči obrobku při obrábění současně a plynule řízen nejméně ve dvou osách. Tak se mohou obrábět i obecné tvary.



Obr. 25. Souvislé řízení

3.2.3 Podle způsobu programování

3.2.3.1 Přírůstkové (inkrementální) programování

U tohoto způsobu se souřadnice všech bodů udávají v hodnotách měřených vzhledem k předchozímu bodu. To znamená, že každý předchozí bod je považován za výchozí. Programuje se po přírůstku.

3.2.3.2 Absolutní programování

Souřadnice programovaných bodů dráhy nástroje vůči obrobku jsou vztaženy k předem zvolenému počátku. Pro potřeby absolutního programování je lépe použitelné kótování od základny.

Řídicí systém i simulační programové vybavení umožňují v základní konfiguraci nastavení do jednoho z obou typů programování. Vzhledem k nejvíce rozšířenému programování v absolutních souřadnicích lze očekávat, že většina řídicích systémů je po startu nastavena na absolutní programování. Z jednoho typu programování do druhého a naopak lze přecházet v rámci téhož programu. Programové body můžeme zapisovat pomocí těchto druhů souřadnic:

- **Programování v kartézských souřadnicích** - poloha bodu je určena jeho vzdáleností od nulového bodu souřadného systému v jednotlivých osách.
- **Programování pomocí polárních souřadnic** - cílový bod je popsán vzdáleností (úsečkou) a úhlem od počátečního bodu.
- **Programování pomocí parametrů** (parametrické) - používá se v systému absolutního i inkrementálního programování. Rozměrová část adres X, Y, Z a případně další je v programu nahrazena obecnými čísly (parametry) a tyto parametry jsou samostatně v programu definovány reálnými čísly nebo goniometrickými funkcemi. Jako parametr totiž může být použito nejenom číslo, ale i slovo, věta nebo matematický výraz. Změna čísla v parametru má za následek změnu rozměru součásti. Snižuje se počet programů pro daný typ součásti (např. sada hřídelí má stejný program a změnou hodnot v parametrech se mění i rozměry součásti; v případě dosazení číslice nula se osazení neprovede).

3.3 Provozní režimy NC obráběcích strojů

Při obsluze stroje se můžeme setkat s několika druhy provozních činností stroje, nebo pouze jeho řídicího systému. Lze je nastavit na řídicím panelu příslušnými tlačítky. Obvykle mají řídicí systémy režimy:

- Režim **MANUÁL** (ruční provoz) slouží k přestavení nástroje nebo měřicího zařízení do požadované polohy, k výměně nástroje, najíždění na obrobek, rozběh otáček apod.
- Režim **AUTO** (automatický - plynulé provádění programu) - stroj po zpracování bloku čte a zpracovává další blok automaticky - plynulý proces obrábění.
- Režim **B-B** (Blok po Bloku) stroj se po zpracování bloku zastaví a po znovu opakovaném startu čte a zpracovává další blok. Takto lze provést celé obrábění dle programu. Režim B-B slouží jako jedna z možností kontroly, zda byl správně tvořen CNC program.
- **NASTAVENÍ** (ovlivnění velikosti otáček, pracovního posuvu, rychloposuvu) - velikost pohybu lze ovlivnit ručně potenciometrem, kde lze nastavit rozsah obvykle v rozmezí 5 až 150 % hodnoty nastavené v ručním nebo automatickém režimu.

Použití je nutné:

- při ručním řízení stroje, např. při zjišťování nulového bodu obrobku („naškrábnutím" materiálu),
 - při automatizovaném řízení, při obrábění prvního obrobku. Zde je výhodné najíždění sníženým rychloposuvem k obrobku kvůli vyloučení možné havárie z důvodů např. chybně uvedeného nulového bodu obrobku,
 - v automatizovaném provozu, při obrábění může obsluha stroje ručně změnit chybně stanovené řezné podmínky (posuv, otáčky) uvedené v programu (program CNC je nutné následně opravit).
- Režim **TOOL MEMORY** (paměť nástrojových dat) umožňuje uložit a vyvolat data o nástrojích, včetně korekcí. Název paměti může být rozličný, stejně tak zapisované údaje k nástrojům se mohou lišit svým názvem a množstvím. Nástroje, uložené v zásobníku nebo v revolverové hlavě, mají v této „tabulce korekcí" přiřazené údaje o velikosti korekcí a řídicí systém si je při použití daného nástroje načítá. Tento režim se obvykle nepoužívá u strojů s jedním nástrojem (výměna nástrojů se provádí ručně), tedy tam, kde se používá funkce M 06, ve které jsou uvedeny korekce daného nástroje.

- Režim **TEACH IN** („učení se“ anebo také „najatí a uložení“) - stroj má „schopnost“ učit se. Obsluha provádí ruční (pomocí klávesnice) požadovanou činnost pro vyrobení obrobku. Dochází k automatickému načítání úkonů (programových bloků) do editoru. Takto zadané úkony se vykonávají automaticky při následném spuštění CNC programu. Používá se výjimečně.
- Režim **EDITACE** programu - vlastní program pro obrábění se zapisuje přímo do editoru na stroji, nebo je „nahrán“ do řídicího systému stroje externě (z počítače, diskety, po síti). V editoru stroje se mohou programy dle potřeby opravovat.
- Režim **DIAGNOSTIKY** - oznamuje, lokalizuje, diagnostikuje závadu pro rychlé odstranění. Umožňuje i dálkový servis.[6]

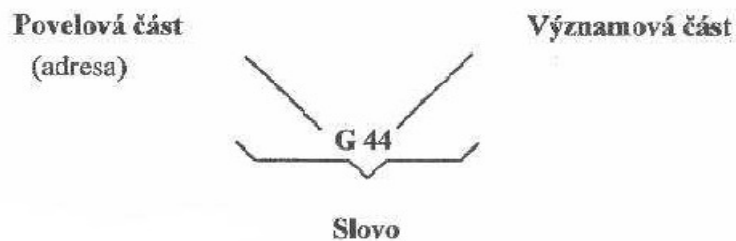
3.4 Programování NC obráběcích strojů

Programování NC strojů je náročná a vysoce kvalifikovaná činnost, která je zařazována do oblasti technické přípravy výroby. Vyžaduje nejen praktické znalosti technologie obrábění, zejména z oblasti navrhování technologických postupů a posloupností úkonů v jednotlivých operacích, ale i volby optimálních řezných nástrojů, navrhování řezných parametrů atd. Od úrovně znalostí a schopností jejich aplikace je závislá efektivnost a využití NC strojů. Kvalita řídicích programů je ovlivňována stupněm znalostí programátora funkce jím programovaných NC strojů a jejich řídicích systémů. Se zvyšující se technickou úrovní a složitostí techniky se zvyšují adekvátně i nároky na kvalifikaci a úroveň znalostí programátora. Vysoká náročnost a složitost řídicích programů pro souvislé řídicí systémy kde u NC strojů je nutné předpokládat i více současně řízených souřadných os, stále více vyžaduje soustředěnost práce programátora, spojenou se značným rizikem výskytu chyb. Proto byla zaměřena pozornost na možnost tvorby řídicích programů zejména pro CNC obráběcí stroje v prostředí CAD/CAM, které se vyznačuje plnou možností návaznosti tvorby CNC programu ze zadaného výkresu součástí. [1]

3.4.1 Struktura programu

Řídicí program NC stroje je soubor vyčerpávajících, číselně vyjádřených informací o činnosti NC stroje, uložených na nositeli informací, ze kterého jsou postupně tyto informace předávány stroji v průběhu operace. K zápisu programu se volí znaky

srozumitelné člověku a tyto se řadí do jednotlivých slov; ucelené informace o jedné požadované činnosti tvoří blok a posloupnost bloků tvoří řídicí program. [1].



Obr. 26. Struktura programového slova [1]

Blok je složen z těchto znaků a slov: - číslo bloku, - informační slova, - konec bloku, - posuvová funkce, - funkce ovládající rychlost otáčení vřetena, - funkce nástroje, - pomocné funkce.

Důvody zavádění offline programování s orientací na CAD/CAM jsou:

- a) Programování NC strojů je náročná a vysoce kvalifikovaná činnost v TPV.
- b) Vyžaduje praktické znalosti technologie obrábění, zejména v oblasti navrhování technologických postupů.
- c) Se zvyšující se technickou náročností a složitostí techniky se zvyšují i nároky na kvalifikaci a úroveň znalostí programátora, spojené se značným rizikem výskytu chyb.
- d) Orientace na možnost tvorby řídicích programů zejména pro CNC obráběcí stroje v prostředí CAD/CAM, které je charakteristické plnou návazností na tvorbu CNC programů ze zadaného výkresu součásti v CAD nebo objemovém modeláři.

Tímto postupem je možné řešit problémy tvorby řídicích programů ve formě počítačového přístupu k modelování složitých tvarů a následné generování řídicích programů pro obráběcí stroj. [2]

4 TECHNOLOGIE VÝROBY MODELŮ

Modelová zařízení nám slouží k výrobě odlitků ve slévárnách. Vnější tvar modelu odpovídá tvaru budoucího odlitku, ale jeho rozměry musí být větší o smrštění kovu. Přepočítávání rozměrů modelu a odlitku usnadňují smršťovací měřítka pro různé druhy materiálu. Model je použit k zaformování do pískových směsí. Ty poté ztuhnou a model je vyjmut. Do vzniklé pískové dutiny se nalije tekutý kov. Tvar odlitku většinou vyžaduje vyrobít model dělený, aby se dal vyjmout z formy. V dělicí rovině bývá spojen rozebíratelným spojem (kolíčky a pouzdra). Otvor v odlitku vyžaduje provést na modelu takzvané známky. Známky vyformují v dutině formy lůžka pro uložení jádra, které vytvoří v odlitku dutinu. Podle odlévaného materiálu je určena technologie výroby modelu, to znamená, že jsou zde patrné technologické rozdíly při výrobě modelového zařízení pro slévárnu produkující hliníkové odlitky, odlitky z šedé, tvárné a temperované litiny, nebo ocelolitiny. Dále má produkce modelů rozdílná řešení při kusové, sériové či hromadné výrobě.

4.1 Slévárství a modelářství

Výroba modelových zařízení je historicky spjata s prvopočátky slévárství samého. Od první chvíle, kdy před několika tisíci lety začal náš prapředek odlévat své první jednoduché předměty z železných kovů, které mu zjednodušily jeho tvrdý život, byla nutná výroba modelů. Archeologicky dochované nálezy ukazují použití jednoduchých modelů tvořených za použití dosažitelných přírodních materiálů (hlína, sláma, včelí vosk, dřevo). Postupujícím myšlenkovým rozvojem a následným technologickým pokrokem rostla náročnost a provedení modelů. Přes několik vývojových etap získával člověk další a další zkušenosti s novými materiály. Technický rozvoj, který se nejvíce prosadil v několika posledních stoletích, ze slévárství a modelářství udělal samostatné obory. Málokdo z nás se zamyslí nad tím, kolik předmětů spojených se slévárstvím nás každodenně obklopuje. Bez odlitku by nevznikl automobil ani jiný dopravní prostředek. Odlitkem může být klika ke dveřím, příborový nůž, litinový hrnec. Některé odlitky samozřejmě nevidíme, ale slouží k tomu, aby vytvarovaly plášť kávovaru, jsou formou na pneumatiky. Obří odlitky se skrývají uvnitř elektráren, jsou v motorech zaoceánských parníků, nebo

jsou to konstrukční prvky mostů či elektrocentrály pro výrobu elektrického proudu po celém světě.

Model je nástroj pro výrobu netrvalé slévárenské formy. Modely mohou být:

- trvalý (umožňuje vícenásobné použití, vyrábí se ze dřeva, kovu, plastů, pryskyřice apod.), dělený – dělený na dvě a více částí z důvodu snadného vyjmutí z formy, nedělený – u jednoduchých tvarů,
- netrvalý – určen pro jedno použití, zůstává ve formě a při odlévání se zničí spalitelný, vypařitelný (polystyren), vytavitelný (vosk).

Jaderník – nástroj pro vyrobení jádra.

4.2 Materiály a způsob výroby modelů

Dřevo

Dřevo je nejstarším a dodnes nejpoužívanějším modelovým materiálem pro jeho přijatelnou cenu, lehkou obrobitelnost, snadně spojovatelnou. Nevýhodou je jeho nehomogenost, růstové vady, malá odolnost proti opotřebení, navlhání (změny rozměrů, praskání). Povrch modelu ze dřeva se chrání před abrazí formovacích materiálů nátěrovými hmotami. Pro výrobu modelu se používá překližky, laťovky a sušený zralý masiv (smrk, borovice, olše, javor, buk). Model se vyrábí strojním opracováním (pila, soustruh, frézka, vrtačka, bruska) a ručním opracováním (pilník, řezák, škrabák).

Kov a jeho slitiny

Má v porovnání se dřevem řadu výhod. Je to především větší životnost modelu, daná větší tvrdostí a větší odolností proti opotřebení a větší stálost rozměrů. Tyto modely jsou však materiálově dražší a mají horší obrobitelnost, proto je jejich výroba nákladnější. Používané materiály hliník, mosaz, bronz, oceli a šedá litina.

Keramické materiály

Nejvíce se používá sádra, protože má dobrou slévatelnost za studena, schopnost rychlého tuhnutí, stálost rozměrů a dobrou opracovatelnost. Životnost je však v porovnání s dřevěnými a kovovými modely značně nižší. Často je používána pro netrvalé modely. Výchozí surovinou pro výrobu sádry je nerost sádrovec (dihydrát síranu vápenatého $\text{Ca-O}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$). Pálením v rotačních pecích při teplotě 150-180 °C přechází sádrovec - dihydrát

na polohydrát (sádra). Po umletí a vyčištění se třídí podle budoucího použití (sádra stavební, štukatéřská, modelářská apod.). Sádra se připravuje tak, že do vhodné nádoby se nalije voda a do ní se pomalu vsypává prášková sádra. Veškerá sádra se nechá řádně provlhnout a poté se míchá. Při rozdělování sádry lze přimístit i různé látky zpomalovače tuhnutí. Hotové sádrové výrobky se nechávají sušit buď volně, nebo v sušárnách při maximální teplotě 50 - 55 °C. Čerstvá vlhká sádrová forma sice snese teplotu i vyšší, ale po vysušení by se zvýšením teploty nad uvedenou mez sádra spálila a došlo by k destrukci formy. Při sušení nesmí dojít ani k prudkým změnám teploty, které by též způsobily rozpraskání modelu.

Plasty

Mají řadu výhod, jako například lehká opracovatelnost, rozměrová stálost, dobrá odolnost proti otěru. Používají se jak termoplasty, tak reaktoplasty, a to přímým odléváním do forem. Ke zvýšení jejich odolnosti proti otěru a pro zlepšení mechanických vlastností se do tekutých směsí přidávají různá plniva (křemičitý písek apod.). Epoxidové pryskyřice jsou dvousložkové syntetické hmoty, které se používají ke zhotovování rozmnožovacích zařízení, popřípadě k napouštění hlavních forem a rozmnožovacích zařízení. Některé druhy se vyznačují vysokou tvrdostí, pevností a mechanickou odolností, jiné naopak vynikají svojí elasticitou. V modelářské praxi se používají tyto materiály a můžeme je rozdělit do několika skupin: - povrchové pryskyřice, - laminační pryskyřice, - laminační pasty, - pryskyřice k modelování, - pryskyřice k odlévání, - rychle tuhnoucí pryskyřice, - polyuretanové pryskyřice, - silikonkaučuky. Pro zvýšení mechanické odolnosti formy lze mezi jednotlivé vrstvy pasty vkládat řídkou tkaninu (gázu, silonové pletivo). Tloušťka síly formy se pohybuje od 5 - 8 mm u menších forem, do 1 cm u forem větších. Pokud má být následný odlitek hladký a lesklý, doporučuje se model opatřit nátěrem a následně vyleštit povrch voskovou pastou. Pro snadné oddělení kaučukové formy od modelu je možné potřít povrch modelu separačním prostředkem. Při mechanickém poškození (natržení) formy ji lze slepit.

4.3 Moderní metody výroby modelů a prototypů

Tradiční zpracování kovů a plastů se neobejde bez výroby nástrojů, forem a řady speciálních jedno- i víceúčelových strojů na pořízení velkých sérií výrobků v nejkratším

čase. Pro malé série nebo jednotlivé prototypy se často nevyplácí ani výroba nástroje a ani pracovní čas není mnohdy efektivně využit. Proto vznikly technologie, jako Rapid Prototyping (RP) a Rapid Tooling (RT), které z konstrukčních dat CAD programů převádí procesem SFF (Solid Freeform Fabrication) data přímo do trojrozměrných objektů. Podstatou SFF je rozložení 2D a 3D modelů z CAD do řezů a vytvoření 3D objektů vrstvením různými technikami. Zpracování dat do 3D tisku umožnily především nové výkonné a rychlé počítače, vývoj softwaru, skenerů a tomografie s vysokou rozlišovací schopností. Vývoj laserové techniky přispěl nejen pro vlastní nanášení vrstev, ale i pro vrtání mikronových otvorů do tiskových hlav, které dávkuje inkousty v pikolitrových ($1 \text{ pl} = 10^{-12} \text{ l}$) kapkách. Často se zapomíná na to, že 3D tisk by nebyl možný bez vývoje a výroby inkoustů obsahujících pojiva, bez pigmentů, kovových a keramických prášků s částicemi submikronové až nanometrové velikosti, které jsou srovnatelné s částicemi v cigaretovém dýmu. Ovšem nebylo by to možné ani bez vhodných plastů různých typů a forem.

LIGA

Zřejmě nejstaršími technikami jsou optická, UV a rentgenová litografie. Nejdříve se uplatnily v mikroelektronice s požadavkem stále větší hustoty integrace elektronických prvků v integrovaných obvodech ve výrobě čipů na křemíkových destičkách. Proces využívá rentgenového ozáření pevného polymeru citlivého na záření přes masku s požadovaným 2D obrazem. V místech ozáření dojde v polymeru absorpcí záření ke změně struktury, která se následně selektivně hloubkově odleptá mokrou cestou. Takto vzniklý 3D objekt se galvanoplasticky zaplní kovem (zlato, měď, nikl nebo slitina Ni-Fe) a zbývající polymer se odstraní. Vzniká tak 3D model, který lze použít k výrobě forem nebo jader pro vstřikování funkčních dílů z plastů, z kovových prášků, nebo prášků z keramiky. Předností technologie LIGA jsou jakostní svislé povrchy (R_a do $0,05 \mu\text{m}$) o výšce do 3 mm a malé boční vzdálenosti mezi tvary až $0,2 \mu\text{m}$. Vyrábí se tak nejen mikroelektronické komponenty, ale i díly pro mikrotechniku, jako různé snímače, např. známé snímače pro biometrickou identifikaci a digitální snímání otisků prstů. Právě výroba mikrotechnických strojních dílů má charakter RP, i když finální výrobek se často neobejde bez dalších technik, jako je lepení a mikroobrábění.

Stereolitografie a Rapid Prototyping

Ve stereolitografii využívající technologii 3D systém se laserem a skenerem vytvrzuje použitý polymer na tvarově složité prostorové díly. To se provádí po vrstvách v nádobě s kapalným fotopolymerem, práškovým polymerem (nejčastěji polyamid 6.6) nebo reaktoplastem (epoxid). Stereolitografie se úspěšně používá k výrobě modelů pro výrobu forem, jader a jaderníků ve slévárenství a vložek nástrojů z oteřuvzdorné SiC keramiky infiltrované křemíkem Si/SiC. Tyto formy mají vysokou životnost a používají se především pro zpracování plastů s vyztužením pomocí skleněných vláken. Nevýhodou je jak drahé zařízení, tak velmi nákladné materiály a použití pomocných médií náročných na likvidaci.

Selektivní laserové slinování

Zařízení dosahují velikosti skříně a stále se zmenšují. I když technika SLS nepatří k nejlevnějším, je velmi přesná. V technologii 3D systém se zařízením, vybaveném CO₂ laserem o výkonu 25 nebo 100 kW, natavují a slinují zrna keramického, kovového, plastového nebo elastomerového prášku po vrstvách. Vše se děje na základě připravených dat z CAD systému. Přitom vzniká slinutý pevný a přesný 3D objekt (30 x 320 x 445 mm). Tvarem a povrchem jsou díly blízké požadavkům hotového funkčního výrobku s případnou úpravou lakováním, povlakováním nebo pokovením. Porézní kovové SLS skořepiny lze ještě při vyšších teplotách infiltrovat různými kovy (zvýšení hustoty). Proces SLS se využívá při výrobě prototypů, vložek nástrojů, slévárenských forem a jader pro lití do písku. Do dělených skořepin lze odlévat voskové modely, případně cestou SLS modelu vyrobit silikonové formy, do nichž lze voskové modely pro přesné lití metodou vytavitelného modelu rovněž odlévat. [7]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POPIS VÝROBY MODELŮ

Abychom mohli vyrobit formu pro výrobu pneumatik, musíme nejdříve zhotovit modely.



Obr. 27. Segmenty formy

Pro výrobu modelů se nejčastěji používá materiál NECURON 651. Model se vyrábí frézováním na CNC obráběcích strojích.

Technický popis materiálu NECURON 651

Deskový nebo blokový materiál s velmi jemnou strukturou, hladkým povrchem, vhodný k lakování a s velmi dobrou obrobiteľnosťí.

Součinitel tepelné roztažnosti: $52 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Teplotní stálost: 70°C

Tvrdość Shore D: 68

Pevnosť v tlaku: 26 N/mm^2

Pevnosť v ohybu: 30 N/mm^2

Hustota: $0,7 \text{ g/cm}^3$

Použití: hlavní modely, kopírovací modely, modely pro měření objemu, pracovní modely.

Spojení: stříkací tmely, nebo vhodné pryskyřice. Nástroje na opracování: dřevobráběcí nebo kovobráběcí nástroje. Obsahuje nehalové prvky, změkčovadla, rozpouštědla. Je vyráběn z volného fluorocarbodehydrátu. Je fyziologicky neškodný. Tento materiál neobsahuje žádné složky, které uvolňují škodlivý prach. Ovšem obsah prachu ve vzduchu by neměl překročit 6 mg/m^3 .

Specifika obrábění plastů:

Druhy nástrojů a obráběcí stroje jsou stejné jako při obrábění kovů nebo dřeva. Při volbě geometrie břitu nástroje a řezných podmínek je nutné vzít v úvahu specifické vlastnosti plastů a podle toho volit zejména úhel čela, úhel sklonu ostří, úhel hřbetu, řeznou rychlost, posuv a hloubka řezu.

Zde jsou uvedeny speciální vlastnosti plastů s ohledem na operace obrábění. Oproti obrábění kovů se jedná o tyto odlišnosti:

- větší tepelná roztažnost plastů způsobuje změnu rozměrů obráběné součásti při obrábění,
- malá tepelná vodivost způsobuje větší tepelné zatížení břitu nástroje, a tím i jeho intenzivnější opotřebení (možnost vzniku lavinovitého opotřebení),
- některé plasty mají velkou adhezi (přilnavost) k materiálu břitu nástroje, proto při optimálních řezných podmínkách dochází k opotřebení břitu nástroje především adhezním otěrem,
- při obrábění vyztužených plastů dochází k opotřebení břitu nástroje především abrazivním otěrem,
- menší hodnoty měrných řezných odporů plastů umožňují volit větší úhel čela a větší úhel hřbetu,
- u vyztužených plastů je měrný řezný odpor shodný s hodnotami udávanými u ocelí střední pevnosti ($R_m = 600$ až 700 MPa),
- tvoření třísky je ovlivněno strukturou materiálu,
- u nevyztužených plastů se třísky tvoří principem plastické deformace, tedy obdobným způsobem jako u ocelí,
- u vyztužených plastů dochází k tvoření třísky křehkým lomem nebo štěpením, obdobně jako u litiny,
- tvoření třísky ovlivňuje volbu optimálních řezných podmínek, geometrie břitu a pracovního prostředí (chlazení),
- anizotropní plasty jsou v některých směrech špatně obrobitelné a dochází k vyštipování materiálu, zejména na hranách obrobku,

- různé druhy plastů se při vyšších teplotách chovají různě: termoplasty měknou, reaktoplasty uhelnatí,
- ve styku s chladicími kapalinami může u některých druhů plastů dojít k bobtnání nebo k chemickému narušení povrchu součásti,
- pro zajištění vysoké řezivosti musí být všechny řezné nástroje dokonale naostřeny, případně je nutné čelo a hřbet břitu nástroje lapovat. [8]

Tab. 3. Řezné podmínky pro obrábění reaktoplastů [8]

Operace	Nástroj	Řezná rychlost	Posuv
Soustružení	RO	100 až 120 m.min ⁻¹	max. 0,6 mm na ot.
Soustružení	SK	160 až 200 m.min ⁻¹	max. 0,3 mm na ot.
Frézování	RO	50 až 160 m.min ⁻¹	0,2 až 0,5 mm na zub
Frézování	SK	200 až 800 m.min ⁻¹	0,04 až 0,6 mm na zub
Vrtání	RO	40 až 60 m.min ⁻¹	max. 0,5 mm na ot.
Vrtání	SK	80 až 140 m.min ⁻¹	max. 0,5 mm na ot.
Řezání	Kotoučová pila	250 až 350 m.min ⁻¹	
Řezání	Pásová pila	150 až 180 m.min ⁻¹	
Broušení	Bez chlazení	10 až 18 m.s ⁻¹	
Broušení	S chlazením	14 až 22 m.s ⁻¹	

RO – nástroj s břity z rychlořezné oceli.

SK – nástroj s břity ze slinutých karbidů.

Při obrábění reaktoplastů se používá chlazení tlakovým vzduchem, výjimečně emulzí. Při obrábění aminoplastů je chlazení nezbytně nutné, aby teplem vznikajícím při obrábění nenastal rozklad pryskyřice.

Zásady bezpečnosti práce při obrábění plastů:

- při obrábění fluoroplastů (např. teflonu, teflexu) nesmí třísky ani obráběný polotovár přijít do styku s teplotou vyšší než 400°C, třísky se nesmí směšovat s ocelovým odpadem,
- při obrábění musí být třísky nebo vzniklý prach odsávány nebo odstraňovány chladícím médiem, aby se zabránilo vzniku požáru; na pracovišti, kde se obrábí plasty, je zakázáno kouřit,

- při broušení materiálů obsahujících sklo je nutné, aby obsluha používala ochrannou masku s filtrem, který zachytí i nejjemnější částičky prachu. Obsluha si musí chránit pokožku mastí určenou pro použití v prašném prostředí. [8]

Výroba modelů se dělí do jednotlivých kroků.

5.1 Příprava polotovaru modelu

Hrubování polotovaru na stroji FIDIA D 218 by bylo vzhledem ke konstrukci a technickým parametrům stroje velmi neproduktivní. Proto je nutné polotovar vyhrubovat na jiném stroji.



Obr. 28. CNC frézka Deckel

Technické parametry stroje:

Vřeteno:	maximální otáčky...	18 000 ot/min
Pracovní rozsah os:	x...	550 mm
	y...	550 mm
	z...	200 mm

5.1.1 Frézování upínací části polotovaru modelu

Materiál Necuron 651 je dovezen na paletách ve tvaru desek o rozměrech: šířka 350 mm, výška 150 mm, délka 1 200 mm. Na délce 1 200 mm se desky rozměří pomocí svinovacího metru a orýsují tužkou. Poté se na pásové pile nařežou na požadovanou šířku jednotlivých segmentů (příklad rozměrů polotovarů 350 x 120 x 200, 250,270,300 atd. dle výkresu).

Orýsuje se rádius a klíny pomocí šablony a tužky. Orýsovaný tvar, který slouží pro upnutí do přípravku se vyřeže.

K frézování zadní plochy a drážky, je použit stroj Deckel DMG pětiosá CNC obráběcí frézka. Připravený polotovar se upne do přípravku. Frézuje se zadní plocha (fréza čelní válcová s VBD Ø 80 mm). Frézují se drážky šířky 14 mm (fréza stopková válcová Ø 10 mm).



Obr. 29. Zadní plocha s drážky

5.1.2 Hrubování základního tvaru modelu

Polotovar s ofrézovanou zadní plochou a drážky upnu na upínací desku stolu frézky pomocí upínek a šroubů. Drážky nám slouží pro přesné upnutí na pero přípravku při opakovaném upínání. Hrubuji základní tvar modelu. Při hrubování polotovaru volím strategii odebrání materiálu na jednu hloubku. Polotovar je vysoký 130 mm musím dosáhnout výšky 110 + 3 mm přídavek na dokončení. Polotovar má rádius R 500 hrubuji polotovar pro různé radiusy 250 – 400. Rádius je ovlivněn rozměrem pláště. Příklad: rozměr 185/60 R14. Popis: 185 = šířka, 60 = poměr výška (výška profilu činí 60 % šířky), pokud tento údaj není uveden (například 155 R 13), jedná se o „normální“ poměr výšky a

šířky, který je u radiálních pneumatik 82 %, R = radiální provedení, 14 = průměr ráfku v palcích.

Navrhuji dva různé způsoby hrubování základního tvaru:

A) Frézování v pěti osách válcovou čelní frézou

Výběr nástroje [9]

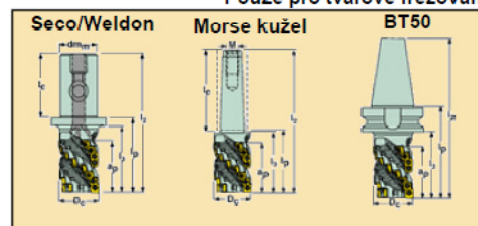
Frézování / Frézy se zuby ve šroubovici



215.59-12.XK



Pouze pro tvarové frézování



Objednací číslo	Rozměry v mm									Počet řezných drážek	Zc*	KG	Typ upínací stopky	Počet břitových destiček		
	Dc	dm	l2	lp	l3	lc	ap	M	SCE.					ACE.		
R215.59-4050.3S-063-12.3K	50	40	160	90	78	70	63	-		3	3	1,4	8300	Seco/Weldon	15	3
R215.59-0550.2-063-12.3K	50	-	219	90	90	136	63	M20		3	3	1,9	8300	Morse No. 5	15	3
R215.59-BT50050072-12.3K	50	-	247	145	103	-	72	-		3	3	4,5	8300	BT 50	18	3
R215.59-BT50063110-12.3K	63	-	282	180	138	-	110	-		3	3	4,7	7400	BT 50	30	3
R215.59-BT50080120-12.4K	80	-	292	190	148	-	120	-		4	4	7,8	6500	BT 50	44	4

Volím nástroj R215.59-4050.3S-063-12.3K .

Pro volbu vyměnitelné břitové destičky a řezných podmínek využiji volně dostupný program SECO CUT. SECO CUT je software, který obsahuje doporučená řezná data (posuv, otáčky, kroučící moment, příkon), snadno použitelné grafické vyhledání nástroje, volbu vyměnitelné břitové destičky, knihovnu materiálu obrobku, výpočet kruhové interpolace, výpočet povrchu, možnost tisku. [10]

Seco řezné podmínky Frézování: [10]

Vstupní data:

Fréza:	R215.59-05050.059-12.4
Destička:	ACET150630TR-M14
Pracovní průměr:	50,0
K-hodnota:	2
Počet destiček:	14
Hloubka řezu:	25,0
Šířka řezu:	25,0
Materiálová skupina:	16 (Neželezné slitiny, hliník, mosaz, zinek, hořčík)

Doporučení:

Posuv/zub (mm/zub):	0,20
Řezná rychlost (m/min):	774
Posuv (mm/min):	2013
otáčky za min:	4930
Příkon (kW):	26



Obr. 30. Vyhrubovaný model

B) Frézování ve třech osách rádiusovou frézou

Výběr nástroje [9]

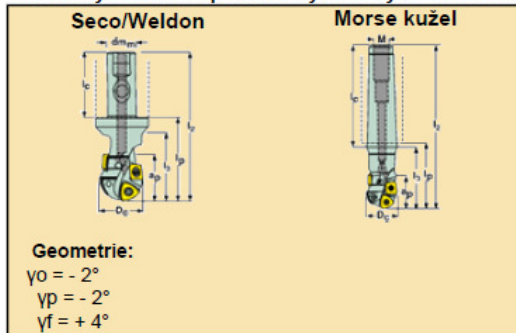
Frézování / Kopirovací frézy



218.19-40/50



90° frézy s čelními půkruhovými břity Ø 40-50 mm



Objednací číslo	Rozměry v mm										Typ upinací stopky	Břítová destička () = počet břitových destiček	
	Dc	dm	l2	lp	l3	M	ap	Zc*	KG	kg		218.19	SCE
R218.19-3240.3S-56.105HA	40	32	164,5	105	95	-	56	1	0,9	10400	Seco/Weldon	-200(2)	...(4)
R218.19-3250.3S-52.090HA	50	32	149,5	90	80	-	52	1	1,6	9200	Seco/Weldon	-200(4)	...(3)
R218.19-0440.2-56.090H	40	-	192	90	90	M16	56	1	1,3	10400	Morse No.4	-200(2)	...(4)
R218.19-0550.2-79.115H	50	-	244	115	115	M20	79	1	2,4	9200	Morse No.5	-200(4)	...(6)

* Efektivní počet zubů

Volím nástroj R218.19-3250.3S-52.090HA Seco/Weldon.

Seco řezné podmínky frézování: [10]

Vstupní data:

Fréza:	R218.19-3250.3S-52.090HA
Destička:	218.19-E-H25
Pracovní průměr:	32,0
K-hodnota:	2
Počet destiček:	4
Hloubka řezu:	25,0
Šířka řezu:	16,0
Materiálová skupina:	16

Doporučení:

Posuv/zub (mm/zub):	0,20
Řezná rychlost (m/min):	779
Posuv (mm/min):	3 165
otáčky za min.:	7 750
Příkon (kW):	9,6

Vyhodnocení produktivity pomocí objemu odebraného materiálu:

$$Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f}{1000} [cm^3 \cdot min^{-1}]$$

Způsob:

$$A) \quad Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f}{1000} = \frac{25 \cdot 25 \cdot 2013}{1000} = 1258 [cm^3 \cdot min^{-1}]$$

$$B) \quad Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f}{1000} = \frac{16 \cdot 25 \cdot 3165}{1000} = 1266 [cm^3 \cdot min^{-1}]$$

Tab. 4. Vyhodnocení hrubování základního tvaru modelu

Způsob	Šířka řezu a_e (mm)	Posuv/zub f_z	Posuv v_f (mm/min)	Otáčky za minutu	Příkon (kW)	Objem (cm^3/min)
A	25	0,2	2013	4930	26	1258
B	16	0,2	3165	7750	9,6	1266

U obou způsobů byla zvolena strategie frézování řádkováním, kde se střídalo frézování sousledné a nesousledné. Oba způsoby jsou pro potřeby hrubování vyhovující. U obou případů jsme si mohli dovolit zvýšení otáček i posuvů pomocí procentuálního ovladače o 10 %. Pro další zvyšování otáček se musí brát ohled na doporučení výrobce nástroje maximálních dovolených otáček 8 300 ot/min u způsobu A, 9 200 ot/min u způsobu B.

Způsob B využijeme na tříosé frézce.

Protože máme k dispozici pětiosou frézku, navrhuji využít způsobu A, tedy válcovou čelní frézu o průměr 50 mm.

5.2 Frézování modelu

Frézování modelu se provede na vysokorychlostním CNC obráběcím stroji Fidia D 218, řízen v pěti osách. U tohoto stroje je obrobek upnut na pevném stole a pohyby v ose X, Y, Z, B, C jsou vykonávány nástrojem.



Obr. 31. CNC obráběcí stroj FIDIA D 218 [11]

Technické parametry:

Frézovací hlava:

- vysokorychlostní vřeteno pro nástrojový držák HSK 50E,
- výkon 17 kW,
- maximální otáčky 60 000 ot/min

Vřetena jsou vybavena keramickým kuličkovým ložiskem a jsou chlazena oběhem chladiva v řízené teplotě.

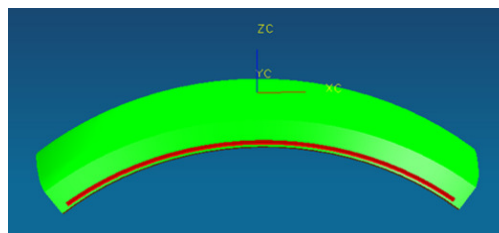
Rozsah os: x... 2000 mm, y... 1000 mm, z...800 mm.

Rychlost os: 20 m/min

Zásobník nástrojů: ... 20 – 42 pozic. [11]

5.2.1 Frézování základního tvaru

Základní tvar nazýváme povrch modelu, který nám určuje obvodový tvar profilu pláště (například 165/70R13, 205/30ZR20).



Obr. 32. Základní tvar

Navrhuji dva způsoby:

A) Frézování ve třech osách rádiusovou frézou

Výběr nástroje [9]

Kopírovací frézy

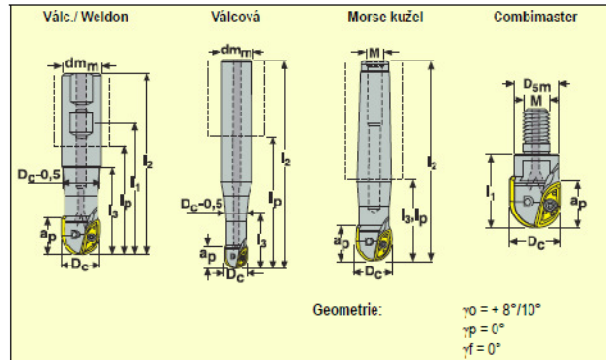


218.20

90° frézy s čelními půlkruhovými břity Ø 16-20 mm



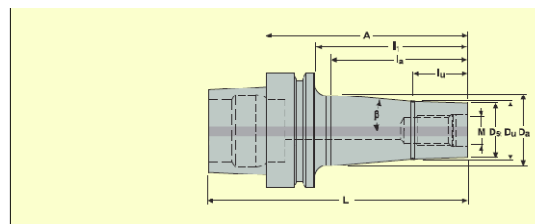
- Výběr břitových destiček a doporučené řezné podmínky, viz str. 464.
- Kompletní program břitových destiček viz str. 493.



Objednací číslo	Rozměry v mm								z _c *	KG		Typ upínací stopky	Břitová destička () = počet destiček 218.20
	D _c	dm _m	l ₁	l ₂	l _p	l ₃	M	a _p					
Krátká řezná hrana													
R218.20 -2520.3-18.070A	20	25	101	126	70	54	-	18	2	0,3	20200	Válč./Weldon	-100 (2)
R218.20 -2016.0-14.070	16	20	-	120	70	36	-	14	2	0,2	28500	Válková	-080 (2)
-1616.0-14.105E	16	16	-	165	105	50	-	14	2	0,8	28500	Válková	-080 (2)
-2520.0-18.120A	20	25	-	176	120	54	-	18	2	0,5	20200	Válková	-100 (2)
R218.20 -0216.2-14.055	16	-	-	118,5	55	38	M10	14	2	0,1	28500	Morse č.2	-080 (2)
-0320.2-18.070	20	-	-	150,5	70	64	M12	18	2	0,3	20200	Morse č.3	100 (2)
R218.20 -1016.RE-14A	16	-	28	-	-	-	M10	14	2	0,1	28500	Combimaster**	-080 (2)
-0816.RE-14	16	-	23	-	-	-	M08	14	2	0,1	28500	Combimaster**	-080 (2)
-1220.RE-16A	20	-	35	-	-	-	M12	18	2	0,1	20200	Combimaster**	-100 (2)

Volím nástroj R218.20-1016.RE-14A, Combimaster.

Pro upnutí navrhuji upínací trn Combimaster HSK-E50.



Obr. 33. Upínací trn Combimaster

HSK-E50 [9]

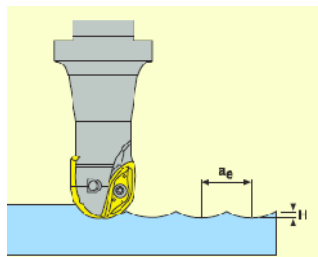
Břitová destička pro materiálovou skupinu SECO číslo 16, operace polodokončování:

218.20-080ER-ME04-F40M.

Výpočet řezných podmínek Seco:

Doporučující řezné rychlosti jsou určeny pro celou šířku záběru. Pokud není fréza plně v záběru, pak posuv na zub a řezná rychlost by měly být zvýšeny adekvátně k doporučení pro frézu zabírající celou šířkou. Je to z důvodů, aby se tloušťka třísky a pracovní teplota v místě řezu udržely na stejné hodnotě jako při plném záběru. Vydělil jsem radiální hloubku řezu průměrem frézy, abych získal koeficient skutečného záběru frézy (a_e/D_C v % pro frézy s čelními půlkruhovými břity). Dle procentového koeficientu jsem vypočítal doporučený správný posuv na zub a doporučenou řeznou rychlost pro skutečný záběr frézy. Při výpočtu posuvu na otáčku a rychlosti posuvu pro frézy s čelními půlkruhovými břity jsem použil hodnotu z_c . To znamená, že pro výpočet řezných podmínek jsem použil ekvivalentní počet zubů. Při výpočtu otáček pro frézy s čelními půlkruhovými břity se musí použít pracovní průměr. Pro výpočet pracovního průměru D_w jsem použil kompenzační faktory z tabulky převodu řezných podmínek.

Pro výpočet předpokládané jakosti povrchu při obrábění jsem použil hodnotu výšky profilu (H) z tabulky pro převod řezných podmínek $R_a = H \times 0,25$.



Obr. 34. Výška profilu H

Tabulka řezných podmínek kopírovací frézy 218.20 [9]

Řezné podmínky

Hloubka řezu a_p mm	Pracovní průměr D_w	Hrubování				Plný záběr 100%	Hloubka řezu a_p mm	Pracovní průměr D_w	Polodokončování			
		a_e/D_C			Výška profilu, I mm				a_e/D_C			
		15%	20%	25%					8%	10%	12%	15%
		0,10	0,18	0,28					0,029	0,045	0,065	0,102
Posuv, f_z (mm/zub)					Posuv, f_z (mm/zub)							
12	D_C	0,15	0,15	0,10	0,10	3	$0,75 \times D_C$	0,35	0,35	0,30	0,25	
10		0,15	0,15	0,10		2	$0,63 \times D_C$					
7	$0,97 \times D_C$	0,20	0,20	0,20	0,15	1,5	$0,55 \times D_C$	0,45	0,40	0,35	0,35	
6	$0,90 \times D_C$					1	$0,46 \times D_C$					
3	$0,75 \times D_C$					0,5	$0,33 \times D_C$					
Faktor řezné rychlosti		1,40	1,35	1,30	1,00	Faktor řezné rychlosti		1,40	1,35	1,35	1,30	

Snižte f_z o 30 % pro materiálovou skupinu č. 7. I hodnotu řezné rychlosti vynásobte faktorem řezné rychlosti.

Řezné podmínky – Plná šířka záběru

Materiálová skupina Seco č.	Hrubování					Polodokonšování			
	Třídy					Třídy			
	F25M	F40M	T350M			F25M	F40M	T350M	
	Řezná rychlost, v_c (m/min)					Řezná rychlost, v_c (m/min)			
1	315	285	330			325	295	340	
2	280	255	295			290	260	300	
3	230	210	240			235	215	250	
4	210	190	220			215	195	225	
5	175	160	185			180	165	190	
6	125	115	130			130	120	135	
7	40	40	45			45	40	45	
8	215	200	215			225	205	225	
9	190	170	190			195	175	195	
10	160	145	160			165	150	165	
11	125	115	125			130	120	130	
12	175	160	185			180	165	190	
13	160	145	170			165	150	175	
14	145	135	155			150	135	160	
15	120	110	125			120	110	130	
16	910	830	955			935	850	975	
17	735	670	770			755	685	790	
20	55	50	55			60	50	60	
21	35	30	35			35	35	35	
22	55	50	55			60	50	60	

Vstupní data:

Fréza: R218.20-1016.RE-14A

Destička: 218.20-080ER-ME04-F40M

Hloubka řezu a_p (mm): 3Pracovní průměr D_w (mm): $D_w = 2 \cdot \sqrt{a_p(D_c - a_p)} = 2 \cdot \sqrt{3(16 - 3)} = 12$ Šířka řezu a_e (mm): Ta je ovlivněna požadovanou výškou profilu H.

$$H = 0,029 \text{ mm} \rightarrow \frac{a_e}{D_c} = 8\% = 0,08 \Rightarrow a_e = D_c \cdot 0,08 = 16 \cdot 0,08 = 1,28 \text{ mm}$$

$$a_e = 1,28 \text{ mm}$$

Materiálová skupina: 16 (Neželezné slitiny, hliník, mosaz, zinek, hořčík)

Doporučení:

Posuv/zub (mm/zub): 0,35

Řezná rychlost (m/min): pro plnou šířku = 850 vynásobím faktorem řezné rychlosti 1,4 = 1190

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_w} = \frac{1190 \cdot 1000}{3,14 \cdot 12} = 31582 \cong \underline{\underline{31000}}$$

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 31000 \cdot 2 \cdot 0,35 = \underline{\underline{21700}}$$

Doporučený posuv je již za hranicí možností maximálního posuvu stroje, který výrobce udává 20000 mm/min. Navrhují otáčky a posuv snížit o 20 %.

Otáčky (ot/min): 24800

Posuv (mm/min): 17300

Strategii frézování volím frézování po kontuře od vnější strany v orientaci proti směru otáčení hodinových ručiček tak, aby bylo dodrženo sousledné frézování.

B) Frézování v pěti osách válcovou čelní frézou s rohovým rádiusem

Výběr nástroje [9]

TORNADO, řada výkonných povlakovaných stopkových fréz, speciálně vyvinutých pro vysokou řeznou rychlost (HSC) s rozsahem průměrů od 2 do 20 mm v různých tvarových provedeních.

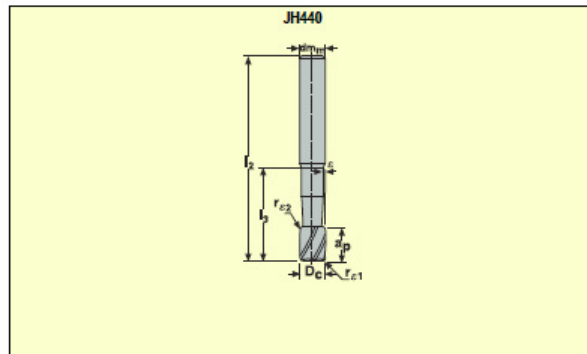
TORNADO




Monolitní karbidová fréza – rohový rádius



Tolerance:
házení = 0,01 mm
dm_m = h5
D_c = -0,02/-0,04 mm
r_{c1} = +/-0,05 mm



Typ	Objednací číslo	Rozměry v mm								Z ₁
		D _c	dm _m	l ₂	l ₃	a _p	ε	r ₁	r ₂	
3 	440060-MEGA-T	6	6	60	30	8	0,3	1,5	2	2
	440080-MEGA-T	8	8	60	30	10	0,4	2	2	2
	440100-MEGA-T	10	10	70	35	12	0,5	2,5	3	2
	440120-MEGA-T	12	12	80	40	12	0,5	3	3	2
	440160-MEGA-T	16	16	90	50	16	0,75	4	4	2

Volím nástroj JH 440160-MEGA-T, průměr - 16 mm, hloubka řezu a_p – 16 mm.

Značení katalogu SECO řada JH 440 (L) TORNADO:

- obráběný materiál: plast, měď, neželezné slitiny
- počet zubů: 2, břit až do středu
- možnosti: 3D frézování
- úhel čela: 18°

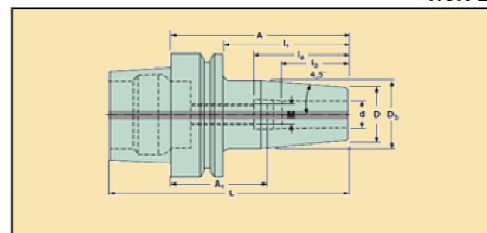
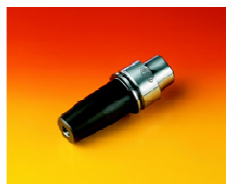
úhel stoupání šroubovice: 30°

Upnutí nástroje navrhuji do tepelného upínače. Tím získáme velkou tuhost upnutí s minimální házivostí.

Nástrojové vybavení / EPB - Držáky Monobloc HSK-E



Typ 5803 - Držáky pro tepelné upínání, typ dle DIN



HSK-E

- Házení max. 3 μm (3 μm při 3xd).

Str. 2 ze 2 Kužel	d mm	Objednací číslo	Rozměry v mm								M mm	Vyvažování	KG
			A	D	D3	L	I1	I3	I4	A1 min-max			
HSK-E50	6	E9343 5803 0680	80	21	27	105	54	26	36	34-44	M8	1	1,06
	8	E9343 5803 0880	80	21	27	105	54	26	36	34-44	M8	1	1,06
	10	E9343 5803 1085	85	24	32	110	59	31	41	34-44	M8	1	1,13
	12	E9343 5803 1290	90	24	32	115	64	34	47	43-53	M8	1	1,14
	14	E9343 5803 1490	90	27	34	115	64	34	47	43-53	M8	1	1,19
	16	E9343 5803 1695	95	27	34	120	69	38	50	45-55	M8	1	2,30
	20	E9343 5803 20100	100	33	42	125	74	42	52	48-58	M8	1	2,40

Tabulka řezných podmínek TORNADO JH 440 [9]

Seco Materiálová Skupina	Chlazení*	Kopírovací frézování dokončování			
		v_c m/min	f_z mm/zub	a_p mm	a_e mm
16	E	max.	$0,02 \times D_c$	$0,05 \times D_c$	$0,05 \times D_c$
17	E	345	$0,016 \times D_c$	$0,05 \times D_c$	$0,03 \times D_c$
Plast měkký	M	max.	$0,016 \times D_c$	$0,05 \times D_c$	$0,02 \times D_c$
Plast tvrdý	M	175	$0,015 \times D_c$	$0,04 \times D_c$	$0,02 \times D_c$
Měď	E	max.	$0,016 \times D_c$	$0,04 \times D_c$	$0,03 \times D_c$

* E = chlazení emulzí, M = chlazení olejovou mlhou, A = stlačený vzduch

Zde uvádí výrobce způsob chlazení M = olejová mlha. S tímto bych nesouhlasil z důvodu možné degradace polymerního materiálu. Navrhuji chlazení A = stlačeným vzduchem.

Doporučení:

$$\text{Posuv/zub (mm/zub):} \quad 0,015 \times D_c = 0,016 \times 16 = 0,26$$

$$\text{Řezná rychlost (m/min):} \quad 900$$

$$\text{Otáčky (ot/min):} \quad n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_w} = \frac{900 \cdot 1000}{3,14 \cdot 16} = 17906 \cong \underline{\underline{18000}}$$

$$\text{Posuv (mm/min):} \quad v_f = n \cdot z \cdot f_z = 18000 \cdot 2 \cdot 0,26 = 9360 \cong \underline{\underline{9500}}$$

Strategii frézování volím řádkování.

Vyhodnocení produktivity pomocí objemu odebraného materiálu:

$$Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f}{1000} [cm^3 \cdot min^{-1}]$$

Způsob:

$$A) \quad Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f}{1000} = \frac{1,28 \cdot 3 \cdot 17300}{1000} = 66,4 [cm^3 \cdot min^{-1}]$$

$$B) \quad Q = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f}{1000} = \frac{2,3 \cdot 3 \cdot 9500}{1000} = 65,5 [cm^3 \cdot min^{-1}]$$

Tab. 5. Vyhodnocení dokončení základního tvaru modelu

Způsob	Šířka řezu a_e (mm)	Posuv/zub f_z (mm)	Řezná rychlost v_c (m/min)	Otáčky za minutu	Posuv v_f (mm/min)	Objem (cm^3/min)
A	0,96	0,35	850	24800	17300	61,8
B	2,3	0,26	900	18000	9500	65,5

A) Při frézování ve třech osách využívám funkci pro zpevnění (uzamčení rotačních os). Tím byla zvýšena tuhost stroje a bez problémů dosahoval požadovaný posuv. Drsnost povrchu byla vyhovující našemu požadavku.

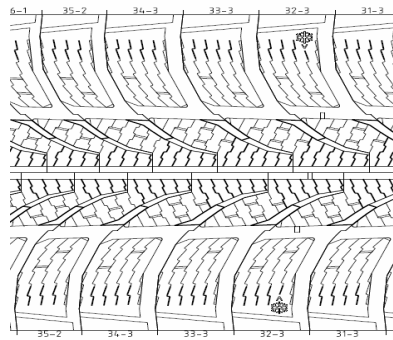
B) Při frézování v pěti osách byl problém s dosažením požadované rychlosti v krajních polohách při změně směru dráhy. Povrch v ramenní části byl nevyhovující, a proto jsem musel zmenšit šířku řezu z 2,3 na 1,8 mm. Současně se zmenšením šířky řezu jsem zvýšil řeznou rychlost (otáčky 20000ot/min, posuv 10500mm/min).

5.2.2 Frézování drážek pro lamely

Při frézování drážek pro lamely, které jsou nejčastěji široké 0,5 – 1mm a hluboké 4 – 8 mm se dostáváme do oblasti takzvaného mikrofrézování. Mikrofrézování je frézování velmi malými průměry fréz asi 0,1 – 2 mm. Délka nástroje bývá trojnásobek až dvacetinásobek průměru. Při mikrofrézování jsou kladeny velké nároky na nástroj, který bývá vyráběn z ultrajemného tvrdokovu Micro. Maximální pozornost výrobce je věnována přesnosti geometrie tvaru ostří. Přesnost průměru mikrofréz musí být pod hodnotou $\pm 0,01$ mm. Tento požadavek je vynucen nutností maximálního vyvážení nástroje pro vysoké otáčky. Zvláštní péče výrobce je pochopitelně soustředěna i na povlak. U takto malých nástrojů enormně stoupají nároky na vlastnosti povlaku (malá tloušťka, odolnost proti otěru a kvalita povrchu). Firma Fraisa nabízí mikrofrézy s povlakem Micro pro oceli kalené až na tvrdost 52 - 60 HRC. Pro obrábění grafitu jsou frézy opatřeny diamantovým povlakem.

Pro správné užívání mikrofréz, respektive dosažení požadovaného optimálního výkonu, je nutno dodržovat řadu obecných zásad. Mezi nejdůležitější patří:

- nastavit dostatečné otáčky,
- kontrolovat házivost nástroje při výměně,
- uzavřené drážky frézovat nasucho,
- intenzivně vyfukovat třísky z prostoru obrábění,
- průběžně kontrolovat opotřebení mikrofrézy,
- dodržovat doporučené řezné podmínky výrobce,
- důsledně dodržovat zásadu, neužívat zbytečně dlouhý nástroj.



Obr. 35. Lamely

Pro doporučující řezné podmínky volím nejčastěji používanou drážku pro lamely o rozměrech: šířka 0,6 mm, hloubka 4 mm.

Zkouším dva výrobce:

A) Frézování čelní vřetovinou frézou SEMACO Fraisa micro

Výběr nástroje [12]

vysocovýkonná fréza Microcut-C10
 10xd, válcová

HM Micro MX

λ 25°
 γ 6°

10xd



45°

vhodné pro zpracování:

HRC 34 - 52 **C** Grafitite **Inox** Stainless **Cu** Copper **Al** Aluminium

		povlak		druh zvlášť.		a kód			
přiklác: objednací číslo		M	5717	.050					
ø	d1	d2	d3	l1	l2	l3	α	z	
Code	=0,01	h6							
									MICRO DIAMANT
									M5717 B5717
									€ €
.050	0,5	3	0,45	40	0,6	5,0	0°	2	54,70 75,00
.060	0,6	3	0,55	40	0,7	6,0	7°	2	53,20 74,00
.080	0,8	3	0,75	40	1,0	8,0	6°	2	50,70 71,00
.100	1,0	3	0,95	50	1,2	10,0	5°	2	48,40 69,00

Řezné podmínky

5721		aplikace		d1 [mm]	z	v_e [m/min]	f_z [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	n [min ⁻¹]	v_f [mm/min]	Q [mm ³ /min]
		kalená nástrojová ocel 42 - 48 HRC 		1.0	2	120	0.010	0.02	1.0	38200	765	15.5
				1.2	2	120	0.010	0.02	1.2	31830	635	18.5
				1.5	2	120	0.015	0.03	1.5	25465	765	34.5
				2.0	2	120	0.020	0.04	2.0	19100	765	61.0
				2.5	2	120	0.025	0.05	2.5	15280	765	95.5
				3.0	2	120	0.030	0.06	3.0	12735	765	137.5

Vstupní data:

Nástroj: Microcut – C 10 průměr 0,6 mm; $l_3 = 6\text{mm}$, $a_p \text{ max} = l_2 = 0,7 \text{ mm}$.

Obráběný materiál: plast

Úhel čela: 6°

Úhel stoupání šroubovice: 25°

Doporučení:

Zde uvádí výrobce pouze doporučení pro kalenou nástrojovou ocel 42 – 48 HRC.

Volím:

Hloubka řezu a_p (mm): maximální 0,7

Otáčky (ot/min): 55 000

Posuv (mm/min): 450

Strategii frézování volím postupným zanořováním po kroku 0,7 mm šestkrát, až na hloubku 4 mm.

B) Frézování čelní válcovou frézou micro SECO, Jabro

Výběr nástroje [9]

	Tool/SMG	NÁSTROJE MICRO																
		Měkké oceli	Normální oceli	Nástrojové oceli <48HRC	Kalené oceli >48-56 HRC	Kalené oceli >56-62 HRC	Kalené oceli >62-66 HRC	Kalené oceli >66 HRC	Nerezové oceli	Chlňná sorobitěná	Šedá litina	Šedá litina	Hliník	Vysoce legované	Slitiny na bázi titanu	Grafit	Plast	Měď
Frézování drážek a do rohu	JM905/JM920	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	JM103/JM104/JM106			•	•	•	•	•			•	•						
	JM403/JM404/JM406																•	•
	JM600 / JM610																•	•
Kopírovací frézování	JM915/JM925	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	JM113/JM114/JM116			•	•	•	•	•			•	•						
	JM413/JM414/JM416																•	•
	JM650 / JM655																•	•

• První výběr
◦ Alternativa

Výrobce nástroje v katalogu a technickém průvodci SECO 2008 doporučuje pro frézování drážek v plastu nástroj typového značení JM403/JM404/JM406.

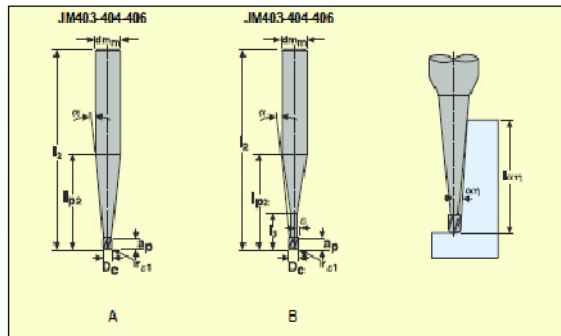
MINI



Monolitní karbidová fréza – rohový rádius MEGA-T.



Tolerance:
házení = ±0,005 mm
dm_{min} = h5
D_c < 0,6 = -0,005/-0,013, D_c ≥ 0,6 = -0,005/-0,015 mm
r_{c1} = +/-0,01 mm



Typ	Objednáací číslo	Výkres AB	Rozměry v mm										Max. hloubka řezu vzhl. k osy (l _{cut} , ref)					
			D _c	dm _{min}	l ₂	l ₃	l _{p2}	a _p	ε	r _{c1}	α	z ₀	0°	0.5°	1°	1.5°	2°	3°
JM403-404-406 MEGA-T 1	403002-MEGA-T	A	0,2	3	40	-	6	0,2	-	-	13,5°	1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
	404002-MEGA-T	A	0,2	4	40	-	7,9	0,2	-	-	14°	1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
	403003-MEGA-T	A	0,3	3	40	-	5,9	0,3	-	-	13°	1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
	404003-MEGA-T	A	0,3	4	40	-	7,8	0,3	-	-	13,5°	1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
	403004-MEGA-T	A	0,4	3	40	-	5,8	0,4	-	-	13°	1	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
	404004-MEGA-T	A	0,4	4	40	-	7,7	0,4	-	-	13,5°	1	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
	403005-MEGA-T	A	0,5	3	40	-	5,8	0,5	-	-	12,5°	1	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8
	403005R005-MEGA-T	A	0,5	3	40	-	5,8	0,5	-	0,05	12,5°	1	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
	403ML005R005-MEGA-T	B	0,5	3	40	1,5	6,7	0,5	0,025	0,05	11°	1	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,9
	404ML006R005-MEGA-T	B	0,5	4	40	1,5	8,6	0,5	0,025	0,05	12°	1	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9
	403L005R005-MEGA-T	B	0,5	3	40	2,5	7,7	0,5	0,025	0,05	9,5°	1	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,2
	403TL005R005-MEGA-T	B	0,5	3	40	3,5	8,7	0,5	0,025	0,05	8,5°	1	3,5	3,7	3,8	3,9	4,1	4,4
403XL005R005-MEGA-T	B	0,5	3	40	4	9,21	0,5	0,025	0,05	8°	1	4	4,2	4,3	4,5	4,6	5	
MEGA-T 18 22	403006-MEGA-T	A	0,6	3	40	-	5,7	0,6	-	-	12°	1	0,6	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
	403006R005-MEGA-T	A	0,6	3	40	-	5,7	0,6	-	0,05	12,5°	1	0,6	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
	403ML006R005-MEGA-T	B	0,6	3	40	2	7	0,6	0,025	0,05	10°	1	2	2,1	2,2	2,3	2,3	2,5
	404ML006R005-MEGA-T	B	0,6	4	40	2	8,9	0,6	0,025	0,05	11°	1	2	2,1	2,2	2,3	2,3	2,5
	403L006R005-MEGA-T	B	0,6	3	40	3	8	0,6	0,025	0,05	9°	1	3	3,1	3,3	3,4	3,5	3,8
	403TL006R005-MEGA-T	B	0,6	3	40	4	9	0,6	0,025	0,05	8°	1	4	4,2	4,3	4,5	4,6	5
	403XL006R005-MEGA-T	B	0,6	3	40	5	10	0,6	0,025	0,05	7°	1	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6,3

Volím nástroj MINI JM 403 XL006R005-MEGA-T, výkres B; průměr 0,6mm; l₃ = 5mm, a_p = 0,6mm.

Řezné podmínky

JM403-404-406 Monolitní frézy ostré a s rohovým rádiusem

Materiálová skupina Seco č.			Drážkování $a_e/D_c = 100\%$, $v_c = \text{max. m/min}$ nebo $\text{max. ot/min stroje}^{***}$																					
			ML			L			TL			XL			SL			XXL						
Hliník*	Měď*	Plast**	D _c	f _z	a _e	a _p	f _z	a _e	a _p	f _z	a _e	a _p	f _z	a _e	a _p	f _z	a _e	a _p	f _z	a _e	a _p			
			0,2	0,003	0,2	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			0,3	0,005	0,3	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			0,4	0,008	0,4	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			0,5	0,02	0,5	0,2	0,01	0,5	0,15	0,005	0,5	0,1	0,005	0,5	0,1	0,005	0,5	0,06	-	-	-	-	-	-
			0,6	0,02	0,6	0,2	0,01	0,6	0,15	0,005	0,6	0,1	0,005	0,6	0,1	0,005	0,6	0,06	-	-	-	-	-	-
			0,8	0,03	0,8	0,3	0,03	0,8	0,3	0,2	0,8	0,25	0,02	0,8	0,2	0,02	0,8	0,2	-	-	-	-	-	-
			1	0,04	1	0,4	0,03	1	0,4	0,03	1	0,4	0,03	1	0,35	0,03	1	0,3	0,03	1	0,3	0,02	1	0,2
			1,2	0,04	1,2	0,5	0,03	1,2	0,5	0,03	1,2	0,4	0,03	1,2	0,35	0,03	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-
			1,5	0,04	1,5	0,6	0,03	1,5	0,6	0,03	1,5	0,5	0,03	1,5	0,45	0,03	1,5	0,4	0,03	1,5	0,4	-	-	-
2	0,05	2	0,8	0,05	2	0,8	0,05	2	0,7	0,04	2	0,6	0,04	2	0,5	0,03	2	0,5	0,03	2	0,4			

* = chlazení emulzí

** = chlazení vzduchem

Vstupní data:

Nástroj: MINI JM 403 XL006R005-MEGA-T, výkres B;
průměr 0,6mm; $l_3 = 5\text{mm}$, $a_p = 0,6\text{mm}$.

Obráběný materiál: plast

Úhel čela: 18°

Úhel stoupání šroubovice: 30°

Doporučení:

Hloubka řezu a_p (mm): 0,06

Posuv/zub (mm/zub): 0,005

Otáčky (ot/min): 55 000

Posuv (mm/min): $v_f = n \cdot z \cdot f_z = 55000 \cdot 1 \cdot 0,005 = \underline{\underline{275}}$

Zde je volba řezných podmínek otázkou zkoušení dovoleného posuvu pro nástroj. Doporučení dané výrobcem pro hloubku řezu a_p je pro naše potřeby nevyhovující.

Navrhuji:

Hloubka řezu a_p (mm): maximální 0,6

Otáčky (ot/min): 55 000

Posuv (mm/min): 200

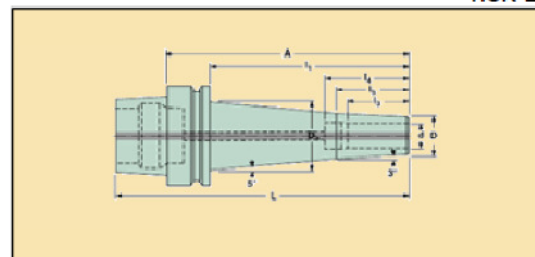
Strategii frézování volím postupným zanořováním po kroku 0,6 mm sedmkrát, až na hloubku 4 mm.

Způsob upnutí je volen do tepelného upínače HSK-E50.

Nástrojové vybavení / EPB - Držáky Monobloc HSK-E



Typ 5801 - Držáky pro tepelné upínání, typ na formy a zápustky



- Házení max. 3 μm (3 μm při 3xd).

Kuzel	d mm	Objednací číslo	Rozměry v mm								Vyvažování	
			A	D	D ₃	L	l ₁	l ₃	l ₄	l ₅		
HSK-E50	3	E9343 5801 03100	100	9	21	125	74	13		25	1	0,50
	4	F9343 5801 04100	100	10	22	125	74	15	-	25	1	0,50
	5	E9343 5801 05100	100	11	23	125	74	18	-	25	1	0,55
	6	E9343 5801 06100	100	12	23	125	74	26	40	32	1	0,55

Tab. 6. Vyhodnocení frézování drážek pro lamely

Výrobce	Hloubka řezu a _p (mm)	Počet kroků	Otáčky za minutu	Posuv v _f (mm/min)	Počet zubů
A (SEMACO)	0,7	6	55000	450	2
B (SECO)	0,6	7	55000	200	1

Při provádění zkoušek jednotlivých nástrojů byly na začátku zkoušky respektovány doporučené řezné podmínky uvedené od výrobce. V průběhu dalšího testování byly hodnoty posuvu u dalších drážek zvyšovány vždy o 10 % od původní hodnoty. Tyto zkoušky pak byly tímto způsobem prováděny až do zlomení daného nástroje. Nástroj A byl

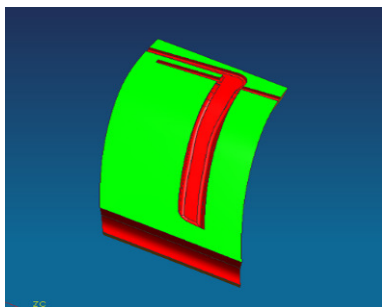
zlomen při navýšení doporučené hodnoty o 20 %, respektive při hodnotě 540 mm/min. Nástroj B byl zlomen při navýšení doporučené hodnoty o 70 %, respektive při hodnotě 340 mm/min.

V průběhu jednotlivých zkoušek byly vždy jednotlivé drážky kontrolovány z hlediska šířky a tvaru drážky. U nástroje A byla vyhovující drážka při zvýšení hodnoty o 10% od doporučené hodnoty, respektive při hodnotě 495 mm/min. U nástroje B byla vyhovující drážka při zvýšení hodnoty o 50 % od doporučené hodnoty, respektive při hodnotě 300 mm/min. Při dalším navýšení hodnot byly drážky široké a neodpovídaly požadovanému tvaru.

Z tabulky vyhodnocení frézování drážek pro lamely je patrné, že lepších výsledků dosahuje fréza A (SEMACO). I při frézování se tento předpoklad potvrdil. Fréza A měla delší šroubovici, lépe odváděla třísku.

5.2.3 Frézování drážek žeber

Při frézování žeber navrhuji použít rádiusové nástroje od průměru 1 – 9 mm odstupňované po 1 mm. U drážek žeber se nejčastěji vyskytuje rádius R 2. Proto se rozhodují pro nastavení vhodných řezných podmínek a výrobce pro nástroj s průměrem 4 mm.



Obr. 36. Příklad žebra

Zkouším dva výrobce:

A) SECO [9]

Vhodný nástroj hledám v katalogu a technickém průvodci Seco a držím se doporučení výrobce. Volím nástroj řady VHM, což jsou univerzální monolitní karbidové frézy s povlakem i bez povlaku.

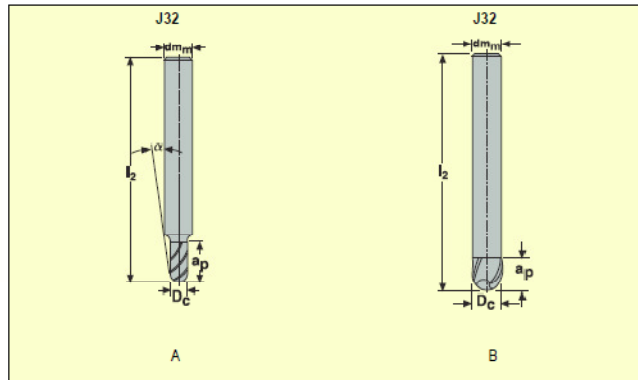
VHM



Monolitní karbidová fréza – rádiusová



Tolerance:
házení = 0,02 mm
 $dm_m = h5$
 $D_c = \varnothing 1-6 = -0,02/-0,034, \varnothing 8-25 = -0,02/-0,044$ mm
rádius = $\pm 0,02$ mm



Typ	Objednací číslo	Výkres A/B	-MEGA	Bez povlaku*	Rozměry v mm					
					D_c	dm_m	l_2	a_p	α	Z_n
J32 4 13 19 	32010	A	■	■	1	3	40	2	10,5°	3
	32015	A	■	■	1,5	3	40	2	9°	3
	32020	A	■	■	2	3	40	3	5°	3
	32SL020	A	■	■	2	3	100	4	3,5°	3
	32030	B	■	■	3	3	40	5	-	3
	32L030	A	■	■	3	4	75	20	1,5°	3
	32SL030	B	■	■	3	3	100	6	-	3
	32031	A	■	■	3	6	50	5	7,5°	3
	32040	B	■	■	4	4	50	6	-	3
	32L040	B	■	■	4	4	75	25	-	3
	32SL040	B	■	■	4	4	100	9	-	3
	32041	A	■	■	4	6	55	6	5,5°	3
	32050	A	■	■	5	6	55	7	3°	3

Řezné podmínky VHM J32 [9]

Seco Materiálová Skupina	Chlazení*	Kopirovací frézování dokončování			
		v_c m/min	f_z mm/zub	a_p mm	a_e mm
1-2	E	180	$0,009 \times D_c$	$0,02 \times D_c$	$0,02 \times D_c$
3-4	E	170	$0,009 \times D_c$	$0,02 \times D_c$	$0,02 \times D_c$
5-6	E	140	$0,009 \times D_c$	$0,01 \times D_c$	$0,01 \times D_c$
8-9	E	100	$0,009 \times D_c$	$0,02 \times D_c$	$0,02 \times D_c$
10-11	E	70	$0,009 \times D_c$	$0,01 \times D_c$	$0,01 \times D_c$
12-13	E	145	$0,009 \times D_c$	$0,02 \times D_c$	$0,02 \times D_c$
14-15	C	120	$0,009 \times D_c$	$0,01 \times D_c$	$0,01 \times D_c$
16	E	max.	$0,027 \times D_c$	$0,03 \times D_c$	$0,02 \times D_c$
17	E	320	$0,024 \times D_c$	$0,02 \times D_c$	$0,02 \times D_c$
20	E	100	$0,012 \times D_c$	$0,02 \times D_c$	$0,02 \times D_c$
21	E	50	$0,009 \times D_c$	$0,01 \times D_c$	$0,01 \times D_c$
22	E	100	$0,012 \times D_c$	$0,02 \times D_c$	$0,01 \times D_c$
Plast tvrdý	M	max.	$0,015 \times D_c$	$0,03 \times D_c$	$0,03 \times D_c$
Měď	E	400	$0,018 \times D_c$	$0,02 \times D_c$	$0,01 \times D_c$

Zde uvádí výrobce způsob chlazení M = olejová mlha. S tím bych nesouhlasil z důvodu možné degradace polymerního materiálu. Navrhuji chlazení A = stlačeným vzduchem.

Volím nástroj VHM J32 objednací číslo – 32L04, výkres - B, povlak - MAGA, průměr - 4 mm, maximální hloubka řezu a_p – 25 mm.

Vstupní data:

Fréza: VHM J 32 průměr 4 mm, povlak MEGA, 3 břity

Pracovní průměr D_w : $0,75 \times D_c = 0,75 \times 4 = 3$ mm

Úhel čela: 14°

Úhel stoupání šroubovice: 40°

Doporučení:

Posuv/zub (mm/zub): $0,015 \times D_c = 0,015 \times 4 = 0,06$

Řezná rychlost (m/min): maximální

Otáčky (ot/min): 55 000

Posuv (mm/min): $v_f = n \cdot z \cdot f_z = 55000 \cdot 3 \cdot 0,06 = 9900$

Uvedený výpočet otáček a posuvu je uveden pro axiální hloubku $a_p = 0,03 \times D_c = 0,03 \times 4 = 0,12$ mm a šířku řezu $a_e = 0,03 \times D_c = 0,03 \times 4 = 0,12$ mm, což je pro frézování modelu

drážek nedostatečné. Hloubky drážek jsou různé v závislosti na dezénu, jeho použití pro zimní nebo letní období, pro osobní, dodávková nebo nákladní vozidla, s tím pak souvisí jednotlivé názvy jako Bravuris, Brillantis, Polaris atd. Při frézování potřebuji využít různé hloubky řezu. Z tohoto důvodu je velmi obtížné nalézt vhodné řezné podmínky, které by vyhovovaly frézování všech typů dezénů. Hloubka řezu je při volbě vhodných řezných podmínek důležitou hodnotou, a proto ji musíme zohlednit. Z toho důvodu je nutné odlišit dokončování od hrubování.

Volím:

Hrubování:	Hloubka řezu a_p (mm):	4
	Šířka řezu a_e (mm):	plná šířka 4
	Otáčky (ot/min):	25 000
	Posuv (mm/min):	3 000

Pro dokončování mohu nechat doporučující řezné podmínky. Problém je, že stroj v pětiosém spojitém řízení na tak krátkém úseku, jako je délka drážky, nedosáhne tak vysoký požadovaný posuv. Volím úpravu:

Dokončování:	Hloubka řezu a_p (mm):	0,25
	Šířka řezu a_e (mm):	0,18
	Otáčky (ot/min):	30 000
	Posuv (mm/min):	4 500

B) SEMACO (Fraisa) [12]

vysocovýkonná fréza

s hladkým břitem, kulová

Sphericut-Alu

HM
MG10 AX

λ 40°
 γ 20°



výkonný index hrubování



výkonný index dokončování



vhodné pro zpracování:

Al
Aluminium

Cu
Copper

Plastic
Thermoplast

příklad: $\frac{\text{povlak}}{\text{objednací číslo}} \frac{\text{druh zbrať.c.}}{C} \frac{\text{ø kód}}{5290.140}$										CELERO	
										5290	C5290
ø Code	d1	d2 h6	d3	l1	l2	l3	r f8	α	z	€	€
.140	2	6	1,8	57	4	6	1,0	8°	2	38.10	45.20
.180	3	6	2,8	57	6	9	1,5	6°	2	38.10	45.20
.220	4	6	3,7	57	8	12	2,0	4°	2	38.10	45.20
.260	5	6	4,6	57	10	15	2,5	2°	2	38.10	45.20
.300	6	6	5,5	57	12	20	3,0	0°	2	38.10	45.20
.391	8	8	7,4	63	16	26	4,0	0°	2	49.90	62.00
.450	10	10	9,2	72	20	31	5,0	0°	2	67.00	80.00

5292

aplikace

hlíníková slitina k tváření Si <6%

čistá měď

termoplasty

d1 [mm]	z	v_c [m/min]	f_z [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	d_{eff} [mm]	n [min ⁻¹]	v_f [mm/min]	β
3	2	550	0.050	0.04	0.05	2.53	60000	5400	45
4	2	550	0.060	0.05	0.06	3.38	51850	6220	45
5	2	550	0.080	0.06	0.08	4.22	41480	6220	45
6	2	550	0.060	0.07	0.06	5.06	34570	4150	45
8	2	550	0.080	0.10	0.08	6.75	25925	4150	45
10	2	550	0.100	0.12	0.10	8.44	20740	4150	45
12	2	550	0.060	0.14	0.06	10.13	17285	2075	45
16	2	550	0.080	0.19	0.08	13.51	12965	2075	45
3	2	380	0.050	0.04	0.05	2.53	47765	4300	45
4	2	380	0.060	0.05	0.06	3.38	35825	4300	45
5	2	380	0.080	0.06	0.08	4.22	28660	4300	45
6	2	380	0.060	0.07	0.06	5.06	23885	2865	45
8	2	380	0.080	0.10	0.08	6.75	17915	2865	45
10	2	380	0.100	0.12	0.10	8.44	14330	2865	45
12	2	380	0.060	0.14	0.06	10.13	11940	1435	45
16	2	380	0.080	0.19	0.08	13.51	8955	1435	45
3	2	850	0.050	0.04	0.05	2.53	60000	5400	45
4	2	850	0.060	0.05	0.06	3.38	60900	7200	45
5	2	850	0.080	0.06	0.08	4.22	60000	9000	45
6	2	850	0.060	0.07	0.06	5.06	53425	6410	45
8	2	850	0.080	0.10	0.08	6.75	40070	6410	45
10	2	850	0.100	0.12	0.10	8.44	32055	6410	45
12	2	850	0.060	0.14	0.06	10.13	26710	3205	45
16	2	850	0.080	0.19	0.08	13.51	20035	3205	45

Vstupní data:

Fréza:	C 5290.220 průměr 4 mm, povlak CELERO, HM MG 10 - univerzální tvrdokov s nejjemnějším zrnem. Tvrdost 1600HV. Obsah Co 10%.
Pracovní průměr d_{eff} :	3,38 mm
Úhel čela:	20°
Úhel stoupání šroubovice:	40°

Doporučení:

Hloubka řezu a_p (mm):	0,05
Šířka řezu a_e (mm):	0,06
Posuv/zub (mm/zub):	0,06
Otáčky (ot/min):	55 000
Posuv (mm/min):	6 600

Volím:

Hrubování:	Hloubka řezu a_p (mm):	4
	Šířka řezu a_e (mm):	plná šířka 4
	Otáčky (ot/min):	25 000
	Posuv (mm/min):	3 000
Dokončování:	Hloubka řezu a_p (mm):	0,25
	Šířka řezu a_e (mm):	0,18
	Otáčky (ot/min):	50 000
	Posuv (mm/min):	5 000

Tab. 7. Vyhodnocení frézování drážek žeber

	Výrobce A (SECO)			Výrobce B (SEMACO)		
	Doporučení	Volím		Doporučení	Volím	
Počet zubů	3			2		
Operace	Dokonč.	Hrub.	Dokonč.	Dokonč.	Hrub.	Dokonč.
Posuv na zub f_z (mm)	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05
Šířka řezu a_e (mm)	0,12	4	0,18	0,06	4	0,18
Hloubka řezu a_p (mm)	0,12	4	0,25	0,05	4	0,25
Otáčky za minutu	55 000	25 000	30 000	55 000	35 000	50 000
Posuv v_f (mm/min)	9 900	3 000	4 500	6 600	3 000	5 000

Výrobce nástrojů doporučuje použít maximální dovolené otáčky stroje, což je u stroje Fidia 60 000 ot/min. Z důvodu životnosti vřetene volím otáčky o něco menší 55 000 ot/min.

Při zkoušení obou výrobců jak A, tak B byl při hrubování nástroj zatížen celou šířkou záběru a postupně se zanořoval až na požadovanou hloubku. Nástroj se použil jak pro hrubování tak pro dokončování. U výrobce A jsme si mohli dovolit, díky většímu počtu zubů (3), daleko vyšší posuv jak při hrubování tak i dokončování. Tento vysoký posuv nebyl velkým přínosem, protože stroj na tak krátkých drahách a změnách směru pohybu zdaleka nedosahoval zadaný posuv. Proto jsem musel provést korekci otáček i posuvu, aby se materiál modelu nepálil.

Při zkouškách se ukázalo jako velmi vhodné mít nástroje ještě rozděleny na hrubování a dokončování, protože dochází k různě rychlému opotřebení břítu nástroje. Toto rozdělení však musí dovolit dostatečný počet míst v zásobníku nástrojů.

U výrobce A jsem nevyužil doporučeného vysokého posuvu. Při vysokých otáčkách s nástrojem se třemi břity a malém posuvu docházelo k pěchování třísky.

Doporučuji nástroj B.

Stroj Fidia mně díky dostatečnému počtu otáček umožnil plně využít nástroj se dvěma břity s daleko lepším odvodem třísek.

Výrobce A doporučuji pro stroje, které nedosahují tak vysokých otáček.



Obr. 37. Frézování modelu



Obr. 38. Hotový model

6 DOPORUČENÍ

6.1 Optimalizace frézování

Pro zefektivnění frézování doporučuji při tvorbě CNC programu využít program pro optimalizaci frézování NC speed. Tento program nám umožňuje kontrolu řezné části nástroje a kolizi jeho dřívku, držáku, ale i celého stroje s následným výpisem a grafickým zobrazením kolizních míst přímo na obrobku. Graficky simuluje, kdy nástroj jede mimo materiál, a většinu pracovních posuvů vzduchem dokáže odstranit. To platí i o příliš vysokých přejezdech rychloposuvem. Dokáže zlepšit plynulost při obrábění a snížení rázů při náhlých změnách směru obrábění. Díky plynulosti procesu obrábění není téměř nutné, aby obsluha stroje zasahovala do rychlosti pomocí potenciometru, tím umožníme více obsluhu. Dokáže nástroj konstantně zatížit, což přispívá k vyšší kvalitě povrchu. [13]

6.2 Průběžná kontrola nástroje

Při více obsluze často dochází k tomu, že obsluha stroje hned nezjistí poškození nástroje a dochází k zbytečným ztrátám. Účinnou pomocí nám v tom může být systém detekce stavu nástrojů TRS2 společnosti Renishaw. Nástroje při měření setrvají v laserovém paprsku po dobu cca 1 sekundy. Systém TRS2 sestává z jediné kompaktní jednotky obsahující laserový zdroj i detekční elektroniku. Jeho instalace je snadná a lze ho umístit mimo pracovní rozsah stroje. Detekce nástrojů probíhá ze vzdálenosti 0,3 m až 2,0 m v závislosti na povrchové úpravě nástroje, prostředí v obráběcím stroji a instalaci. Klíčovou výhodou uvedeného zlepšení je schopnost pracovat při větším rozsahu otáček vřetena (200, 1 000 a 5 000 min^{-1}), což umožňuje detekovat větší počet typů nástrojů u širšího sortimentu aplikací. S použitím technologie elektronické detekce stavu nástroje ToolWise detekuje přítomnost nástroje prostřednictvím analýzy frekvence záblesků paprsku odraženého od rotujícího nástroje. [14]

6.3 Odsávání

Při obrábění je nezbytné odsávání třísek, které je zárukou jakosti a přesnosti obrábění a chrání pohyblivé části CNC strojů (vedení, ložiska) před nadměrným opotřebením.

Neméně významný je příspěvek k hygieně pracovního prostředí. Bezdotyková sací hubice zařízení CleanCut CC s automatickým vysunováním a zatahováním umožňuje stroji bez omezení provádět výměnu nástrojů, měření nástroje, trojrozměrné proměňování obrobku a zastavení v parkovací pozici. Ve zvláštním případě lze pracovat se zataženou nebo sejmoutou hubicí. Uvolnění třísek napomáhá rotační kartáč. Průmyslový vysavač RI 331 pracuje bezhlučně s nastavitelnou vzdáleností k obrobku a k nástroji upnutém ve vřetenu M8 s upínačem HSK-E 25. Maximální vzdálenost hubice k povrchu stolu je 88 mm; max. vzdálenost upínací desky vakuového modulu je podle typu 28 až 48 mm. Výrobce odsávacího zařízení CleanCut CC je Datron-Electronic GmbH, prodejcem slovenská firma Datron Technology, s. r. o., Detva. [15]

7 CELKOVÉ HODNOCENÍ

Výroba modelů je rozdělena do jednotlivých kroků. Příprava polotovaru na stroji Deckel. Na tomto stroji se frézuje zadní plocha se středícími drážkami pro upnutí. Dále se pak hrubuje základní tvar. Pro toto hrubování doporučuji frézování v pěti osách čelní válcovou frézou o průměru 50 mm s těmito řeznými podmínkami: šířka řezu $a_e = 25$ mm, otáčky 4 930 ot/min, posuv $v_f = 2013$ mm/min.

Frézování modelu se provádělo na stroji Fidia D 218. Nástroje byly upnuty do tepelných upínačů, které nám zajišťovaly dostatečnou tuhost upnutí s minimální házivostí.

Základní tvar modelu doporučuji frézovat ve třech osách rádiusovou frézou s vyměnitelnými břitovými destičkami o průměru 16 mm a to při těchto řezných podmínkách: šířka řezu = 0,96 mm, otáčky 24 800 ot/min, posuv = 17 300 mm/min, při dodržení sousledného frézování.

U frézování drážek pro lamely jsme v oblasti takzvaného mikrofrézování. Pro volbu doporučujících řezných podmínek jsem zvolil nejčastěji používanou šířku drážky pro lamely 0,6 mm. Navrhuji čelní válcovou frézu SEMACO výrobce FRAISA. Drážkování s postupným zanořováním s těmito parametry: hloubka řezu maximálně přípustná délka šroubovice nástroje 0,7 mm, otáčky 55 000 ot/min, posuv 450 mm/min.

Při frézování drážek žeber jsem testoval nástroj rádiusový o průměru 4 mm. Doporučuji nástroj SEMACO výrobce FRAISA. Jako nejvhodnější řezné podmínky se ukázaly pro hrubování šířka řezu 4 mm, hloubka řezu 4 mm, otáčky 35 000 ot/min, posuv 3 000 mm/min. Pro dokončování šířka řezu 0,18 mm, hloubka řezu 0,25 mm, otáčky 50 000 ot/min, posuv 5 000 mm/min.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá výrobou modelů na CNC frézkách. V teoretické části jsem studoval teorii obrábění, řezný nástroj a jeho úhly v souřadnicové soustavě, fyzikální základy procesu řezání, nástrojové materiály. Dále pak teorii a technologii frézování, způsoby frézování, výpočtové vzorce pro řezné podmínky, rozdělení frézovacích nástrojů, druhy frézovacích strojů. Také číslicově řízené stroje, jejich podstatu a rozdělení. A v neposlední řadě materiály, způsoby výroby modelů včetně moderních technologií.

V praktické části jsem navrhl nástroje a řezné podmínky pro kompletní výrobu modelu z materiálu Necuron na CNC frézovacím stroji. Testy jsem prováděl na doporučení technického průvodce prodejce nástrojů SECO a jako konkurent mu byl prodejce nástrojů SEMACO. Modely se frézují na pětiosých CNC frézách a jejich produktivita výroby je závislá na zkušenostech a znalostech programátora. Tyto řezné podmínky byly stanoveny pro uvedené typy CNC strojů. Pro další typy strojů se mohou tyto podmínky lišit.

Cílem diplomové práce bylo najít vhodné frézovací nástroje a stanovit pro ně nejvhodnější řezné podmínky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOCMAN, Karel. PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: Cerm, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] KOCMAN, Karel. *Speciální technologie. Obrábění*. Brno: Cerm, 2004. 3. přepracované a doplněné vydání. ISBN 80-214-2562-8.
- [3] *Programování CNC strojů* [online]. [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: http://www.vkonar.ic.cz/dokumenty/zaklady_prog/program_CNC.pdf
- [4] *Popis číslicově řízených obráběcích strojů* [online]. [cit. 2009-15-12]. Dostupný z WWW: http://www.vkonar.ic.cz/dokumenty/zaklady_prog/popis_CNC.pdf
- [5] *SANDVIK* [online]. [cit. 2009-12-20]. Dostupný z WWW: <http://www.coromant.sandvik.com/cz>
- [6] ŠTULPA, M. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 1. vydání. ISBN 80-7300-207-8.
- [7] *MM Průmyslové spektrum*, [online]. [cit. 2010-1-3]. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/tisk-prostorovych-modelu>.
- [8] ŘASA, Jaroslav, GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3 : Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 1. vyd. Praha : Scientia, 2000. 2 sv. (256, 221 s.). ISBN 80-7183-207-3.
- [9] *KATALOG A TECHNICKÝ PRŮVODCE SECO 2008* [online]. [cit. 2010-3-5]. Dostupný z WWW: <http://ecat.secotools.com/Default.htm>
- [10] *SECO CUT*, [online]. [cit. 2010-3-5]. Dostupný z WWW: <http://legacy.secotools.com/template/start.asp?id=9392>
- [11] *FIDIA*, [online]. [cit. 2010-2-21]. Dostupný z WWW: http://www.fidia.com/english/mu_eng_fr.htm
- [12] *SEMACO CUT*, [online]. [cit. 2010-3-10]. Dostupný z WWW: http://www.semaco.cz/index.php?option=com_docman&Itemid=35
- [13] HORÁK, Ivan. SNIŽTE CENU FRÉZOVÁNÍ. *MM Průmyslové spektrum*. Červen 2008, 6, s. 48. ISSN 1212-2572.
- [14] SLÁMA, Josef. Jistota kvalitního obrobku. *MM Průmyslové spektrum*. Prosinec 2007, 12, s. 32-33. ISSN 1212-2572.

- [15] Čisté obrábění s odsáváním CleanCut. *MM Průmyslové spektrum*. Prosinec 2007, 12, s. 9. ISSN 1212-2572.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a_e	Šířka řezu
a_p	Hloubka řezu
CAD	Computer aided design
CAM	Computer aided manufacturing
D	Průměr frézy
D_c	Efektivní průměr nástroje
DNC	Direct Numerical Control
D_w	Pracovní průměr nástroje
F_{ci}	Řezná síla
F_{cNi}	Kolmá řezná síla
F_e	Pracovní síla
F_{fi}	Posuvová síla
F_{fNi}	Kolmá posuvová síla
F_i	Celková řezná síla
F_n	Posuvu na otáčku
F_z	Posuv na zub
H	Výška profilu
HSC	High speed cutting (vysoko rychlostní frézování)
MNC	Memory Numerical Control
n	Počet otáček
P_e	Pracovní výkon
RO	Nástroj s břity z rychlořezné oceli
RP	Rapid Prototyping
SK	Nástroj s břity ze slinutých karbidů

VBD	Vyměnitelné břitové destičky
V_c	Řezná rychlost
V_e	Rychlost řezného pohybu
V_f	Posuvová rychlost
V_m	Objem odebraného materiálu
V_t	Objem volně ložených třísek
W	Objemový součinitel třísek
z	Počet zubů frézy
η	Účinnost stroje
λ	Úhel stoupání šroubovice
γ	Úhel čela břitu nástroje

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Pohyby při obrábění.....	11
Obr. 2. Druhy ploch vzniklé při obrábění.....	12
Obr. 3. Realizace řezného procesu.....	13
Obr. 4. Oblasti deformace.....	13
Obr. 5. Vznik třísky.....	14
Obr. 6. Tvary třísek.....	15
Obr. 7. Tepelná bilance řezného procesu.....	17
Obr. 8. Nástrojové materiály.....	20
Obr. 9. Válcové frézování nesousledné.....	26
Obr. 10. Válcové frézování sousledné.....	26
Obr. 11. Čelní frézování.....	27
Obr. 12. Čelní frézování nesymetrické.....	27
Obr. 13. Síly při frézování.....	27
Obr. 14. Typy frézovacích nástrojů (fréz).....	31
Obr. 15. Konzolová frézka vodorovná.....	36
Obr. 16. Konzolová frézka svislá.....	36
Obr. 17. Svislá stolová frézka.....	37
Obr. 18. Rovinná frézka.....	37
Obr. 19. Strojní svěrák.....	39
Obr. 20. Upínky.....	39
Obr. 21. Schéma NC systému [3].....	43
Obr. 22. Schéma CNC systému [3].....	44
Obr. 23. Systém stavění souřadnic.....	46
Obr. 24 Pravoúhlé řízení.....	46
Obr. 25. Souvislé řízení.....	46

Obr. 26. Struktura programového slova [1].....	50
Obr. 27. Segmenty formy	57
Obr. 28. CNC frézka Deckel	60
Obr. 29. Zadní plocha s drážky.....	61
Obr. 30. Vyhrubovaný model.....	63
Obr. 31. CNC obráběcí stroj FIDIA D 218 [15].....	66
Obr. 32. Základní tvar.....	67
Obr. 33. Upínací trn Combimaster HSK-E50 [13].....	68
Obr. 34. Výška profilu H.....	69
Obr. 35. Lamely.....	75
Obr. 36. Příklad žebra.....	80
Obr. 37. Frézování modelu.....	87
Obr. 38. Hotový model.....	87

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Hodnoty C_{Fc} a x při frézování válcovou a čelní frézou (K. Kocman, J. Prokop, 1996, strana 126, tab. 8.7).....	28
Tab. 2. Upínání frézek (katalog upínání nástrojů) [5].....	38
Tab. 3. Řezné podmínky pro obrábění reaktoplastů [12].....	59
Tab. 4. Vyhodnocení hrubování základního tvaru modelu.....	65
Tab. 5. Vyhodnocení dokončení základního tvaru modelu.....	73
Tab. 6. Vyhodnocení frézování drážek pro lamely.....	79
Tab. 7. Vyhodnocení frézování drážek žeber.....	86

SEZNAM PŘÍLOH

CD disk obsahující dokumenty ve formátu pdf.:

- textovou část diplomové práce: DP Optimalizace výroby modelů,
- katalog a technický průvodce SECO Jabro,
- katalog a technický průvodce SECO tools,
- katalog fraisa mikrofrézy,
- katalog fraisa frézy hm 183-278 cj 2009.