

Návrh a realizace systému chlazení pro CNC frézku

Jan Sedláček

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan SEDLÁČEK**
Osobní číslo: **T08649**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Návrh a realizace systému chlazení pro CNC frézku**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma
2. Navrhněte systém chlazení pro školní CNC frézku
3. Realizujte navržený systém

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] KOCMAN, K.- PROKOP, J. Technologie obrábění. CERM Brno, 2005. ISBN 80-214-3068

[2] VRABEC, M., MÁDL, J.: NC programování v obrábění. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 92 s. ISBN 80-01-03045-8 Další dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Černý**
UTB FT Zlín

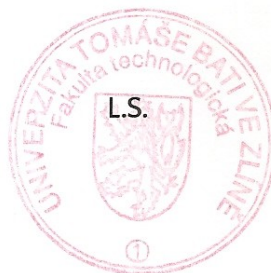
Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2011**

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Práce se v první části zabývá popisem obráběním obecně, dále frézováním, frézovacími nástroji, frézovacími stroji a chlazením při obrábění. Druhá část popisuje návrh a realizaci systému chlazení pro CNC frézku, následnou výrobu komponentů a montáž na stroj.

Klíčová slova: obrábění, frézování, chlazení, CNC frézka, systém chlazení

ABSTRACT

Labour in the first part deals with the description of machining in general and milling, milling tools, milling machines and cooling during machining. The second part describes the design and realization of the cooling system for CNC milling machine, followed by manufacturing components and installation on the machine.

Keywords: machining, milling, cooling, CNC milling machine, cooling system

Za pomoc při realizaci této práce bych rád poděkoval mému bratrovi Ing. Jiřímu Sedláčkovi, mému dědovi Františkovi Zapletalovi, panu Ing. Jiřímu Šálkovi a největší poděkování patří vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakobovi Černému za vstřícný přístup v průběhu mé práce a samotné realizace.

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

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÍ POJMY OBRÁBĚNÍ	12
1.1 OBROBEK.....	12
1.2 NÁSTROJ.....	13
1.3 OBRÁBĚCÍ STROJ	14
2 FRÉZOVÁNÍ	15
2.1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA	15
2.1.1 Kinematika obráběcího procesu.....	15
2.1.2 Řezné síly	18
2.1.3 Řezné podmínky	18
2.1.4 Okružní frézování	19
2.1.5 Planetové frézování.....	19
2.1.6 Základní výpočty.....	20
2.2 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE	22
2.3 FRÉZOVACÍ STROJE.....	25
2.3.1 Konzolové frézky.....	25
2.3.2 Stolové frézky.....	26
2.3.3 Rovinné frézky.....	26
2.3.4 Speciální frézky.....	27
2.3.5 Číslicově řízené frézky (obráběcí centra)	27
2.3.5.1 CNC stroje.....	28
2.3.5.2 Rozdělení CNC obráběcích strojů.....	31
2.3.5.3 Údržba CNC obráběcích strojů.....	32
2.4 CHARAKTERISTICKÉ FRÉZOVACÍ TECHNOLOGIE	36
3 TECHNOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY ŘEZNÉHO PROCESU	37
3.1 TEPelná BILANCE ŘEZNÉHO PROCESU	37
4 ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ	39
4.1 TECHNOLOGICKÉ POŽADAVKY NA ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ.....	39
4.2 ŘEZNÉ KAPALINY	41
4.2.1 Druhy řezných kapalin.....	42
4.2.2 Přívod řezné kapaliny do místa řezu	43
4.3 PLYNNÉ ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ	47
II PRAKTICKÁ ČÁST	48
5 IDEOVÝ NÁVRH	49

5.1	POŽADAVKY PRO KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ CHLADÍČÍHO OKRUHU	50
5.2	CHLADÍČÍ OBVOD – VARIANTA 1	50
5.3	CHLADÍČÍ OBVOD – VARIANTA 2	51
5.4	ZVOLENÉ ŘEŠENÍ.....	51
6	POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ.....	52
6.1	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ V SOFTWARE CATIA.....	52
6.2	TRYSKA	53
6.2.1	Tryska č. 1	53
6.2.2	Tryska č. 2.....	53
6.3	PŘESNÝ PŘÍVOD DO MÍSTA ŘEZU	54
6.4	UCHYCENÍ KLOBOVÉ HADICE LI-NOX KE STROJI	56
6.5	PEVNÉ UCHYCENÍ KULOVÝCH KOHOUTŮ A REDUKČNÍHO VENTILU KE STROJI.....	56
6.6	NÁDOBA NA EMULZNÍ KAPALINU A JEJÍ UCHYCENÍ KE STROJI.....	57
6.7	ROZVOD CHLADÍČÍHO MÉDIA	58
6.8	ODVOD EMULZNÍ KAPALINY ZE STROJE	59
7	VÝROBA KOMPONENTŮ	60
8	MONTÁŽ A OVĚŘENÍ FUNKCE.....	61
9	FINANČNÍ VYHODNOCENÍ.....	62
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
	SEZNAM TABULEK	68
	SEZNAM PŘÍLOH	69

ÚVOD

Během operace obrábění se téměř veškerá práce řezání transformuje v teplo. Teplo má při obrábění nežádoucí vliv a je nutné ho eliminovat příslušným řezným prostředím. Řezné prostředí má vliv na kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Nejpoužívanější řezná média jsou kapaliny, plyny a mlhy. Na řezné prostředí se specifikují určité požadavky, k nimž patří zejména chladicí účinek, mazací účinek, čistící účinek, provozní stálost, ochranný účinek, zdravotní nezávadnost a přiměřené náklady. Chladicí účinek je schopnost řezného prostředí odvádět teplo z místa řezu. Mazací účinek je schopnost prostředí vytvořit vrstvu, která snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Čistící účinek znamená, že řezné médium odstraňuje třísky z místa řezu. Provozní stálost se definuje jako doba výměny řezného prostředí. Ochranný účinek nezpůsobuje korozi. Zdravotní nezávadnost je požadavek, aby řezné médium nebylo zdraví škodlivé a přiměřené náklady souvisí především se spotřebou řezného média.

Univerzitní CNC frézka HWT 442 systém chlazení před realizací této práce postrádala. Bylo tedy nutné provést návrh dle požadovaných podmínek na chladicí systém, konstrukční návrh v PC softwaru, výrobu a nákup potřebných komponentů. Dále následovala montáž na stroj a finanční vyhodnocení.

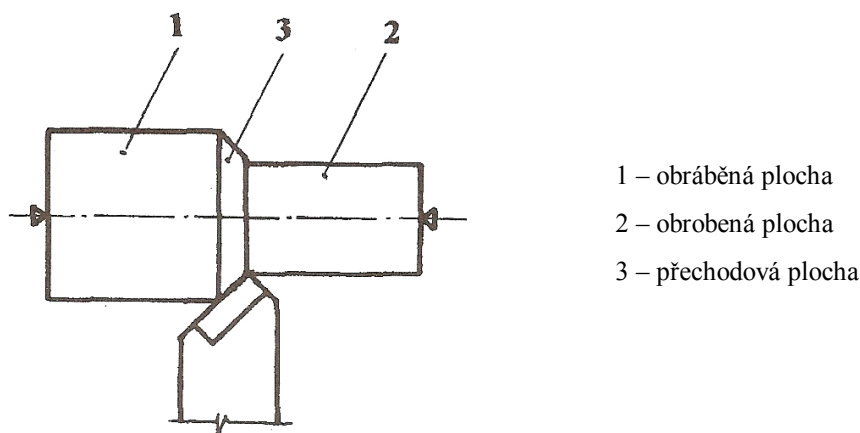
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ POJMY OBRÁBĚNÍ

Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Vlastní proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu obrobku se specifikuje jako řezání, resp. řezný proces. V závislosti na způsobu oddělování materiálu se rozliší řezný proces kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). Reálný řezný proces probíhá za určitých řezných podmínek, které jsou součástí obráběcích podmínek. [1]

1.1 Obrobek

Obrobek jako objekt obráběcího procesu je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou. Obráběná plocha je plocha, která má být obrobena řezáním. Obrobená plocha je plocha získaná jako výsledek řezného procesu. Přechodová plocha je část povrchu obrobku, která je vytvořena působením ostří nástroje během zdvihu nebo otáčky nástroje nebo obrobku. [1]



Obr. 1 Základní plochy na obrobku při podélném soustružení. [1]

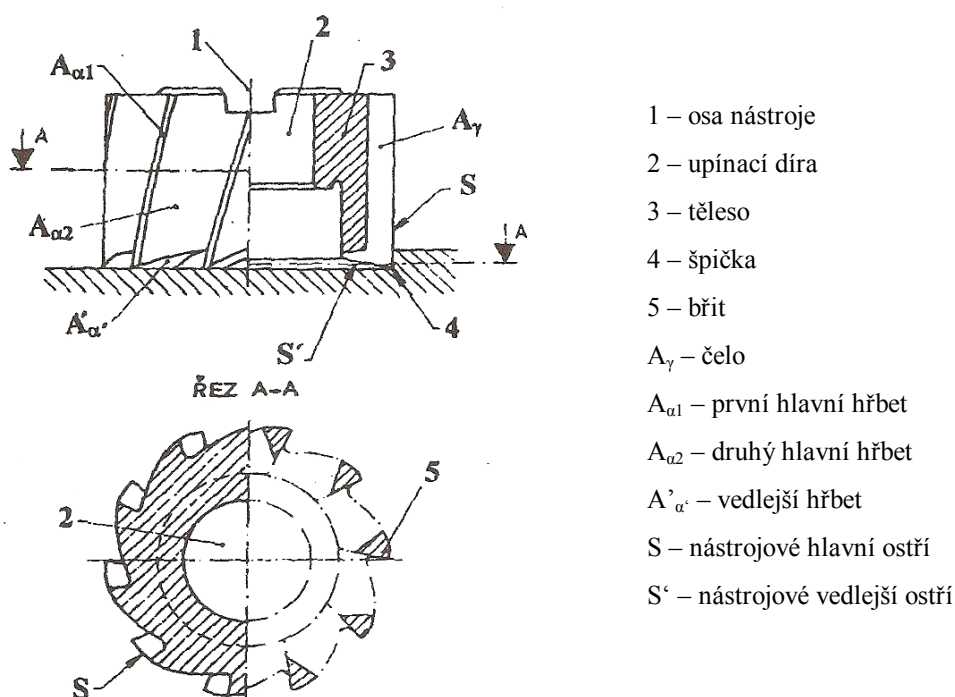
Obrobená plocha představuje prioritní výstup obráběcího procesu a z technologického hlediska je určena svými rozměry, tvarem, polohou, strukturou povrchu a vlastnostmi povrchové vrstvy. Obrobená plocha se identifikuje souborem parametrů vztažených k jmenovité ploše, k nimž patří zejména úchylka rozměru (úchylka od jmenovité hodnoty rozměru), úchylka tvaru (úchylka přímosti, úchylka kruhovitosti, úchylka souososti, obvodové házení, čelní házení), struktura povrchu (největší výška profilu Rz, průměrná

aritmetická úchylka profilu R_a), vlastnosti povrchové vrstvy (druh a velikost napětí v povrchové vrstvě, trhliny a jiné povrchové vady). Parametry obrobené plochy jsou obecně funkcí souboru technologických faktorů, které souvisí s vlastnostmi obráběcího stroje, nástroje, obrobku, upínače a s hodnotami řezných podmínek. [1]

Technologické vlivy na parametry obrobené plochy v závislosti na jejich charakteru lze členit na systematicky konstantní (chyba v seřízení obráběcího stroje, úchylka rozměru a tvaru nástroje), systematicky proměnné (opotřebení nástroje, tepelné deformace prvků obráběcího systému), náhodné (rozptýlení přídavků na obrábění, rozptýlení vlastností obráběného materiálu). [1]

1.2 Nástroj

Nástroj v interakci s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, ostřími a rozměry ostří. [1]



Obr. 2 Ostří a plochy na řezné části čelní válčové frézy. [1]

Těleso je část nástroje, na které jsou přímo vytvořené, nebo upevněné elementy ostří.

Stopka je část nástroje určená pro upnutí.

Upínací díra je souhrn vnitřních ploch tělesa nástroje, určených pro nastavení a upnutí nástroje.

Osa nástroje je teoretická přímka s definovaným geometrickým vztahem ke stanovenému povrchu, používaná při výrobě, ostření a upnutí nástroje. Obecně je osa nástroje středová čára stopky nebo upínací díry nástroje. Obvykle je rovnoběžná nebo kolmá k danému povrchu nástroje.

Řezná část je funkční část nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku. Patří sem zejména ostří, čelo a hřbet. V případě vícezubého nástroje má každý zub svou řeznou část.

Základna je plochý prvek stopky nástroje, který je zpravidla rovnoběžný nebo kolmý k základní rovině nástroje; slouží pro umístění a orientaci nástroje při jeho výrobě, kontrole a ostření; ne všechny nástroje mají jednoznačně určenou základnu.

Břit je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem nástroje. Může být spojený jak s hlavním, tak i vedlejším ostřím. [1]

1.3 Obráběcí stroj

Obráběcí stroj představuje základní prvek obráběcího systému (stroj-obrobek-nástroj), ve kterém se realizuje vlastní obráběcí proces. Technologické vlastnosti obráběcího stroje významně ovlivňují výsledný efekt obráběcího procesu jak z hlediska jeho hospodárnosti, tak i z hlediska parametrů obrobene plochy. [1]

2 FRÉZOVÁNÍ

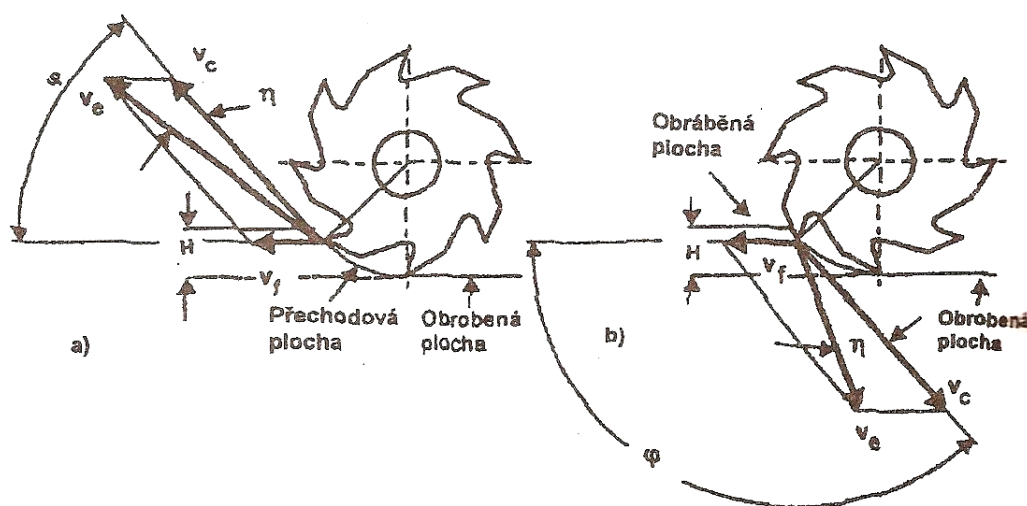
Frézování je obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebrává břity otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. [1]

2.1 Technologická charakteristika

Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozliší frézování válcové (frézování obvodem) a frézování čelní (frézování čelem). Od těchto základních způsobů se odvozují některé další způsoby, jako frézování okružní a planetové. [1]

2.1.1 Kinematika obráběcího procesu

Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou vytvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy H se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozliší frézování nesousledné (protisměrné) a sousledné (souměrné). [1]



Obr. 3 Kinematika válcového frézování [1]

a) nesousledné frézování; b) sousledné frézování

Při nesousledném frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu. Řezná síla při protisměrném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu. [1]

Při sousledném frézování je smysl rotace nástroje ve směru posuvu obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí obvykle směrem dolů. Sousměrné frézování může probíhat pouze na přizpůsobeném stroji při vymezené vůli a předpětí mezi posuvným šroubem a maticí stolu frézky. V opačném případě způsobuje vůle nestejnomyšrný posuv, při němž může dojít k poškození nástroje, popř. i stroje. Při vzájemném porovnání lze shrnout hlavní výhody obou způsobů. [1]

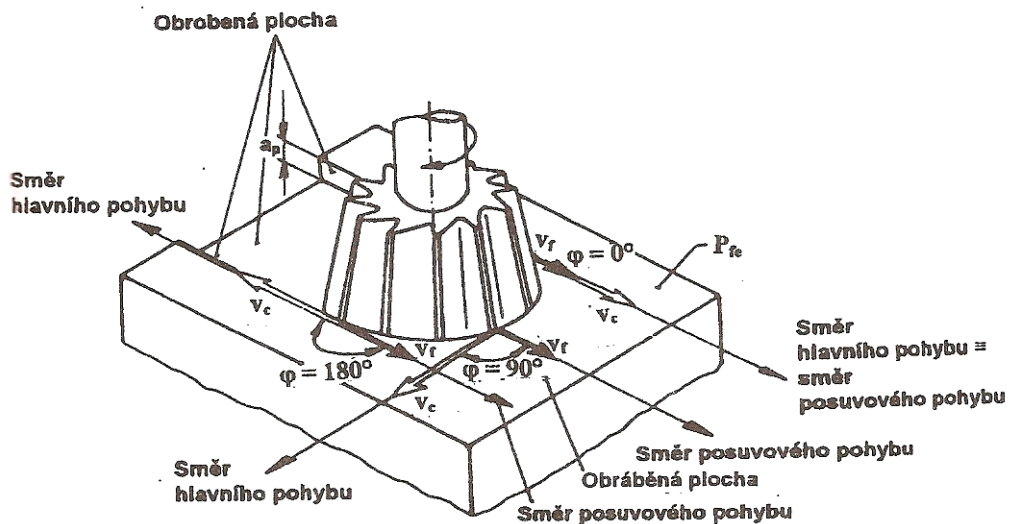
Nesousledné frézování:

- trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku a pod.;
- není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje;
- menší opotřebení šroubu a matice;
- záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu.

Sousledné frézování:

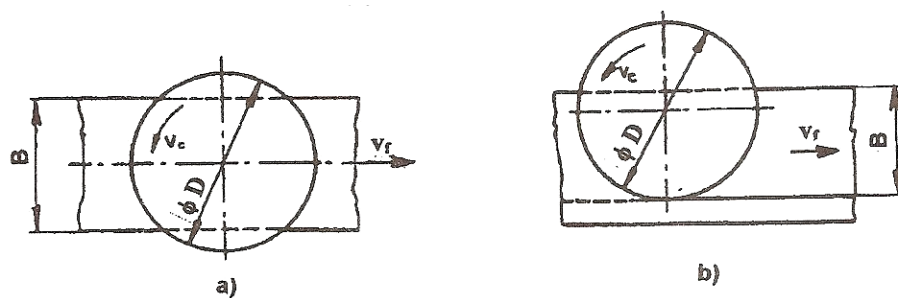
- vyšší trvanlivost břitů, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů;
- menší potřebný řezný výkon;
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, takže lze použít jednodušších upínacích přípravků;
- menší sklon ke chvění;
- obvykle menší sklon k tvoření nárůstku;
- menší drsnost obrobeného povrchu. [1]

Čelní frézování se uplatňuje při práci s čelními frézami, kdy břity jsou vytvořeny na obvodu i čele nástroje. Konkrétní relace základních pohybů je pro frézování úhlovou frézou naznačen na Obr. 4. [1]



Obr. 4 Kinematika pohybů nástroje a obrobku ve třech bodech nástroje – úhlová čelní fréza s válcovou stopkou. [1]

Pro další úvahy se v závislosti na poměru šířky frézované plochy B k průměru frézy D a také s ohledem na polohu osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozliší symetrické a nesymetrické frézování. [1]

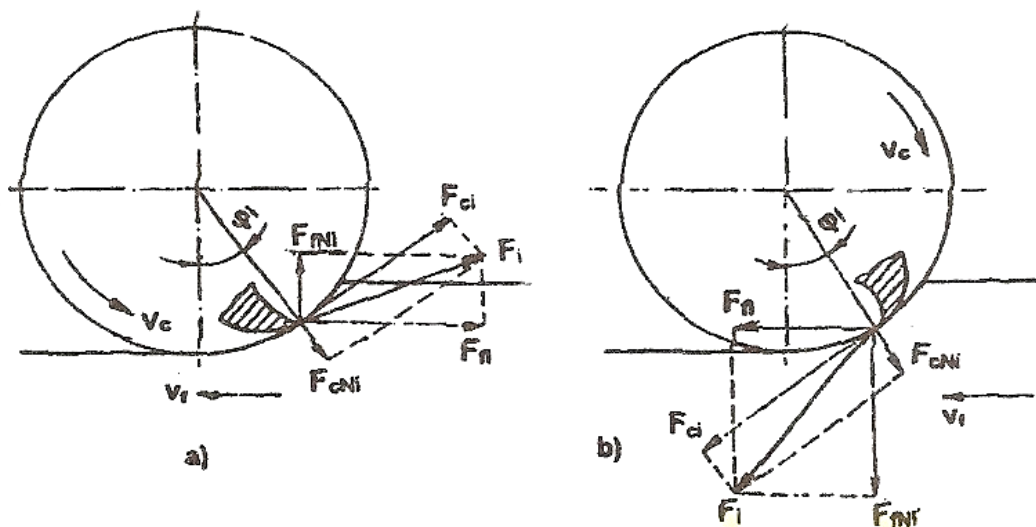


Obr. 5 Čelní frézování [1]

a) symetrické; b) nesymetrické

2.1.2 Řezné síly

Při specifikaci řezných sil při frézování se vyjde ze silových poměrů na jednom břitu, který se nachází v poloze určené úhlem φ_i . Pro válcové frézování nástrojem s přímými zuby se celková řezná síla působící na břitu F_i rozkládá na složky F_{ci} a F_{cNi} , resp. na složky F_{fi} a F_{fNi} – Obr. 6.



Obr. 6 Řezné síly na zubu válcové frézy v pracovní rovině P_{je} [1]

a) nesousledné frézování; b) sousledné frézování

F_i – celková řezná síla; F_{ci} – řezná síla; F_{cNi} – kolmá řezná síla; F_{fi} – posuvová síla; F_{fNi} – kolmá posuvová síla

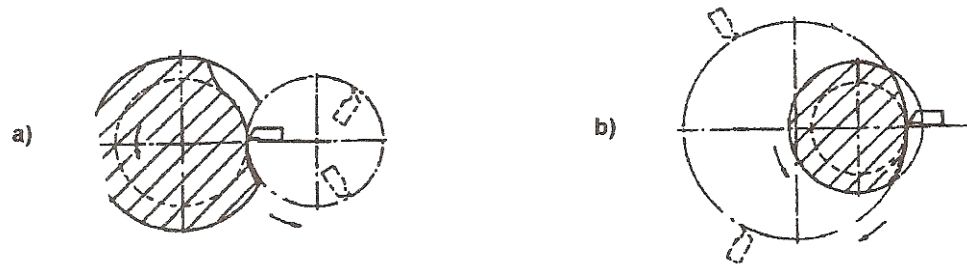
2.1.3 Řezné podmínky

Pro daný obráběný materiál a frézovací nástroj patří k základním řezným podmínkám řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] a posuv na zub f_z [mm]. V technologické praxi se často předepisuje také posuvová rychlost v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$], pro kterou platí $v_f = f_z \cdot z \cdot n$. [1]

Řezné podmínky se volí podle druhu práce, druhu použité frézy a požadované jakosti obrobených ploch. Při hrubování se volí co největší posuv s přihlédnutím k hloubce odebírané vrstvy, tuhosti obrobku a výkonu na vřetenu frézky. [1]

2.1.4 Okružní frézování

Okružní frézování se používá při obrábění dlouhých válcových tyčí a při výrobě závitů. Jako nástroj slouží frézovací hlava osazená několika noži. Při obrábění tyčí koná hlava většinou rotační a posuvný pohyb, při řezání závitů pouze rotační pohyb. Zbývající potřebné pohyby vykonává obrobek. [1]

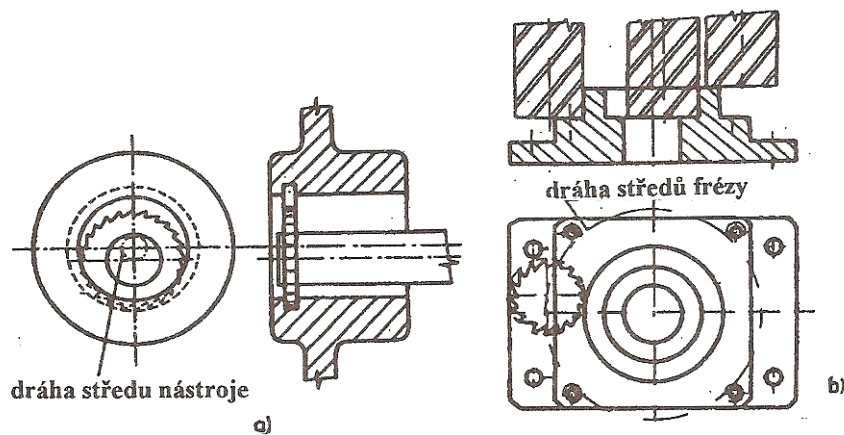


Obr. 7 Kinematika okružního frézování [1]

a) obrobek vně nástroje; b) obrobek uvnitř nástroje

2.1.5 Planetové frézování

Planetové frézování se uplatňuje u číslicově řízených frézek a u obráběcích center vybavených kruhovou interpolací. Pohyb frézy může být řízen u těchto strojů po kružnici, takže lze obrábět části nebo i celé rotační plochy. Tento způsob se využívá pro frézování vnitřních zápichů, kruhových zaoblení, vnějších válcových výstupků, větších otvorů a čelních ploch. [1]



Obr. 8 Planetové frézování [1]

a) vnitřní zápichy; b) vnější a vnitřní válcové a čelní plochy

2.1.6 Základní výpočty

- **Řezná rychlost:** $v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$ [m · min⁻¹]

(2-1)

Volí se podle obrobiteľnosti materiálu, materiálu nástroje a způsobu obrábění. [2]

- Velikost **posuvu** můžeme zadávat jako:

Posuv na 1 zub s_z – vyhledáme v tabulkách [mm/1 zub].

Posuv na otáčku $s_o = s_z \cdot z$

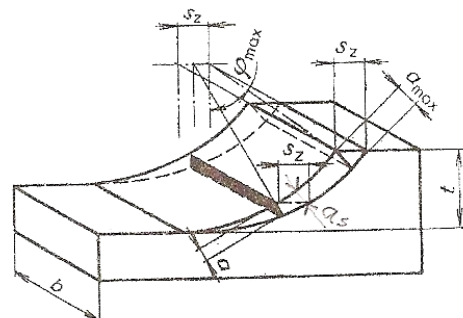
Posuvová rychlost $s = s_o \cdot n = s_z \cdot z \cdot n$ [2] (2-2)

- **Průřez třísky** je proměnlivý, protože během záběru se mění tloušťka třísky. Maximální průřez třísky vypočítáme:

Pro válcovou frézu s přímými zuby:

$$a_{max} = s_z \cdot \sin \varphi_{max}$$

$$S_t = a_{max} \cdot B = s_z \cdot \sin \varphi_{max} \cdot B \text{ [mm}^2\text{]} [2]$$



Obr. 9 Průřez třísky [2]

Střední tloušťka třísky se vypočítá z objemu odebraného materiálu:

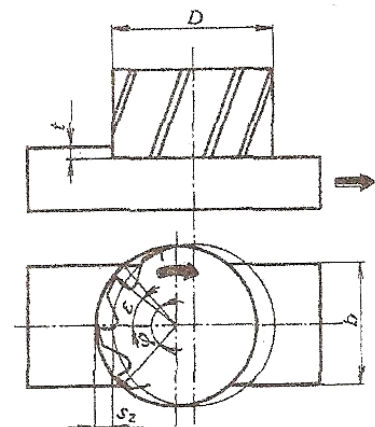
$$V = s_z \cdot t \cdot B = c \cdot a_s \cdot l_t \Rightarrow a_s = \frac{s_z \cdot h \cdot B}{L \cdot l_t} \text{ [mm]} \quad (2-3)$$

Pro frézy se šikmými zuby:

$$c = \frac{B}{\cos \lambda}$$

Pro čelní frézování:

$$S_t = t \cdot a = t \cdot s_z \cdot \sin \varphi \text{ [mm}^2\text{]} [2]$$



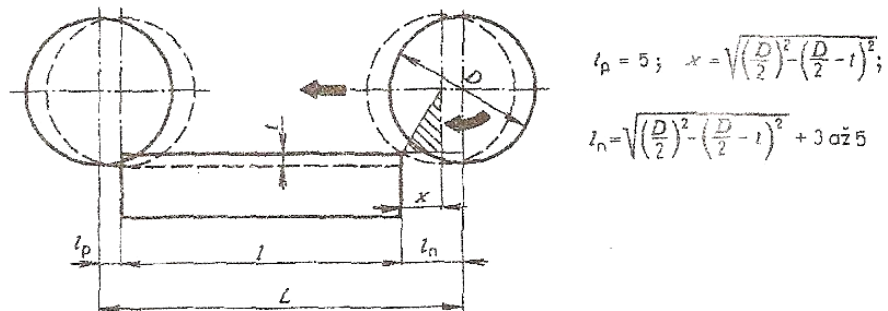
Obr. 10 Čelní frézování [2]

- Řezná síla: $F_z = S_t \cdot p$ [N] [2] (2-4)

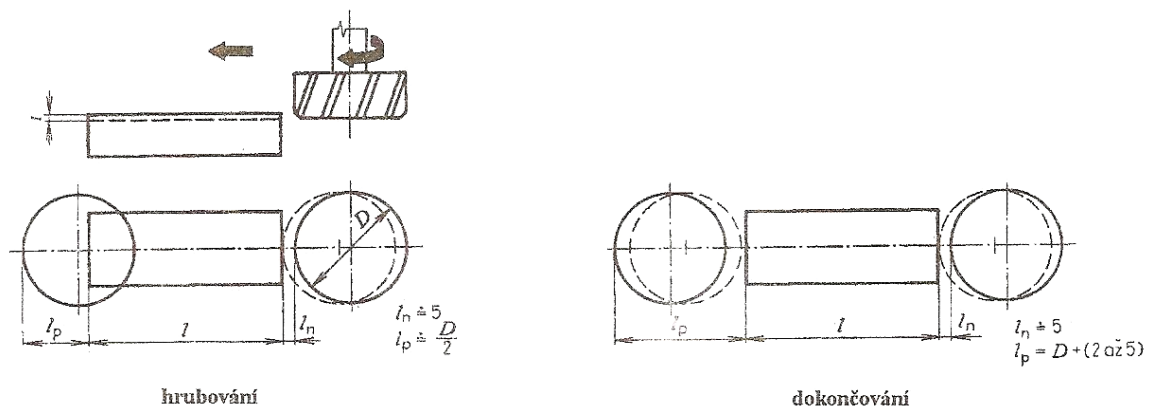
- Příkon elektromotoru: $P_e = \frac{F_z \cdot v}{60 \cdot \eta}$ [W] [2] (2-5)

- Strojní čas: $t_s = \frac{L \cdot i}{s}$ [min] [2] (2-6)

$$L = l_n + l + l_p \text{ [mm]}$$

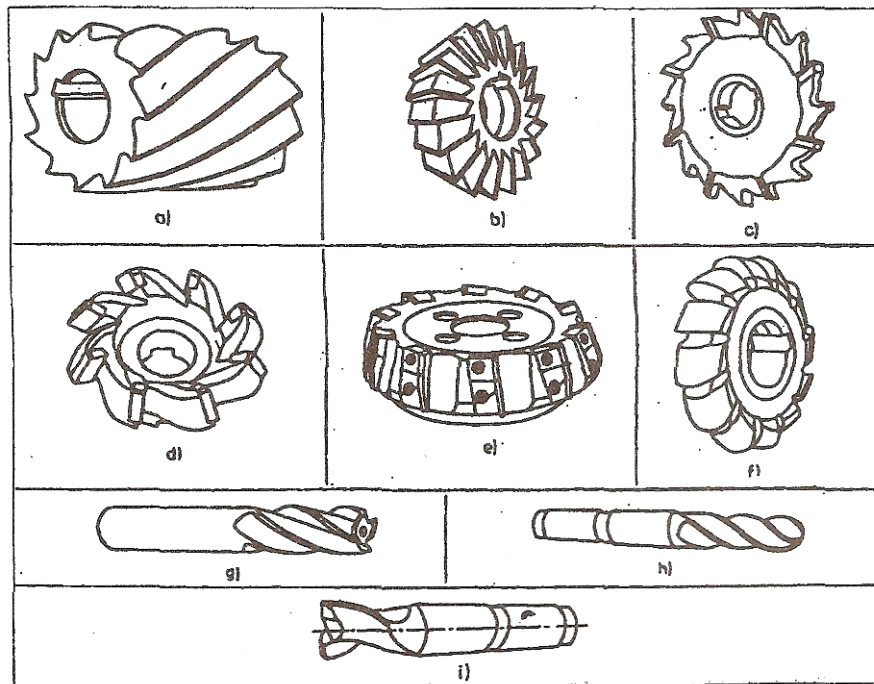


Obr. 11 Strojní čas pro frézování obvodem frézy [2]



Obr. 12 Strojní čas pro frézování čelem frézy [2]

2.2 Frézovací nástroje



Obr. 13 Základní druhy fréz [1]

- a) válcová fréza; b) úhlová fréza; c) kotoučová fréza; d) čelní fréza; e) frézovací hlava;
f) tvarová fréza; g) čelní válcová fréza; h) kopírovací fréza; i) drážkovací fréza

Frézy jako několikabřité nástroje mají břity uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše, u čelních fréz také na ploše čelní. [1]

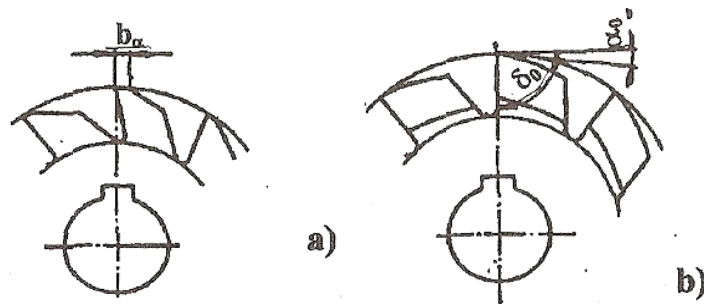
Vzhledem k mnohostrannému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě a k velkému rozsahu technologie frézování se v současné době používá mnoho typů fréz. Frézy lze roztrdit do jednotlivých skupin z různých hledisek, z nichž jsou některá dále uvedena. [1]

Podle nástrojového materiálu břitů se rozliší frézy z rychlořezné oceli a slinutých karbidů. Stále častěji se užívá u fréz řezné keramiky, kubického nitridu bóru a diamantu. Frézy z rychlořezné oceli se zhotovují z kovaného nebo válcovaného materiálu, nebo se lijí metodou vytavitelného modelu. Nejčastěji se používá ocel 19 802, 19 824, 19 830, 19 856. Na lité frézy se používá ocel 19 824. [1]

Výhodou fréz z rychlořezné oceli je jejich poměrně snadná výroba a to, že se dobře ostří a mají i celkem nízké pořizovací náklady. Jejich hlavní nevýhodou je menší produktivita frézování a potřeba použití řezné kapaliny. [1]

Frézy s břitem ze slinutých karbidů postupně nahrazují jednotlivé druhy fréz z rychlořezných ocelí. Pro velké úběry třísek se téměř výhradně používají nástroje se slinutým karbidem. Pro frézování ocelí se nejvíce používají slinuté karbidy P 20, P 30, P40, pro materiály s vyšší houževnatostí a pevností M 10, M 20, často i M 30. Pro frézování litiny a neželezných kovů se nejčastěji používá slinutý karbid K 10. [1]

Tam, kde se intenzifikují řezné podmínky, jako např. u číslicově řízených strojů, se uplatňují povlakované destičky a slinuté karbidy na bázi TiC, Ni, Mo. [1]



Obr. 14 Zuby fréz [1]

a) frézované; b) podsoustružené

Podle tvaru zubů se rozeznávají frézy se zuby frézovanými nebo podsoustruženými. Frézy se zuby frézovanými mají vyfrézované tvary zubových mezer. Čelo i hřbet zubů tvoří rovinné plochy. Úzká fazetka na hřbetě o šířce 0,5 – 2 mm zpevňuje břit.

Frézy s frézovanými zuby se ostří na hřbetě, čímž se mění profil zubu. Frézy se zuby podsoustruženými mají hřbetní plochu vytvořenou jako část Archimédovy spirály, čelo zubu je tvořeno rovinou. Úhel řezu δ_0 se u nich volí $75^\circ - 90^\circ$.

Předností fréz s podsoustruženými zuby je, že se jejich profil při ostření na čele mění nepatrně, takže lze využít značnou část tloušťky zubu. Toto se využívá zvláště u tvarových fréz, které jsou výrobně nákladné.

Podle směru zubů vzhledem k ose rotace frézy se rozlišují frézy se zuby přímými a se zuby ve šroubovici pravé nebo levé. Výhodou uspořádání zubů ve šroubovici je plynulost záběru

v důsledku většího počtu zubů v záběru a postupného vnikání zubu do záběru podél řezné délky nástroje. Sklon šroubovice se volí $10^\circ - 45^\circ$ a někdy i více.

Podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy se rozlišují frézy jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé.

Pro klidný chod frézy má být počet zubů takový, aby současně řezaly minimálně dva zuby.

Jemnozubé frézy mají počet zubů větší, než je dán výrazem $z=1,25\sqrt{D}$ a slouží pro obrábění načisto. Polohrubozubé frézy se používají pro středně velké úběry, hrubozubé frézy pro velké úběry při hrubování. [1]

Podle konstrukčního uspořádání se rozlišují frézy celistvé, které mají těleso a zuby z jednoho kusu rychlořezné oceli, popř. u malých nástrojů ze slinutého karbidu, dále frézy s vkládanými řeznými destičkami z RO nebo ze SK, frézy dělené a sdružené, složené ze sady fréz upnutých na frézovacím trnu k obrábění členitých povrchů jedním záběrem. [1]

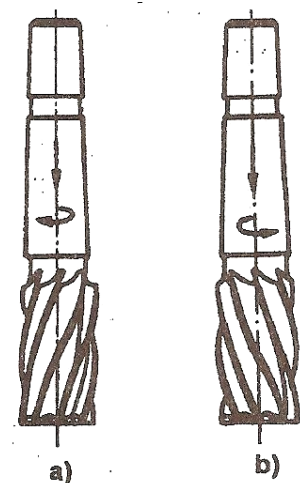
V současné době se stále více uplatňují frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami, které jsou mechanicky připevňovány k tělesu frézy. [1]

Podle geometrického tvaru se dělí frézy na válcové nástrčné nebo se stopkou, u nichž jsou zuby pouze na válcové ploše; čelní válcové frézy nástrčné nebo se stopkou, které mají navíc zuby na čelní ploše; kotoučové frézy s přímými zuby nebo se zuby ve šroubovici, střídavě levé a pravé, se zuby pouze na válcové ploše nebo na jedné, popř. obou čelních plochách; úhlové frézy jednostranné nebo dvoustranné; tvarové frézy. [1]

Z technologického hlediska je možno rozlišit frézy pro frézování rovinných ploch (válcové, čelní frézy a frézovací hlavy) a tvarových ploch (tvarové frézy, frézy na drážky klínů a per, na upínací drážky, kopírovací frézy apod.).

Podle způsobu upnutí fréz na stroji jsou frézy nástrčné a frézy s válcovou nebo kuželovou stopkou.

Podle smyslu otáčení (při pohledu od vřetena) se dělí frézy na pravořezné a levořezné – Obr. 15. [1]



Obr. 15 Druhy fréz podle smyslu otáčení [1]

a) pravořezná; b) levořezná

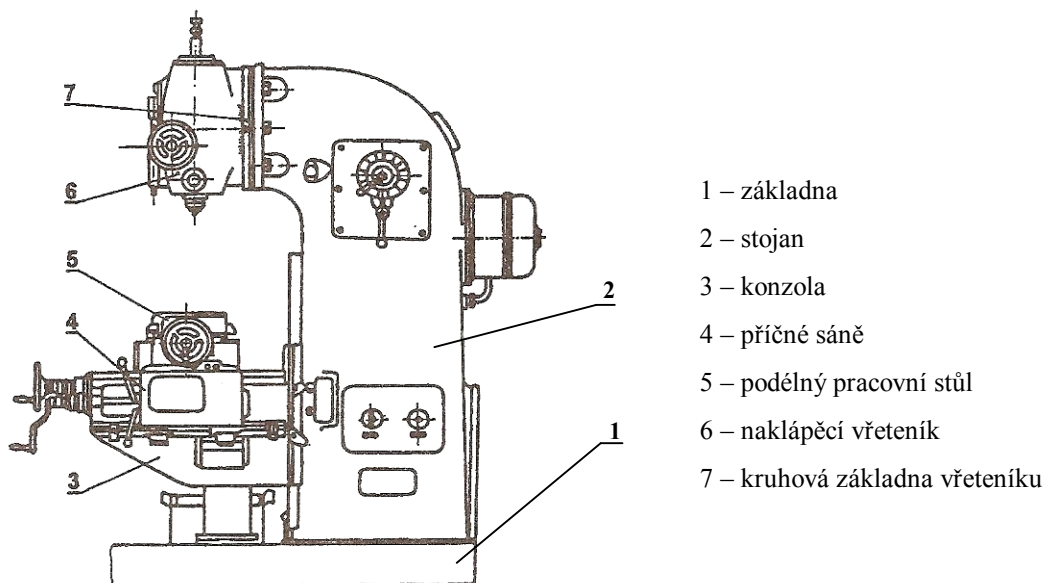
2.3 Frézovací stroje

Frézky jsou vyráběny a dodávány ve velkém počtu modelů a velikostí, často pak s rozsáhlým zvláštním příslušenstvím. Zpravidla se člení do 4 základních skupin – konzolové, stolové, rovinné a speciální. Z hlediska řízení pracovního cyklu se rozliší frézky ovládané ručně a řízené programově (tvrdá automatizace, pružná automatizace). [1]

Velikost frézky určuje šířka upínací plochy stolu a velikost kužele ve vřetenu pro upnutí nástroje. Dalšími důležitými technickými parametry jsou maximální délky pohybu pracovního stolu nebo vřeteníku, rozsah otáček vřetená a posuvů, výkon elektromotoru pro otáčení vřetená a kvalitativní parametry dosahované u obrobených ploch. [1]

2.3.1 Konzolové frézky

Charakteristickou částí těchto strojů je výškově přestavitelná konzola po vedení stojanu. Po konzole se pohybuje příčný stůl s podélným pracovním stolem. Tato kombinace pohybů umožňuje přestavování obrobku upnutého na pracovním stole ve třech pravouhlých souřadnicích vzhledem k nástroji. Konzolové frézky jsou vhodné pro frézování rovinných a tvarových ploch u menších a středně velkých obrobků v kusové a malosériové výrobě. Vyrábějí se ve třech základních variantách, a to jako konzolové frézky svislé, vodorovné a univerzální frézky. [1]



Obr. 16 Konzolová frézka svislá [1]

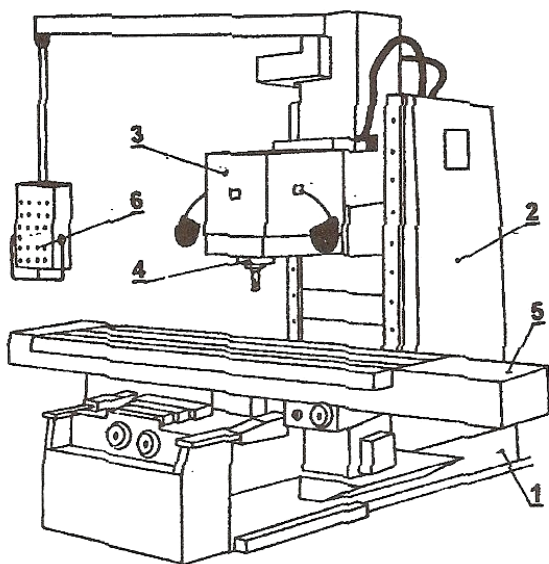
2.3.2 Stolové frézky

Stolové frézky nemají konzolu a mají obvykle podélný a příčný stůl. Pohyb ve svislém směru pro nastavení nástroje vzhledem k obrobku je zajištěn přemísťováním frézovacího vřeteníku pro vedení stroje – Obr. 17.

Na stolových frézkách lze kvalitně a produktivně obrábět rozměrnější a těžší součástky. Vyrábějí se jak v provedení svislém, tak i vodorovném. [1]

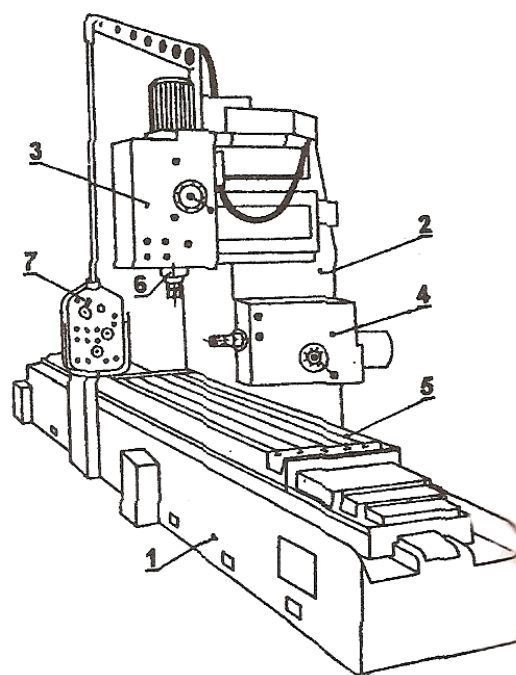
2.3.3 Rovinné frézky

Patří mezi nejvýkonnější druh frézek. Jsou robustní konstrukce a umožňují obrábět těžké obrobky. Jsou vhodné v kusových a malosériových výroбах, uplatňují se však dobře i v sériové výrobě. Pracuje se na nich nejčastěji frézovacími hlavami při obrábění vodorovných, svislých a šikmých ploch a stopkovými frézami při frézování úzkých ploch a drážek. U rovinných frézek má pracovní stůl jeden stupeň volnosti, pohybuje se pouze v jednom vodorovném směru – Obr. 18. [1]



Obr. 17 Svislá stolová frézka [1]

1 – základní deska; 2 – stojan; 3 – vřeteník;
4 – vřeteno; 5 – pracovní stůl; 6 – ovládací panel



Obr. 18 Rovinná frézka [1]

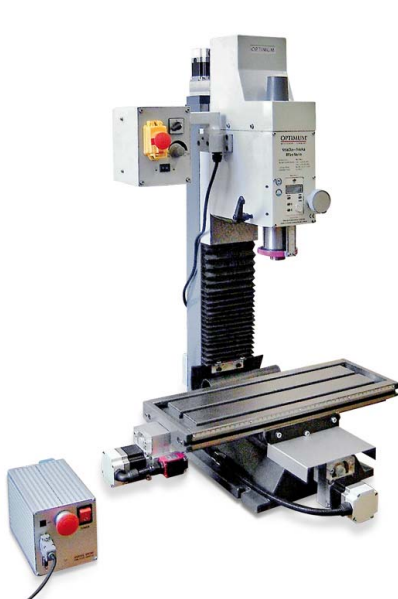
1 – lože; 2 – stojan; 3 – svislý vřeteník;
4 – vodorovný vřeteník; 5 – pracovní stůl;
6 – vřeteno; 7 – ovládací panel

2.3.4 Speciální frézky

Kopírovací frézky – dělíme je na mechanické, hydraulické a elektrokontaktní. Kopírování se provádí ve vodorovných nebo svislých souřadnicích, poloautomaticky nebo automaticky. Další speciální frézky – frézky na ozubení, na závity, na vačky, pantografické. [2]

2.3.5 Číslicově řízené frézky (obráběcí centra)

Pracovní vřeteník těchto strojů může mít vodorovnou nebo svislou osu. Charakteristickým rysem obráběcích center je zásobník na 10 až 60 nástrojů. U tohoto typu strojů můžeme programovat smysl, rychlost a délky posuvů v osách x, y, z, rychlosti otáčení vřetená, můžeme programově měnit nástroje, zapínat a vypínat chlazení apod. Pohyby všech suportů jsou řešeny elektrohydraulickými pohony přes kuličkové šrouby. Pohyblivé části stroje jsou uloženy valivě, bez vůle. [2]



Obr. 19 Stolní CNC frézka

BF 20 Vario CNC [6]



Obr. 20 Univerzální CNC frézka

Opti F 100 CNC-TC [7]

2.3.5.1 CNC stroje

CNC je zkratkou anglického „Computer Numerical Control“, která se používá i u nás, ve spojení s obráběcím strojem lze používat ekvivalent "počítačem řízený obráběcí stroj", tedy obráběcí stroje využívající počítač "CNC řídicí systém" k tomu, aby dokázali obrábět výrobek dle předem připravených technologických NC programů. Základní rozdělení obráběcích strojů je na soustružnické, frézovací a kombinované a dále na EDM, drátořezky. [5]

G-kódy

Technologický NC program je obvykle tvořen řetězcem znaků, příkazů, které začínají písmenem a obvykle následuje číselná hodnota. Například vykonání řádku technologického programu G1 G90 X126.4 Y 13. F250. přesune obráběcí nástroj lineární interpolací, tedy nejbližší možnou cestou z místa původního do místa na obráběcím stroji určeného souřadnicemi X126.4 Y 13. a rychlosti posuvu F=250 mm za minutu. Souřadnice cílového bodu pohybu jsou zadány v absolutních souřadnicích což definuje řídicímu systému příkaz G90. [5]

M-kódy

V NC programu jsou využívány i M-kódy, pomocné funkce, které se starají o ovládání mechanismů obráběcího stroje. M6 T12 je používán například pro cyklus výměny nástroje na frézovacích strojích, M7, M8, M9 ovládají čerpadla chladicí kapaliny, M73, M74 zpevňují osu C při vrtacích operacích na soustružnicko frézovacích strojích atd. Byla ustanovena pravidla pro používání G-kódů a M-kódů, která vnesla řád do používání základní příkazů tak, aby výše uvedené platilo pro CNC stroje řízené standardními řídicími systémy. Přesto každý výrobce CNC řídicích systémů má řadu doplňkových kódů a funkcí. Tyto informace lze najít v manuálu pro obsluhu a programátora daného CNC obráběcího stroje. [5]

Nulové body obrobku

Nulové body obrobku, posunutí počátku souřadnic obrobku vůči nulovému bodu stroje je základní úkon, který musí seřizovač udělat než začne odladovat NC program. Jedná se o najetí počátku souřadnic obrobku po jeho ustavení na stůl a zapsání posunutí do tabulky nulových bodů. Toto se dělá ručně pomocí kalibračních měrek nebo ručních měřicích sond,

nebo automaticky pomocí vřetenových měřicích sond a najížděcího NC programu. Nulový bod obrobku je počátek od kterého vychází všechny souřadnice NC programu. Nastavení délek a průměrů nástrojů do tabulky nástrojů, je druhý základní úkon před vlastním obráběním a je ho možno opět udělat ručně na referenční měrku, nebo pomocí dotykových nebo laserových nástrojových sond. Správné nastavení průměru nástroje je předpokladem pro správnou funkci kompenzace průměru/rádiusu nástroje, G40, G41, G42. Tato funkce zkráceně řečeno umožňuje obrábět požadovaný tvar různým průměrem/rádiusem nástroje dle stejného programu. Tedy hrubovat i dokončovat pomocí jedné dráhy rozdílným nástrojem. [5]

Pojem absolutní, přírůstkové (inkrementální) zadávání souřadnic pohybu

Ve výčtu základní terminologie NC programování nelze zapomenout na pojem absolutní, nebo přírůstkové (inkrementální) zadávání souřadnic pohybu. V případě příkazového řádku G1 G90 X126.4 Y13. F250. se jedná o pohyb do souřadnice X126.4 Y13.mm od nulového bodu obrobku. Kdežto zápis G1 G91 X126.4 Y13. F250. definuje přímočarý pohyb z místa ve kterém se nacházíme o hodnotu v ose X126.4 a v ose Y13.mm. Většina moderních CNC systémů podporuje obě metody zadávání souřadnic pohybu, starší systémy pracují jen s inkrementálním zadáváním souřadnic pohybu. Pro orientaci v programu a přehlednost je lepší pracovat s absolutními souřadnicemi pakliže to umožňuje CNC řídicí systém, tedy souřadnicemi vztaženými k nulovému bodu obrobku. [5]

Hlavička

Každý NC program začíná Hlavičkou. Jedná se o příkazový řádek (řádky), který jasně charakterizuje typ CNC řídicího systému a způsob, jakým je program vykonáván. Dále jsou v hlavičce NC programu předvoleny modální G-kódy, které jsou výchozí pro celý NC program. Modální znamená, že neplatí jen na jedné příkazové řádce, ale že jsou aktivní až do řádku, kdy je změněn jiný kód. Příkladem je G0, tedy povel pro přesun po přímce rychloposuvem, který není nutno opakovat, až do řádky, kdy je potřeba změnit typ pohybu na pohyb po kružnici (šroubovici) G2, G3 nebo pohyb po přímce G1 posuvem pracovním F. Konec programu M2, nebo M30 zastaví vykonávání příkazových řádků a řádky za těmito příkazy tak budou ignorovány. [5]

Vrtací, soustružnické a frézovací cykly

Výrobci řídicích systémů nabízejí uživatelům pro usnadnění programování CNC strojů vrtací cykly, soustružnické cykly a frézovací cykly. V případě že je CNC obráběcí stroj dovybaven měřicími sondami, je možné využívat i Měřicích cyklů. Co to jsou pevné cykly? Jedná se o předdefinované dráhy obráběcích nástrojů, nebo měřicích sond, které umožňují vykonat určitý způsob obrábění (měření) na základě vyplněných parametrů cyklu. Příkladem je hluboké vrtání s plným výplachem, kde programátor-technolog volí vrtací cyklus, např. G83 a zadává pouze souřadnice místa vrtání X a Y, celkovou hloubku Z, hodnotu čela materiálu R a hloubku, po které musí vrták vyjet (vypláchnout) z díry. Takto zadaný příkazový řádek definuje, že díra bude vrtána s výplachem po technologem zvolené hloubce a po vykonání všech pohybů, bude pokračovat obrábění dalším řádkem programu. Využití předdefinovaných cyklů, především vrtacích a měřicích šetří čas technologa a výrazně snižuje jeho možnou chybu hrozící z upsání při vytváření NC programu. Detaily jednotlivých předdefinovaných cyklů najdete v dokumentaci konkrétního CNC řídicího systému. Vytvořené dráhy nástroje, například konturování, nebo kapsování je možné u většiny současných CNC systémů rotovat podle středu rotace, měřitkovat, nebo zrcadlit. Využití těchto funkcí umožňuje programátorovi-technologovi využít jednou napsanou dráhu nástroje pro více obrábění. [5]

Psaní NC programu

Pro vlastní psaní NC programu stačí jakýkoli textový editor, který máte ve vašem počítači. NC program následně přenesete do CNC řídicího systému a nemusíte tak stát u stroje a ťukat NC kódy přímo u stroje. K přenosu lze využít různé způsoby, stále nejrozšířenější je přenos RS 232 využívající sériový port vašeho PC nebo dnes už i použití USB, ale v současnosti lze zapojit CNC stroje také do počítačových sítí a adresář CNC řídicího systému sdílet v rámci počítačové sítě ve firmě. Vždy závisí na možnostech CNC řídicího systému. Při psaní nezapomínejte na základní pravidlo, že CNC řídicí systémy neznají háčky a čárky a jejich použití v textu může být příčinou, proč vám nepůjde program spustit. Při volbě textového editoru lze využívat i volně šířené editory určené přímo pro vytváření NC kódů, nebo si koupit NC editory, které nejenom že vám usnadní vlastní vytváření NC kódu, ale dokážou i simulovat vlastní dráhu nástroje před tím, než ho spustíte v CNC stroji. [5]

2.3.5.2 Rozdělení CNC obráběcích strojů

U CNC obráběcího stroje je jednou z nejdůležitějších věcí, konstrukce stroje, která nám určuje tuhost a přesnost CNC obráběcího stroje. Samozřejmě důležitý je i odvod třísek a i pravidelná údržba, čištění stroje, vodící a veškerých pohybových částí stroje. Konstrukce CNC obráběcího stroje shrneme do pár důležitých bodů. [5]

Charakteristické znaky konstrukce NC strojů

- Zmenšení vůlí v pohyblivých částech stroje (kuličkový šroub)
- Zmenšení tření (za klidu i za pohybu) - použití kluzných vedení a obložení, použití valivých vedení, použití hydrostatických vedení.
- Tepelná stabilizace stroje z hlediska dilatace materiálu - úvaha o použití ocelí, litin, plastbetonu.
- Odvod třísek: kontejnery, pásové dopravníky, sběrné kanály
- Automatická výměna nástrojů ze zásobníků různé konstrukce
- Opatření vodících ploch a zvýšení tuhosti rámu
- Adaptivní systémy řízení
- Aktivní rozměrová kontrola a použití digitálních měřidel
- Chlazení: emulze (hydrol), minerální oleje
- Pohony NC strojů (asynchronní motory, stejnosměrné motory, krokové motory, servopohony, lineární motory, hydromotory)
- Použití převodových ústrojí se stupňovitou a plynulou změnou otáček [5]

NC a CNC stroje

V sériové a hromadné výrobě se automatizace strojů a výrobních linek řeší pomocí tvrdé a pružné automatizace.

Tvrdá automatizace: Pro jednoúčelové stroje

Pružná automatizace: NC a CNC obráběcí centra a stroje pro malosériovou výrobu

- Schopnost stroje reagovat na určitý program

- Volitelné programové řízení nebo pevný program [5]

Rozdělení CNC obráběcích strojů:

jednoúčelové - univerzální

- CNC soustruhy
- CNC frézky
- CNC brusky
- CNC obráběcí stroje na výrobu ozubení
- CNC obráběcí centra (víceosé stroje)
- CNC stavebnicové stroje
- CNC stroje pro nekonvenční metody obrábění (elektrojiskrové obráběcí stroje)
- CNC pálicí stroje (laser, vodní paprsek, plazma, kyslíko-acetylenový plamen) [5]

2.3.5.3 Údržba CNC obráběcích strojů

Co vedlo k závadě na našem stroji? Z jakého důvodu došlo k poškození stroje? Co bylo příčinou, která způsobila odstavení stroje z provozu? Kdy bude oprava hotová? Otázky tohoto typu dostává snad každý servisní technik obráběcích strojů a nejen obráběcích strojů, ale všech zařízení vyžadující údržbu. Ve většině případů je hlavním důvodem právě zanedbání pravidelné údržby strojů a zařízení. Především v dnešní době ekonomické krize, snižuje mnoho koncových uživatelů výdaje na pravidelnou údržbu strojů. Počáteční úspora finančních prostředků je v konečném účtování mnohonásobně překročena a nezřídka vede i k existenčním problémům firmy. Pravidelná údržba strojního zařízení a jeho příslušenství, je nezbytným předpokladem nejen pro spolehlivý chod stroje a dlouhou životnost, ale především k bezproblémovému provozu a zajištění kontinuální výroby dle plánovaného harmonogramu. Odpovědný pracovník by měl zkoordinovat všechny potřeby a požadavky na výrobu a zajistit pravidelnou údržbu i v době velkého výrobního vytížení strojů. Při instalaci a předání nového stroje, by mělo být povinností dodavatele, podrobně seznámit obsluhu nebo zodpovědného pracovníka s pravidelnou údržbou daného stroje, jako i s druhy a množstvím jednotlivých náplní stroje. [5]

Zásady údržby obráběcích strojů

Jako každá prováděná činnost, tak i údržba obráběcích strojů by se měla řídit stanovenými zásadami:

- Pravidelné a efektivní provádění údržby spočívá ve vypracování časového plánu údržby a jeho důsledném dodržování.
- Vedení provozního deníku každého stroje, kde se provede záznam z každé vykonané údržby. Měly by být zaznamenány i jednotlivé závažnější či náhodná chybová hlášení. Tyto záznamy pak slouží servisním technikům k určení a rychlému odstranění jednotlivých závad.
- Evidence náhradních dílů vedených jako opotřebení provozem stroje (např. filtrační vložky, žárovky, stěrače teleskopických krytů atd.)
- Označení a přesná specifikace jednotlivých náplní stroje
- Vedení komplexního přehledu o prováděném servisním zásahu na jednotlivých strojích a nákladů spojených s odstraněním závady.
- Zjištěné závady neprodleně odstranit, v případě nutného odborného zásahu kontaktovat servisního technika [5]

Časové intervaly údržby obráběcích strojů

Časové intervaly údržby obráběcích strojů udávaných jednotlivými výrobci je ve své podstatě shodný:

- Denní údržba
- Týdenní údržba
- Měsíční údržba
- Roční údržba
- Údržba dle provozních hodin [5]

Monitorování změn přesnosti strojů.

K dlouhodobému a spolehlivému provozu stroje, se schopností stále produkovat přesné díly v požadované kvalitě, mimo pravidelnou údržbu, výrazně napomáhá pravidelné

monitorování změn přesnosti strojů (v závislosti na čase), pomocí několika testů. Velmi často tyto testy odhalí chyby o kterých nikdo nevěděl a mnohdy jsou zdrojem zmetkovitosti.

Klíčovými prvky jsou základní měřicí přístroje:

- Renishaw QC10 ballbar – měření kruhové interpolace. Při měření přístrojem ballbar vykonává stroj podle CNC programu pohyb po kruhové dráze se známým poloměrem. Shoda mezi naprogramovanou a skutečnou dráhou vypovídá o přesnosti stroje. Z vyhodnocení testu lze identifikovat 21 různých chyb s výpočtem, jaký podíl mají jednotlivé chyby na celkové naměřené odchylce. Pokud není poškození mechanické, lze úpravou parametrů odstranit jednotlivé chyby okamžitě.
- Vibrotest – měření vibrací rotujících zařízení. Je třeba si uvědomit, že vibrace rotujících zařízení, úzce souvisí se stavem ložisek (vřetena), převodovek, nesouosostí (spojky), trhlinami v důležitých komponentech, nevyvážeností atd. Proto jejich monitorování patří k základním metodám diagnostiky.
- Indikátor Power Test – měření upínací síly. Příčinou nekvalitního obrábění a možného následného poškození vřetene stroje může být snížená síla, kterou je nástroj ve vřetenu upnut. Pomocí tohoto přístroje zjistíme velikost upínací síly a případné poškození upínání.
- Laserový interferometr – měření přesnosti polohování stroje. Přístrojem lze měřit odchylky polohy, ale i souosost, přímost, rovnoběžnost, kolmost lineárních vedení. Pracuje s laserovým paprskem jako s referenčním etalonem přímosti. Přístroj se skládá s laserového vysílače a laserového přijímače. Dokáže velice jednoduchým způsobem detekovat jemné změny polohy dopadajícího paprsku na přijímacím senzoru. Kompenzací naměřených hodnot, je možné polohování jednotlivých souřadnic upravit téměř okamžitě, (pokud se nejedná o mechanické poškození). [5]

Proč provádět údržbu obráběcích strojů.

Účelnost provádění pravidelné údržby a kontrolních měření je prokázána v několika směrech:

- Zvýšení životnosti strojů
- Dlouhodobé zajištění přesnosti strojů
- Snížení zmetkovitosti

- Úspora finančních prostředků
- Zajištění bezpečnosti práce [5]

Firmy, které již pravidelnou a kvalitní údržbu strojů aplikovaly na své provozy, dnes vykazují nemalé úspory vynakládané na opravu strojů, oproti době, kdy se strojům nevěnovala dostatečná pozornost. Dnes již mohou prokazatelně dokázat, že prvotní investice je vlastně úsporou finančních prostředků. Málokterá firma má dostatečné vybavení na počáteční zmapování technického stavu svých strojů a především v počátečním stadiu zavedení pravidelné údržby a kontrolních měření, je nutná účast servisního technika. Dle požadavků zákazníka jsou servisní střediska připraveny poskytnout požadované služby nebo komplexní řešení pro spolehlivý chod strojů. V mnoha případech firmy zvolily navázání úzké spolupráce se servisním střediskem, které periodicky zajišťuje veškeré preventivní prohlídky strojů, kontrolní měření a v neposlední řadě i dodání potřebných náhradních dílů a náplní do jednotlivých strojů, včetně čištění nádrží na jednotlivé náplně. [5]

Služby servisního střediska.

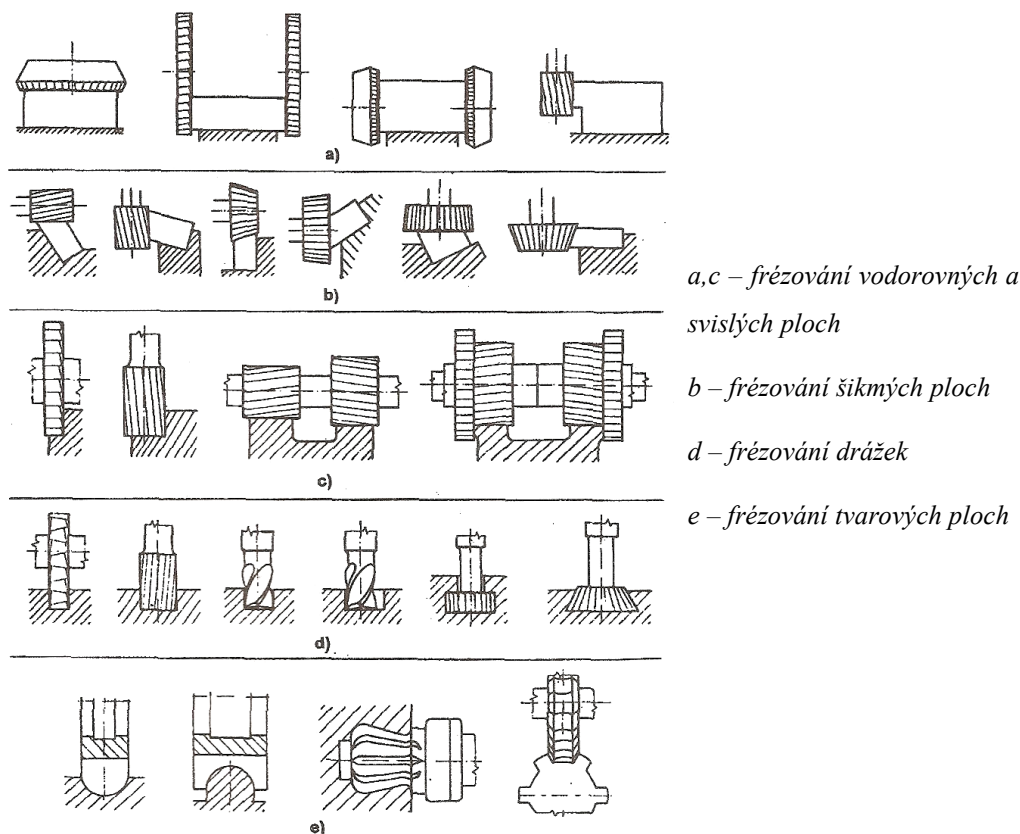
Kvalitní služby servisního střediska by měly obsahovat:

- Počáteční zmapování technického stavu jednotlivých strojů
- Vypracování plánu na odstranění zjištěných závad
- Vytvoření a zavedení systému pravidelné údržby
- Provozování systému pravidelné diagnostiky pomocí měřících přístrojů
- Zaškolení obsluhy stroje k vykonávání pravidelné údržby
- Dodávání náhradních dílů
- Vedení dokumentace k jednotlivým strojům [5]

2.4 Charakteristické frézovací technologie

Při frézování se obrábějí nejčastěji rovinné a tvarové plochy vodorovné, svislé a šikmé – Obr. 21. [1]

Častou frézovací operací je frézování drážek – Obr. 21 d). Nejvýhodnější je frézování drážek kotoučovými frézami, u nichž se dosáhne většího výkonu než při méně tuhé fríze stopkové. Drážka musí být otevřená z obou stran, nebo musí mít výběh odpovídající poloměru frézy. Pro frézování jednostranně nebo dvoustranně uzavřených drážek jsou výhodné stopkové čelní válcové frézy a drážkovací frézy. Drážkovací fréza má průměr rovný šířce drážky. Drážky v drážkových hřídelích se frézují tvarovými frézami buď postupně dělicím způsobem na vodorovné konzolové frézce, nebo odvalovacím způsobem na frézce odvalovací. Šroubové drážky se obrábějí na univerzální konzolové frézce frézou odpovídajícího profilu. Stůl s upnutou součástí je natočen o úhel stoupání šroubovice a součást se dělicím přístrojem otáčí tak, že při jedné otáčce se stůl posune o velikost stoupání šroubovice – Obr. 21 b). [1]



Obr. 21 Frézování různých ploch – příklady [1]

3 TECHNOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY ŘEZNÉHO PROCESU

Řezný proces je v reálném obráběcím systému charakterizován celou řadou technologických veličin. K základním technologickým charakteristikám patří geometrické a silové veličiny, práce a výkon řezání, teplo a teplota řezání a kmitání obráběcího systému. [1]

3.1 Tepelná bilance řezného procesu

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_e , takže $Q_e \cong E_e$.

Hlavní zdroje tepla jsou v oblasti plastických deformací při tvoření třísky, v oblasti tření třísky po čele nástroje a v oblasti tření hřbetu po obrobené ploše, takže: [1]

$$Q_e = Q_{pd} + Q_\gamma + Q_\alpha \quad [J] \quad [1] \quad (3-1)$$

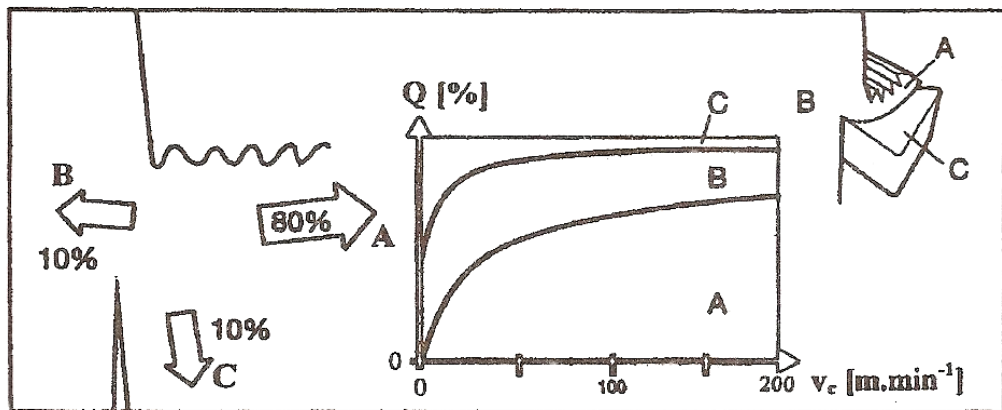
Vzniklé teplo řezného procesu Q_e je odváděno do jednotlivých prvků obráběcího systému: [1]

$$Q_e = Q_t + Q_o + Q_n + Q_{pr} \quad [J] \quad [1] \quad (3-2)$$

Podíl jednotlivých odváděných složek tepla řezného procesu do třísky, obrobku, nástroje a prostředí závisí na tepelné vodivosti materiálu obrobku a nástroje na řezných podmínkách (především řezné rychlosti), řezném prostředí (způsobu chlazení a mazání) a na geometrii břitu řezného nástroje. Největší část tepla vzniklého při obrábění je v ideálním případě odváděna ze zóny řezání třískou. Teplota třísky zatěžuje řezný nástroj jen tak dlouho, dokud je s ním v kontaktu. Největší teplo vzniká v rovině stříhu. Proto působí rozsah a jakost styku mezi třískou a nástrojem přímo na výkon. Malé mezní úhly roviny stříhu mohou, jako důsledek malého úhlu čela, zvýšit odvod tepla do obrobku. Podél zóny kluzu se mění množství energie na teplo. Stav tenké tavné zóny mezi třískou a nástrojem je ovlivňován kontinuálním váznutím materiálu třísky a jeho odstřihováním na čelní ploše nástroje. Nasazením moderních břitových destiček je možné proces obrábění optimalizovat tak, aby byl přechod tepla do břitu optimalizován. [1]

Teplo vznikající v oblasti hřbetu, kde se dráhy nástroje a opracovaného obrobku rozdělují, by mělo být udržováno na co možná nejnižších hodnotách. Dostatečně velký úhel

hřbetu a zamezení výrazného opotřebení hřbetu, které ve svém konečném efektu úhel hřbetu zmenšuje, jsou důležitými faktory. Nebereme-li je v potaz, vzniknou vysoké teploty, které mají za následek rychlý lom břitu. [1]



Obr. 22 Obecné rozdělení odváděného tepla při realizaci řezného procesu [1]

A – tříška; B – obrobek; C – nástroj

4 ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ

Prostředí v řezné zóně má významný vliv na kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Nejčastěji používaná řezná média jsou kapaliny, plyny a mlhy. [1]

4.1 Technologické požadavky na řezné prostředí

Z technologického a provozního hlediska se na řezné prostředí specifikují určité požadavky, k nimž patří zejména: chladicí účinek, mazací účinek, čistící účinek, provozní stálost, ochranný účinek, zdravotní nezávadnost a přiměřené náklady. [1]

Chladicí účinek

Chladicím účinkem se rozumí schopnost řezného prostředí odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každé prostředí, které smáčí povrch kovů a pokud existuje tepelný spád mezi povrchem obrobku a prostředím. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že řezné prostředí obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla. Chladicí účinek řezného prostředí bude záviset na jeho smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto veličiny větší, tím bude vyšší chladicí účinek řezného prostředí. Stejně důležité je v souvislosti s tím průtokové množství řezného média. Výparné teplo zvětšuje chladicí účinek prostředí, ale přílišné odpařování řezného média není žádoucí. Aby bylo řezné prostředí využito hospodárně z hlediska čistoty a zdraví, je nutné v některých případech vznikající páry odsávat. [1]

Mazací účinek

Mazací účinek je vyjádřen schopností prostředí vytvořit na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření, má-li řezné prostředí velkou afinitu ke kovu, nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky v mikroskopické povrchové mezní vrstvě. Mazací účinek znamená proto zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek řezného prostředí se uplatní zejména u dokončovacích obráběcích operací a při provádění náročných operací, jako je protahování, výroba závitů nebo výroba ozubení. Mazací schopnost řezného

prostředí je závislá na viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. S rostoucí viskozitou se ale zhoršuje pronikání řezného média mezi třecí plochy, jeho proudění a také odvod tepla. Viskoznější řezné médium ulpívá také více na třískách a tím dochází ke značným ztrátám. Pevnost mazací vrstvy se zvyšuje přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají také pronikání do trhlin deformovaného kovu a usnadňují tak vlastní proces řezání. [1]

Čistící účinek

Čistící účinek řezného prostředí znamená, že jeho přívod odstraňuje třísky z místa řezání a zlepšuje např. vlastnosti broušícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Řezné prostředí má také bránit slepování částic, které vznikají při řezání a usnadňovat jejich usazování. Velký význam má čistící účinek pro broušení a u těch operací, kdy řezné prostředí musí odnášet třísky z místa řezu např. při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr. [1]

Provozní stálost

Provozní stálost je možné hodnotit dobou výměny řezného prostředí. Dlouhodobost výměny řezného prostředí je podmíněna zárukou, že se jeho vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit. Stárnutí řezného prostředí olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností řezného prostředí, jeho rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátě ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad. Provozní stálost řezného prostředí závisí na jeho fyzikálních a chemických vlastnostech a na teplotě. Čím je řezné prostředí složitější, tím větší má sklon k nestabilitě. [1]

Ochranný účinek

Ochranný účinek řezného prostředí se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Toto je důležitý požadavek pro to, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat, aby se také stroje chránily před korozi. Pro vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do řezného prostředí přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. Dalším důležitým požadavkem je to, aby řezné prostředí nerozpouštělo nátěry obráběcích strojů a nebylo agresivní vůči gumovým těsněním. [1]

Zdravotní nezávadnost

Požadavek na zdravotní nezávadnost řezného prostředí vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích přichází obsluhující pracovník do styku s nosným médiem. Proto řezné prostředí nesmí být zdraví škodlivé, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku a nesmí být jedovaté. Řezné prostředí také nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. Zdravotní nezávadnost řezného prostředí závisí také na jeho provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky a pod. [1]

Přiměřené náklady

Přiměřené náklady souvisí především se spotřebou řezného média. Při rozboru nákladů je nejdříve nutné posoudit jejich vliv na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a spotřebu energie. Po tomto rozboru musí následovat hodnocení řezného prostředí s ohledem na jeho provozní stálost, spotřebu a výměnu. Je třeba zvážit i náklady na likvidaci řezného prostředí. Jedině podrobný technicko-ekonomický rozbor může rozhodnout o vhodnosti určitého druhu řezného prostředí. Hodnocení podle cenových rozdílů je sice jednoduché, ale zcela nedostatečné, poněvadž řezné prostředí ovlivňuje parametry rozhodující o ekonomii obrábění často ve větším rozsahu než je jeho cena. Řezné prostředí je jedním z prostředků, jak ovlivňovat hospodárnost procesu obrábění. Při jeho výběru je nutné komplexně zvážit jeho působení na proces řezání, tj. na průběh plastických deformací v zóně řezání, na opotřebování nástroje a na změnu struktury povrchu obrobené plochy. [1]

4.2 Řezné kapaliny

Řezné kapaliny je možné členit na kapaliny s převažujícím chladícím účinkem a na kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Toto rozdělení však přesně nevystihuje sortiment řezných kapalin, které jsou v současné době na trhu. Stále se totiž projevuje snaha zvyšovat mazací účinky i u řezných kapalin s převažujícím chladícím účinkem. Moderní druhy řezných kapalin tento požadavek plní a tak je stírán rozdíl mezi oběma skupinami. [1]

4.2.1 Druhy řezných kapalin

Řezné kapaliny se rozdělují na tyto skupiny: vodné roztoky, emulzní kapaliny, mastné oleje, zušlechtěné řezné oleje, syntetické řezné kapaliny. [1]

Vodné roztoky

Vodné roztoky jsou nejjednodušší řezné kapaliny, ale mají málo výhod. Voda, jako jejich základ, vyžaduje řadu úprav, jako je její změkčování, přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodný roztok musí být vždy alkalický. U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. Vodné roztoky mají velmi dobré chladicí a čistící účinky. [1]

Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé. Obvykle se jedná o olej ve vodě. Přitom je třeba využít další složky, tzv. emulgátory, které zabrání koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě. Tyto látky zmenšují mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin a stabilizují emulzi. Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze. S rostoucí koncentrací emulgačního prostředku ubývá chladicího účinku je dána také koncentrací a vlastnostmi emulgačního prostředku. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě **pH** emulze, ale v daleko menší míře než u vodných roztoků. Emulze o hodnotě **pH = 8 až 9** poskytuje již dostatečnou ochranu proti korozi slitin železa. Emulzní kapaliny zahrnují asi 80% všech používaných řezných kapalin. [1]

Řezné oleje

Řezné oleje jsou zušlechtěné minerální oleje. Přísady, které se používají, zvyšují tlakovou únosnost a mazací vlastnosti. Jako přísady, které zlepšují mazací schopnosti řezných olejů, se používají mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva.

Mastné látky jsou zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny, nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují mazací schopnosti, ale ne za extrémních tlaků. [1]

Organické sloučeniny jsou sloučeniny určitých prvků, jako je síra, chlor, fosfor. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady. Na povrchu vytvářejí vrstvičku kovových

mýdel, která zabraňují kovovým svárům a usnadňují kluzný pohyb troucích se ploch. Sloučeniny s chlorem zmenšují tření, ale jeho účinnost klesá při teplotách nad 400°C. Sloučeniny s fosforem jsou proto účinnější a jako neúčinnější se projevily kombinace sloučeniny síry, chloru a fosforu.

Pevná maziva, která se používají jako přísady do řezných olejů, působí při řezání mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu, odolnou proti tlakům a zlepšují mazací schopnosti oleje. Mezi pevná maziva patří grafit a sirník molybdenu. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu. [1]

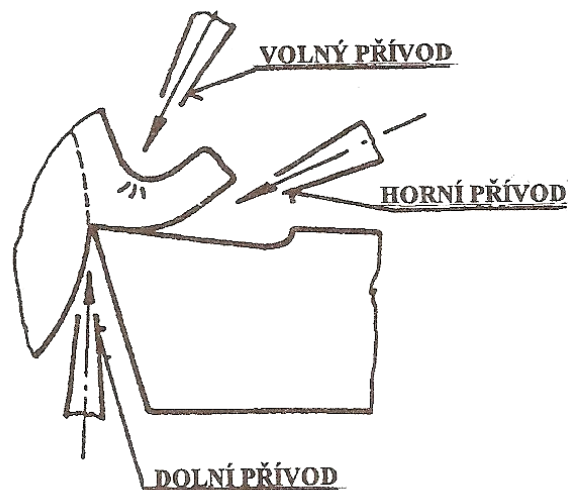
Syntetické a polosyntetické kapaliny

Teto druh řezných kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Syntetické řezné kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel – glykolů, které ve vodě emulgují, nebo se rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího procesu. Postupně se vyvinuly syntetické řezné kapaliny se zlepšenými mazacími a antikorozními vlastnostmi. Aplikace syntetických řezných kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, má dobré čistící vlastnosti a jednoduchou přípravu. V syntetických řezných kapalinách je možné rovněž rozptýlit oleje, čímž vznikají polosyntetické řezné kapaliny, které mají příznivější mazací schopnosti. V polosyntetických kapalinách jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích. [1]

4.2.2 Přívod řezné kapaliny do místa řezu

Způsob přívodu řezné kapaliny do zóny řezání významně ovlivňuje parametry řezného procesu, zejména trvanlivost břitu nástroje a jakost obrobené plochy. [1]

Tento způsob přívodu řezné kapaliny nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí s úpravou dodávanou výrobcem ke každému obráběcímu stroji. Toto zařízení je tvořeno nádrží na řeznou kapalinu, čerpadlem a rozvodovým potrubím. Množství dodávané řezné kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem. Variantně se upravuje poloha výstupu řezné kapaliny z výstupní trysky, jak je naznačeno na Obr. 23. [1]



Obr. 23 Přívod řezné kapaliny do místa řezu [1]

– varianty uspořádání pro ortogonální řezání.

Tlakové chlazení

Při tlakovém chlazení je řezná kapalina přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem. Průměr výstupní trysky bývá 0,3 až 1 mm a tlak 0,3 až 3 MPa. Řezná kapalina je přiváděna zesponu na břit nástroje, přímo do místa řezu. Tento způsob chlazení je vhodný tam, kde vzniklé teplo má prokazatelně špatný vliv na trvanlivost nástroje.

Množství přiváděné kapaliny se pohybuje v rozmezí 0,5 až 2 l.min⁻¹. Jedním z nedostatků tohoto způsobu je, že se řezná kapalina rozstříkuje a tvoří mlhu a proto je třeba řešit vhodné krytování pracovního prostoru stroje, aby se zabránilo znečišťování pracovního prostředí. [1]

Podchlazování řezné kapaliny

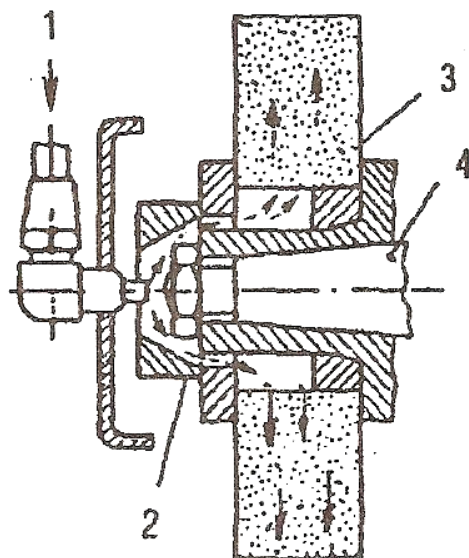
Podchlazování řezné kapaliny na teplotu nižší než je teplota okolí přispívá ke zvýšení trvanlivosti nástrojů. Běžné druhy řezných kapalin mohou být při zachování řezných vlastností podchlazeny na 5 až 7°C, oleje potom na 15 až 20°C. Podchlazení na nižší teploty je omezeno stálostí řezné kapaliny u emulzí a houstnutím u řezných olejů. Snížením teploty u řezné kapaliny na teploty pod bodem mrazu znamená, že je nutné použít jiné složení řezné kapaliny. Takováto úprava může přinést zvýšení výkonu obrábění. [1]

Chlazení řeznou mlhou

Řezná kapalina je v tomto případě rozptýlena tlakem vzduchu vytékajícího z trysky v rychlosti až $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Velmi dobrého odvodu tepla z místa řezu se dosáhne tím, že rozpínající se vzduch obsahuje částičky řezné kapaliny a tím má větší schopnost přejímat vzniklé teplo. Výsledky publikovaných zkoušek ukazují na podstatné zvýšení výkonu obrábění a úsporu řezné kapaliny. [1]

Vnitřní chlazení

Vnitřní chlazení je metodou, která přináší výrazné zvýšení výkonu obrábění. Při soustružení je tato metoda vhodná pro nástroje se slinutými karbidy. Tím se dá zvýšit řezná rychlost o 5 až 15%. U vrtáků je vnitřní chlazení upraveno tak, že řezná kapalina je přiváděna otvory v tělese nástroje až do místa řezu. Tohoto způsobu chlazení se využívá při vrtání hlubokých děr a při vrtání těžkoobrobitelných materiálů. Také zvýšení tlaku řezné kapaliny přiváděné do místa řezu vede ke zvýšení výkonu obrábění a případně k lepšímu odvodu třísek. Vnitřní chlazení se dá použít i při broušení – Obr. 24. Řezná kapalina je přiváděna do příruby brousícího kotouče a odstředivou silou postupuje přes póry v kotouči až do míst styku brousícího kotouče s obrobkem. Vnitřní chlazení zlepšuje drsnost povrchu obrobené plochy a zvětšuje trvanlivost kotouče. Při tomto způsobu chlazení je však nutné zajistit dokonalé čištění řezné kapaliny. [1]



- 1 – přívod řezné kapaliny
- 2 – příruba
- 3 – brousící kotouč
- 4 – vřeteno brusky

Obr. 24 Vnitřní chlazení brousícího kotouče [1]

Mazání minimálním množstvím kapaliny a suché obrábění při ofuku místa řezu

V současnosti jsou při obrábění kromě klasických způsobů chlazení řezného procesu aplikovány i některé moderní a ekologické technologie chlazení a mazání, k nimž patří zejména mazání minimálním množstvím kapaliny (MQL) a suché obrábění při ofuku místa řezu mraženým nebo chlazeným vzduchem.

Mazání minimálním množstvím kapaliny umožňuje speciální zařízení, které vytváří aerosol vzduchu a oleje. Pomocí tohoto zařízení je velmi malé množství oleje (v řádu ml za hodinu) dodáváno přímo na stykové plochy mezi nástroj a třísku, případně obrobený povrch, čímž se snižuje množství tepla vznikajícího vlivem tření. Naproti tomu při chlazení proudem chlazeného či mraženého vzduchu je množství generovaného tepla snižováno intenzivním chlazením řezného procesu. Proud vzduchu, který může na výstupu z trubice dosahovat teplot až $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, je vytvářen zařízením nazvaným vírová trubice. [3]

Systém chlazení Jetstream Tooling™

Společnost Seco® reagovala na potřeby leteckého průmyslu a pro zlepšení obrábění těžkoobrobitelných slitin vyvinula nový revoluční systém chlazení - Jetstream Tooling™. Systém Jetstream Tooling™ směřuje chladicí kapalinu do optimálního bodu v blízkosti řezné hrany. Proud vniká mezi třísku a čelo bříty, čímž zlepšuje regulaci třísek a zvyšuje životnost nástroje, a to i při vyšších řezných podmínkách.

Efektivní snížení teploty

Efektivní odvod tepla z oblasti řezu je jeden z nejdůležitějších faktorů, který ovlivňuje výkon nástroje. Při obrábění je nutné odvádět teplo z řezné zóny rychle, aby chlazení bylo opravdu účinné. Proud chladicí kapaliny je přivedený přesně do místa řezu a účinnost chlazení tak mnohem vyšší.

Systém chlazení Jetstream Tooling účinně snižuje teplotu v místě řezu, třísky jsou prudce zchlazeny, takže ztvrdnou a zvýší se jejich křehkost.

Produktivita a životnost

Systém Jetstream Tooling umožňuje dosáhnout jak dlouhou životnost nástroje, tak i vysokou produktivitu. Pomocí vyšších řezných rychlostí, delší životnosti a lepšího odvodu třísek je možné dosáhnout nízké náklady ve výrobě. [4]

4.3 Plynné řezné prostředí

Plynné látky jako řezné prostředí se běžně nepoužívají. U některých obráběných materiálů se chladí vzduchem. Podchlazování vzduchu nepřineslo velké úspory. Všechny plynné látky mají relativně malý chladicí účinek. Jedním z účinných způsobů chlazení plynem je chlazení stlačeným CO₂. Tento způsob je doporučován jako vhodný při obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Tenký paprsek plynu se přivádí do místa řezu pod tlakem 0,5 až 7 MPa. Tato metoda, i když přináší možnost zvýšení výkonu obrábění, má řadu nevýhod, k nimž patří především vysoké náklady na CO₂, jisté nebezpečí při jeho používání a nutnost dokonalého odsávání a větrání pracoviště. Zvláštním příkladem aplikace plynného řezného prostředí je tzv. suché obrábění, kdy řezným prostředím je atmosférický vzduch. Tento způsob obrábění se v souvislosti bouřlivým vývojem řezných materiálů rozšiřuje a výhodně uplatňuje. [1]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 IDEOVÝ NÁVRH

Základní zadání této práce znělo, sestavit systém chlazení pro univerzitní CNC frézku HWT 442, která jakékoliv chlazení do této doby postrádala. Na frézce se nejvíce obrábí dřevo, plasty a dural. Dřevo a plasty při obrábění chladit nepotřebují. Nicméně, např. při frézování hlubokých kapes, se hodí ofuk stlačeným vzduchem do místa řezu bez nutnosti otvírat bezpečnostní kryt a třísky z místa řezu vyfukovat ručně. Oproti tomu při obrábění duralu je pro vyšší produktivitu a jakost obrobeneho povrchu výhodnější použití chlazení emulzní kapalinou. Tyto základní požadavky na chladicí systém vedly ke zvolení způsobu chlazení řeznou mlhou, kde bude možné v případě potřeby použít pouze ofuk stlačeným vzduchem, nebo bude do místa řezu přiváděna kombinace stlačeného vzduchu a emulzní kapaliny.



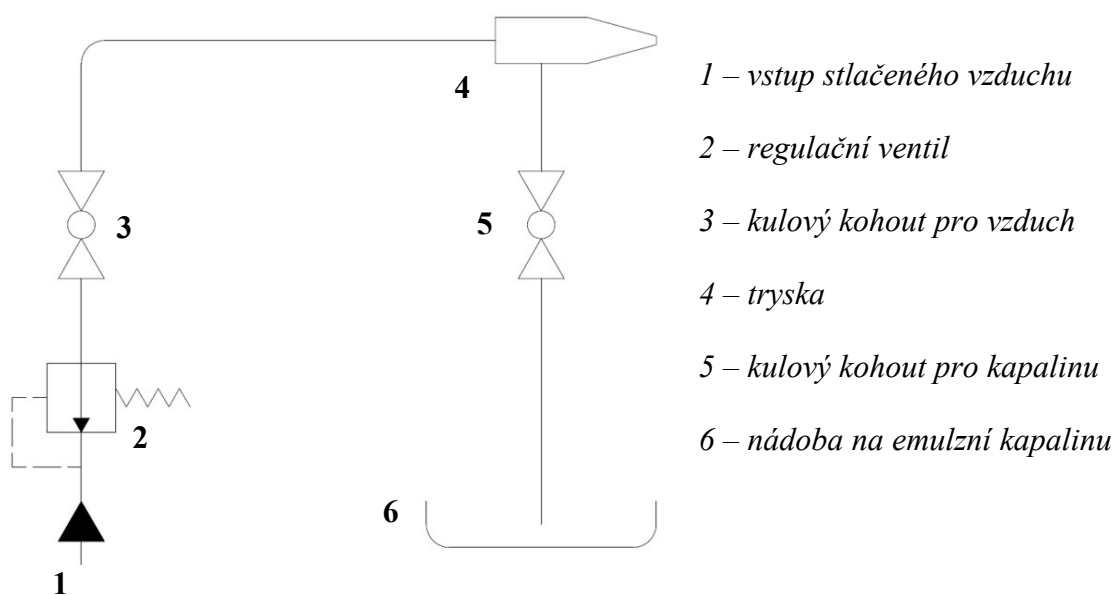
Obr. 25 Univerzitní CNC frézka HWT 442 bez systému chlazení

5.1 Požadavky pro konstrukční řešení chladicího okruhu

Návrh chladicího systému probíhal s ohledem na četnost využití, jelikož se CNC frézka používá z větší části k obrábění dřeva a plastů. Důraz se kladl na jednoduchou montáž, resp. případnou demontáž, a finanční nenáročnost celého systému, ale také na přesný přívod do místa řezu a možnost nastavení poměru a množství přiváděného chladicího média. Chladicí médium bude tvořit směs stlačeného vzduchu a emulzní kapaliny, která se bude směšovat v trysce a vytvářet řeznou mlhu. Na rozvod stlačeného vzduchu a emulzní kapaliny budou použity polyuretanové hadice. Možnost uzavření a regulace průtoku chladicího média zajistí kulové kohouty a regulační ventil. Pro odvod emulzní kapaliny ze stroje bude navržena plastová vana.

5.2 Chladicí obvod – varianta 1

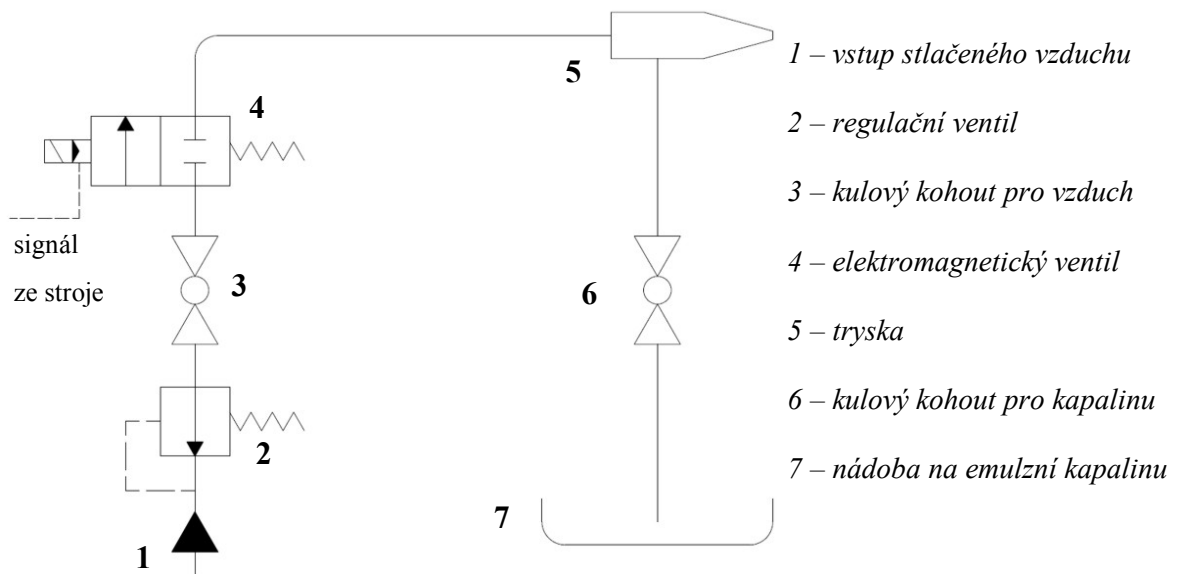
Varianta 1 byla navržena následovně – vstupem 1 bude přiváděn stlačený vzduch. Jeho regulace a plynulé nastavení tlaku bude probíhat v regulačním ventilu 2, uzavření a otevření přívodu vzduchu se bude ovládat kulovým kohoutem 3. Při průchodu stlačeného vzduchu tryskou 4 vznikne potřebný podtlak pro nasátí emulzní kapaliny z nádoby 6. Uzavření a otevření přívodu emulzní kapaliny se bude ovládat kulovým kohoutem 5.



Obr. 26 Schéma systému ovládaného manuálně

5.3 Chladicí obvod – varianta 2

Varianta 2 pracuje na stejném principu jako varianta 1 s tím rozdílem, že za kulový kohout 3 je zařazen elektromagnetický ventil ovládaný signálem z CNC 4, který bude ovládán obráběcím programem. To znamená, že spouštění a vypínání stlačeného vzduchu bude naprogramováno v ISO kódu.



Obr. 27 Schéma systému ovládaného elektromagnetickým ventilem

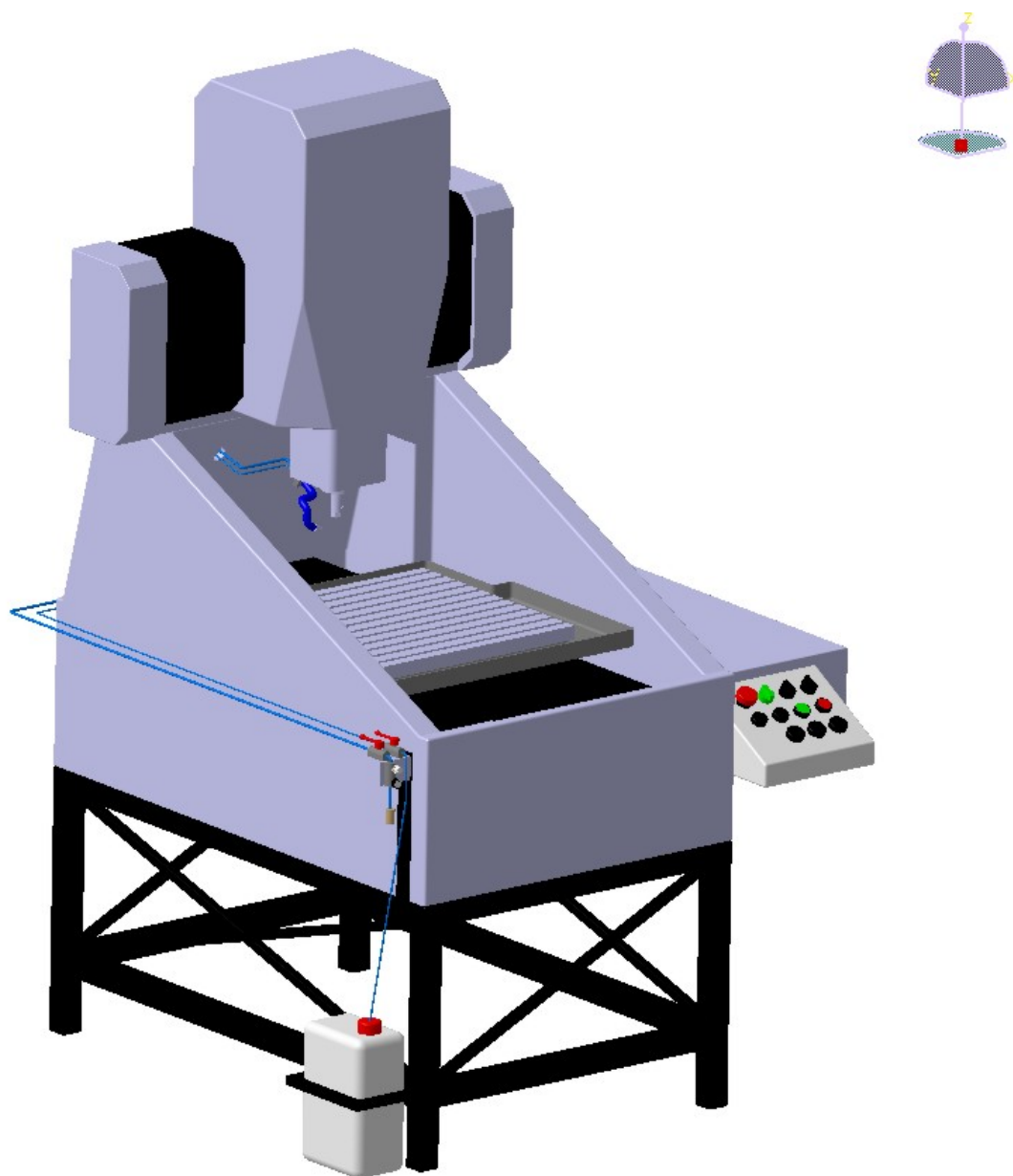
5.4 Zvolené řešení

Možnost spouštět a vypínat systém pomocí varianty 2 byla zamítnuta z důvodu vyšší složitosti a obtížnějšího zapojení a zprovoznění. Spouštění a regulace celého chladicího systému bude prováděna manuálně podle varianty 1. Nicméně je možno elektromagnetický ventil ovládaný signálem z CNC, při požadavku na zjednodušení obsluhy, později připojit.

6 POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

6.1 Konstrukční řešení v softwaru CATIA

Návrh konstrukčního řešení byl před samotnou realizací nejdříve kompletně zkonstruován v softwaru CATIA a prokonzultován s vedoucím bakalářské práce.



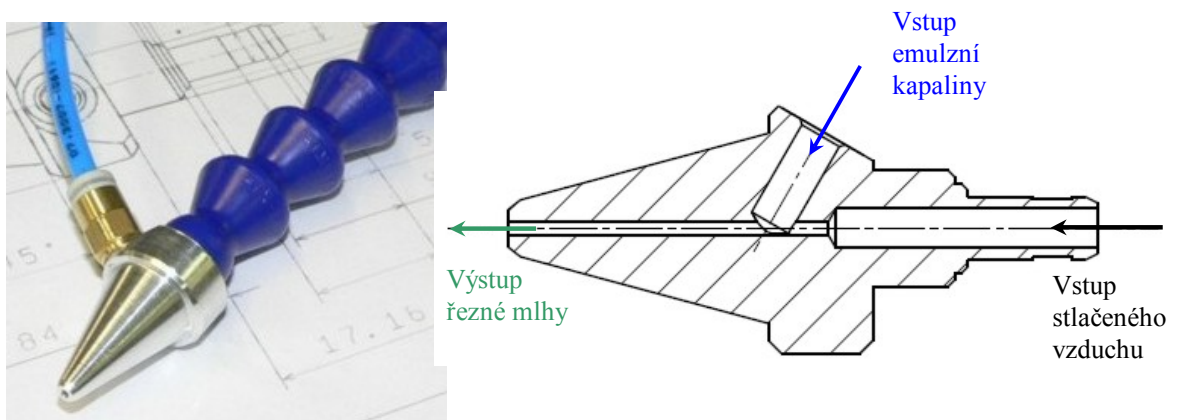
Obr. 28 Návrh konstrukčního řešení v softwaru CATIA

6.2 Tryska

Přívod do místa řezu byl navržen ve formě řezné mlhy z důvodu úspory emulzní kapaliny a dále také, aby bylo možné systém použít k ofuku místa řezu pouze stlačeným vzduchem. Pro toto řešení bylo nutné vyrobit trysku, ve které se bude směšovat stlačený vzduch s emulzní kapalinou a která při průtoku stlačeného vzduchu vytvoří dostatečný podtlak pro nasátí emulzní kapaliny z nádoby. Jako materiál pro výrobu trysky byl zvolen dural kvůli požadavkům na pevnost trysky a zároveň kvůli jednoduchému obrábění.

6.2.1 Tryska č. 1

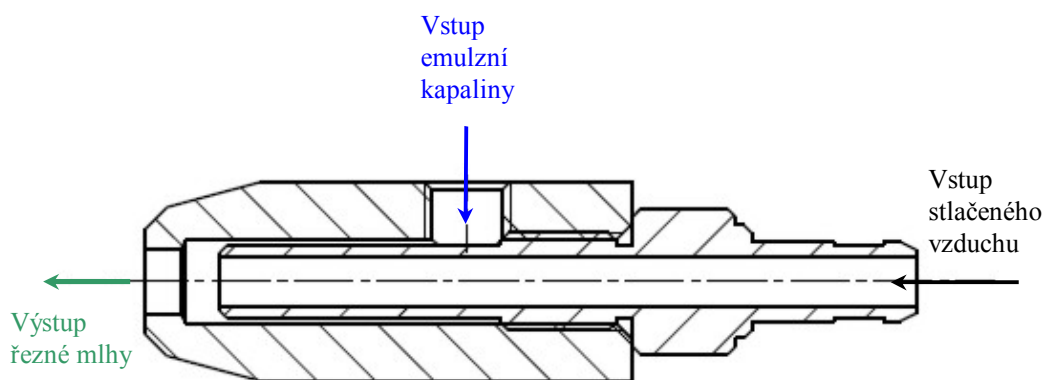
První navržená a vyrobená tryska měla průchozí díru vedenou její osou pro stlačený vzduch. Další otvor pro emulzní kapalinu byl vyroben z boku pod úhlem 60° a propojen do díry pro stlačený vzduch. Tato konstrukce nebyla schopna vytvořit v trysce potřebný podtlak pro nasátí emulzní kapaliny z nádoby. Byla funkční jen v případě uzavření nádoby, ve které se ale následně po uzavření začal vytvářet přetlak. Toto řešení bylo nežádoucí a bylo zamítnuto.



Obr. 29 Tryska č. 1

6.2.2 Tryska č. 2

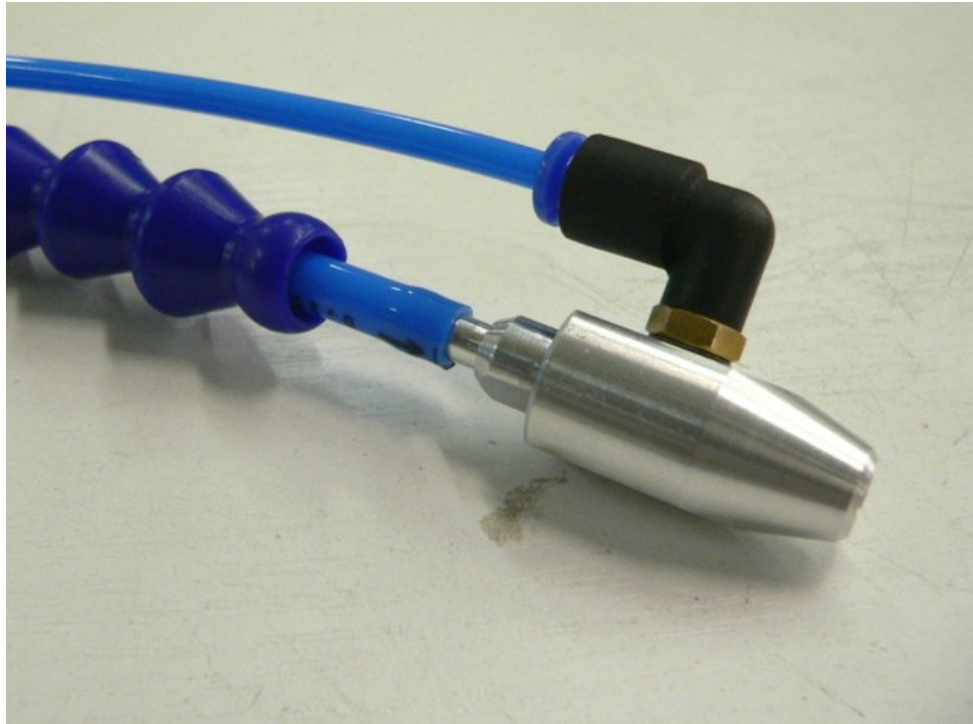
Druhá tryska byla navržena na principu airbrush stříkací pistole a to ze dvou dílů. Vnitřním dílem prochází stlačený vzduch, do vnějšího dílu je přiváděna emulzní kapalina. Toto konstrukční řešení dokáže vytvořit potřebný podtlak pro nasátí kapaliny z nádoby i bez jejího uzavření, z trysky vychází chladicí řezná mlha a tímto odpovídá požadavkům i návrhu.



Obr. 30 Sestava trysky č. 2

6.3 Přesný přívod do místa řezu

Přesný přívod do místa řezu je zajištěn kloubovou hadicí LI-NOX, která se běžně používá pro přívod emulzní kapaliny na různých obráběcích strojích. Výhoda kloubových hadic je, že se dají přesně nasměrovat, pevně drží požadovaný tvar a pomocí kloubových článků jde nastavit potřebná délka. Pro toto konstrukční řešení byla zvolena kloubová hadice o rozměru 1/4", které má nejmenší vnitřní průměr 6,8mm. Díky tomu se do ní dala navléknout kalibrovaná polyuretanová hadice s vnějším průměrem 6mm pro rozvod stlačeného vzduchu. Tryska je zasunuta do polyuretanové hadice a společně s ní nastrčena do kloubové hadice LI-NOX. Řešení je esteticky i funkčně velmi vyhovující.



Obr. 31 Sestavení trysky, polyuretanových hadic a kloubové hadice LI-NOX



Obr. 32 Přesný přívod chladicí řezné mlhy do místa řezu

6.4 Uchycení kloubové hadice LI-NOX ke stroji

Kloubová hadice LI-NOX je na konci opatřena kloubovým hrdlem s vnějším závitem G1/4". Toto hrdlo je určeno pro montáž na stroj. CNC frézku bylo nutné vybavit komponentem, do kterého bude kloubová hadice uchycena. K tomu účelu se vyrobil duralový držák s průchozím vnitřním závitem G1/4", který se pomocí šroubů M5 namontoval na úchyt z duralového plechu tloušťky 2mm. Tato sestava byla namontována na hlavu stroje do závitů M4, které jsou na stroji určeny pro ochranný kryt. Ten samozřejmě zůstal zachován.



Obr. 33 Uchycení kloubové hadice LI-NOX ke stroji

6.5 Pevné uchycení kulových kohoutů a redukčního ventilu ke stroji

Při konstrukčním řešení bylo nutné vyřešit uchycení kulových kohoutů a redukčního ventilu tak, aby byly namontovány pevně k CNC frézce, zároveň byly v místě obsluhy stroje a toto umístění zajišťovalo snadnou a rychlou obsluhu systému chlazení. Pro pevné uchycení kohoutů byl zhotoven duralový rozvodný kvádr s dírami pro průchod stlačeného vzduchu a emulzní kapaliny a vnitřními závity pro montáž kulových kohoutů a nástrčných přípojek pro polyuretanové hadice. Redukční ventil pro stlačený vzduch byl pomocí kolena s vnějším závitem namontován na kulový kohout. Na vstup redukčního ventilu byl namontován spojovací trn s vnitřním závitem, na který byl přes rychlospojku připojen přívod stlačeného vzduchu. Do kulového kohoutu pro emulzní kapalinu byla namontována hadicová vsuvka

s vnějším závitem a na ni nasunuta hadice pro přívod kapaliny z nádoby. Duralový kvádr byl na místo snadné obsluhy a stroj namontován pomocí držáku vyrobeného z ocelové trubky čtvercového průřezu. Všechny závity u použitých komponentů byly utěsněny teflonovou páskou.



Obr. 34 Pevné uchycení komponentů ke stroji

6.6 Nádoba na emulzní kapalinu a její uchycení ke stroji

Jako nádoba na emulzní kapalinu byl zvolen plastový kanistr o objemu 5l. Materiál kanistru je částečně průhledný, aby bylo dobře poznat zaplnění kanistru kapalinou. Pro stabilní umístění nádoby ke stroji byl svařen obdélníkový rám z ocelových trubek čtvercového průřezu a namontován na podstavu stroje.



Obr. 35 Nádoba na emulzní kapalinu a její uchycení ke stroji

6.7 Rozvod chladícího média

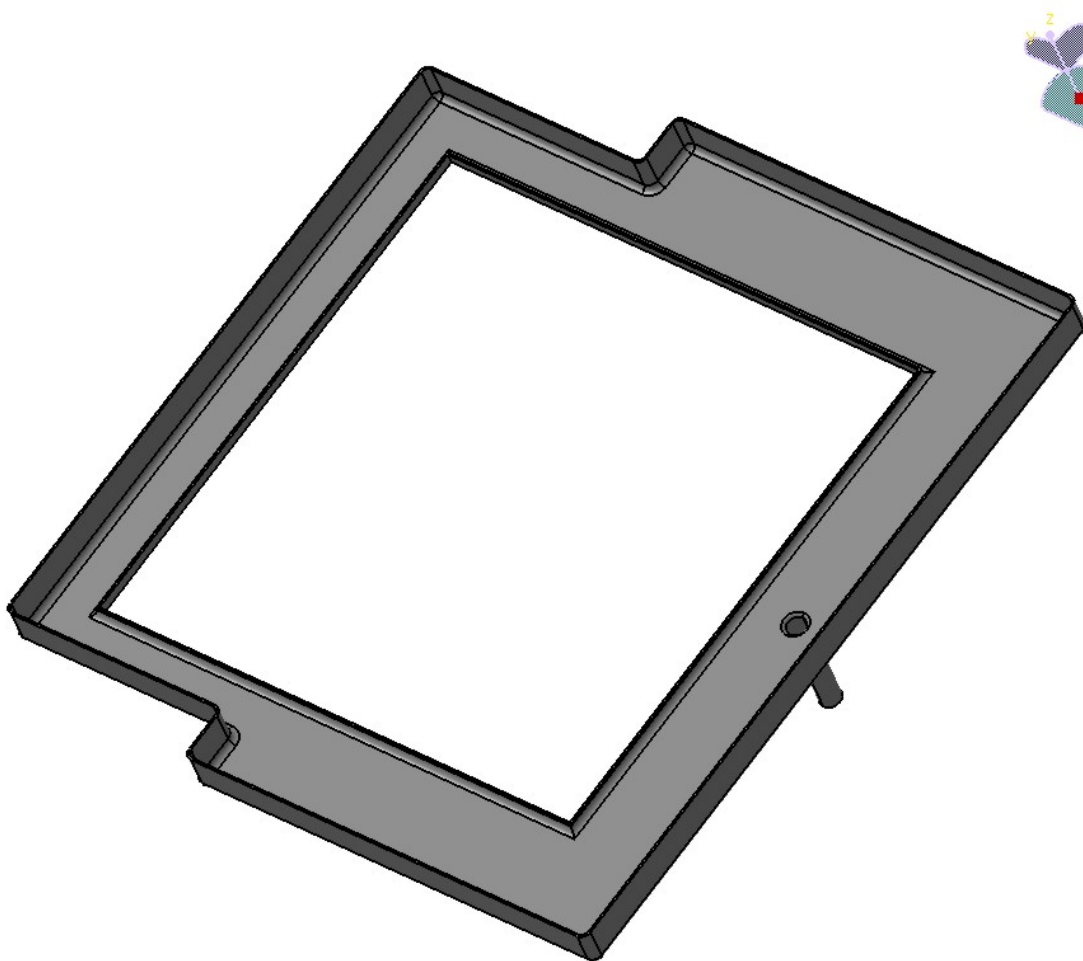
Pro rozvod chladícího média byly použity polyuretanové hadice. Stlačený vzduch má vstup nejdříve spirálovou hadicí, která je připojená na redukční ventil. Za rozvodným kvádrem pokračuje až do trysky kalibrována hadice s vnějším průměrem 6mm. Voda je do kolového kohoutu přiváděna hadicí s vnitřním průměrem 6mm, mezi rozvodným kvádrem a tryskou teče kalibrovanou hadicí s vnějším průměrem 4mm.



Obr. 36 Rozvod chladícího média

6.8 Odvod emulzní kapaliny ze stroje

Pro odvod emulzní kapaliny ze stroje byla navržena plastová vana se spádem a odvodem skrz filtry na třísky a nečistoty polyuretanovou hadicí přes vnitřní část stroje zpět do nádoby na emulzní kapalinu. Jelikož se počítá s využitím emulzní kapaliny při chlazení v malém množství, bylo rozhodnuto, že se plastová vana prozatím vyrábět nebude. Pokud provoz chladicího systému ukáže nutnost odvodu emulzní kapaliny, tato vana bude vyrobena metodou vakuového tváření.



Obr. 37 Návrh plastové vany v softwaru CATIA

7 VÝROBA KOMPONENTŮ

Většina komponentů, které se nenakupovaly, se vyráběla v univerzitní dílně. Na hrotovém soustruhu se vyráběly obě trysky, na konvenční frézce se vyráběl držák kloubové hadice LI-NOX a rozvodný kvádr. Díry se vrtaly na sloupové vrtačce, trubky čtvercového průřezu byly kráceny na rozměr pásovou pilou. Mimo univerzitní dílnu proběhlo svaření obdélníkového rámu pro nádobu na emulzní kapalinu. Úchyt z plechu pro držák hadice LI-NOX byl vyřezán na elektroerozivní drátové řezačce.

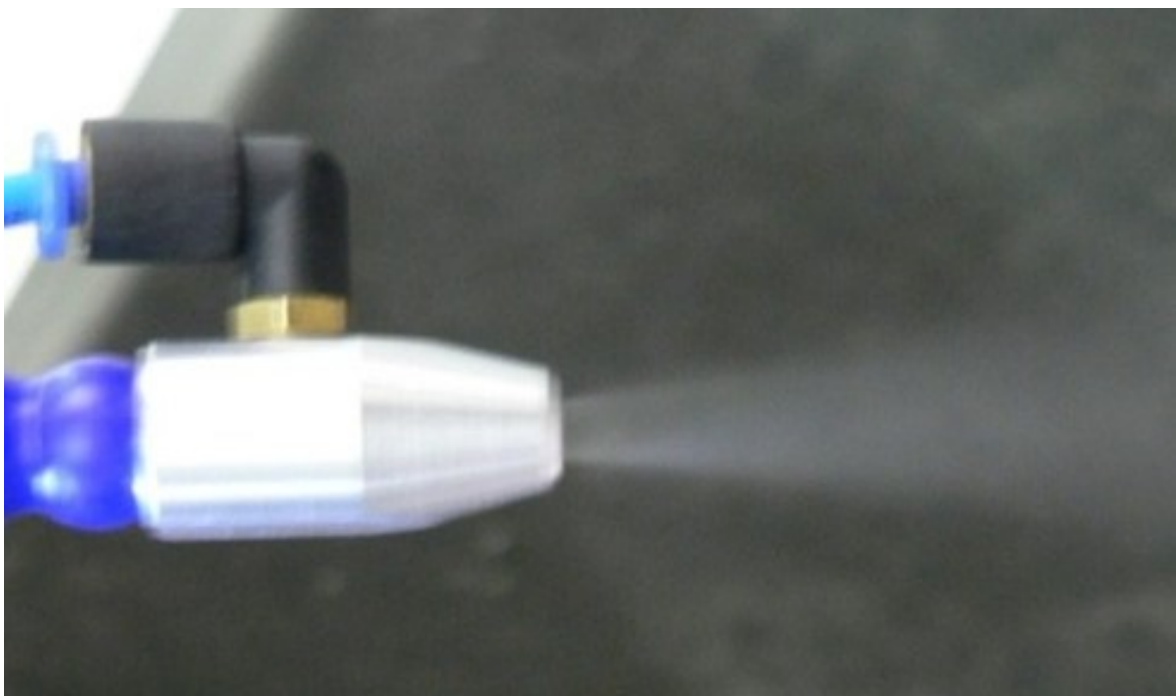


Obr. 38 Výroba trysky č. 2 na hrotovém soustruhu

8 MONTÁŽ A OVĚŘENÍ FUNKCE

Montáž systému na stroj byla zaměřena na konstrukční jednoduchost, aby se co nejméně zasahovalo do stavby stroje. Držák kloubové hadice LI-NOX byl namontován na hlavu stroje (viz. kapitola 6.4), aby se tryska pohybovala vždy s dráhou nástroje a nemusela se při chodu stroje nijak upravovat její poloha. Polyuretanové hadice byly do pracovní části stroje přivedeny průchozí trubkou pro odsávání, které se nepoužívá. Stabilní poloha polyuretanových hadic u stroje byla zajištěna stahovacími páskami, pro které bylo do plastových krytů stroje vyvrtáno několik děr. K uchycení držáku pro rozvodný kvádr a obdélníkového rámu nádoby na emulzní kapalinu byly na podstavě stroje vyrobeny čtyři závity M6.

Po montáži celého systému chlazení na CNC frézku proběhlo ověření správné funkce. Bylo nutné zkontrolovat utěsnění všech montovaných komponentů, kterými prochází chladicí médium a schopnost trysky vytvořit řeznou mlhu, resp. schopnost nasát emulzní kapalinu z nádoby. Ověření funkce proběhlo bez komplikací a dalších úprav.



Obr. 39 Řezná mlha vycházející z trysky

9 FINANČNÍ VYHODNOCENÍ

Při výběru na nákupu komponentů pro systém chlazení se bral ohled především na cenu a nakupovaly se pouze nejnútnejší komponenty. Co šlo vyrobit, bylo vyrobeno v univerzitní dílně. Celý systém se povedlo sestrojít v ceně 1082 Kč, což splnilo podmínky základní myšlenky a to finanční nenáročnosti. V celkové ceně není započítána cena materiálu polotovarů pro komponenty, které se vyráběly. Materiál na polotovary poskytla univerzitní dílna.

Tab. 1 Finanční vyhodnocení

Komponent	Množství [ks]	Cena [Kč]
Sada LI-NOX 1/4" - chladící hadice 30cm	1	127
LI-NOX - Segment 1/4" kloubový	9	36
Regulátor tlaku vzduchu 1/4"	1	228
Koleno G1/4" s vnějším závitem	1	66
Hadicová vsuvka 6mm s vnějším závitem G1/4"	1	40
Spirálová hadice ke kompresoru 10m	1	128
Kulový kohout G1/4"	2	151
Vsuvka ES12NA standard, vnitřní závit G1/4"	1	70
Hadička PU 8/5,5 1m	1	38
Hadice Festo PUN - 6x1 6m	1	198
Celkem		1082

ZÁVĚR

System chlazení pro CNC frézku, který se prostřednictvím této bakalářské práce povedlo navrhnout a sestrojít používá jako výchozí řezné médium chladicí řeznou mlhu. Díky promyšlené konstrukci systému tato chladicí řezná mlha splňuje specifické požadavky pro řezné prostředí, které by mělo na obráběcím stroji být. Chladicí účinek zajišťuje kombinace stlačeného vzduchu a emulzní kapaliny. Mazací účinek je zajištěn emulzní kapalinou, což je směs dvou vzájemně nerozpustných kapalin. V tomto případě olej a voda. Čistící účinek vykonává ofuk stlačeným vzduchem. Provozní stálost, ochranný účinek a zdravotní nezávadnost je nutné dodržet výběrem vhodné emulzní kapaliny. Chladicí řezná mlha využívá z velké části hlavně stlačený vzduch, takže i přiměřené náklady, které jsou dány nízkou spotřebou emulzní kapaliny jsou dodrženy.

Základními požadavky v ideovém a konstrukčním návrhu byli jednoduchá montáž, resp. případná demontáž a finanční nenáročnost celého systému. Jedinými zásahy do stavby stroje při montáži bylo vyvrtání několika děr do plastových krytů a vyřezání 4 závitů do podstavy stroje. Finanční vyhodnocení systému vyšlo na necelých 1100Kč, pokud by se podobný systém, měl nakupovat hotový, jeho cena by se mohla vyšplhat i na řádově 10x vyšší částku. Závěrem můžu říct, že se požadavky povedlo bez problémů splnit, projekt byl dotažen do konce, systém chlazení najde při provozu CNC frézky uplatnění a tato konstrukční práce měla rozhodně smysl.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno **2005**. 270 stran, ISBN 80-214-3068-0.
- [2] NEDBAL R. *Strojírenská technologie, pracovní sešit pro 3. ročník*. Střední průmyslová škola Zlín, Zlín. 82 stran
- [3] Účinek řezného prostředí na trvanlivost nástroje [online] [cit. 2011-02-20. 13:00 SEČ] Dostupný z WWW:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/ucinek-rezneho-prostredi-na-trvanlivost-britu>>
- [4] Jetstream Tooling™ [online] [cit. 2011-02-20. 13:10 SEČ] Dostupný z WWW:
<<http://www.secotools.com/cs/Global/Products/Milling1/Jetstream-Tooling/>>
- [5] Návod a rady obráběcí stroje a technika [online] [cit. 2011-02-20. 13:30 SEČ] Dostupný z WWW:
<<http://www.strojnet.cz/clanky/clanky.php>>
- [6] Stolní CNC frézka [online] [cit. 2011-05-24. 17:10 SEČ] Dostupný z WWW:
<<http://www.4industry.eu/vrtacky/stolni-cnc-frezka-bf-20-vario-cnc-27585.html>>
- [7] Univerzální CNC frézka [online] [cit. 2011-05-24. 17:10 SEČ] Dostupný z WWW
<<http://www.4industry.eu/vrtacky/univerzalni-cnc-frezka-opti-f-100-cnc-tc-28089.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

D	průměr nástroje [mm]
n	otáčky vřetene [min^{-1}]
z	počet zubů frézy [-]
l_t	délka záběrového oblouku [mm]
c	délka řezné hrany v záběru [mm]
λ	úhel sklonu zubů frézy [$^\circ$]
i	počet záběrů [-]
s	posuvová rychlost [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]
Q_{pd}	teplo vzniklé v oblasti plastických deformací při tvoření třísky [J]
Q_γ	teplo vzniklé v oblasti tření třísky po čele nástroje [J]
Q_α	teplo vzniklé v oblasti tření hřbetu nástroje po přechodové ploše obrobku [J]
Q_t	teplo odvedené třískou [J]
Q_o	teplo odvedené obrobkem [J]
Q_n	teplo odvedené nástrojem [J]
Q_{pr}	teplo odvedené řezným prostředím [J]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Základní plochy na obrobku při podélném soustružení. [1]</i>	12
<i>Obr. 2 Ostří a plochy na řezné části čelní válcové frézy. [1]</i>	13
<i>Obr. 3 Kinematika válcového frézování [1]</i>	15
<i>Obr. 4 Kinematika pohybů nástroje a obrobku ve třech bodech nástroje – úhlová čelní fréza s válcovou stopkou. [1]</i>	17
<i>Obr. 5 Čelní frézování [1]</i>	17
<i>Obr. 6 Řezné síly na zubu válcové frézy v pracovní rovině P_{fe} [1]</i>	18
<i>Obr. 7 Kinematika okružního frézování [1]</i>	19
<i>Obr. 8 Planetové frézování [1]</i>	19
<i>Obr. 9 Průřez třísky [2]</i>	20
<i>Obr. 10 Čelní frézování [2]</i>	20
<i>Obr. 11 Strojní čas pro frézování obvodem frézy [2]</i>	21
<i>Obr. 12 Strojní čas pro frézování čelem frézy [2]</i>	21
<i>Obr. 13 Základní druhy fréz [1]</i>	22
<i>Obr. 14 Zuby fréz [1]</i>	23
<i>Obr. 15 Druhy fréz podle smyslu otáčení [1]</i>	24
<i>Obr. 16 Konzolová frézka svislá [1]</i>	25
<i>Obr. 17 Svislá stolová frézka [1]</i>	26
<i>Obr. 18 Rovinná frézka [1]</i>	26
<i>Obr. 19 Stolní CNC frézka</i>	27
<i>Obr. 20 Univerzální CNC frézka</i>	27
<i>Obr. 21 Frézování různých ploch – příklady [1]</i>	36
<i>Obr. 22 Obecné rozdělení odváděného tepla při realizaci řezného procesu [1]</i>	38
<i>Obr. 23 Přívod řezné kapaliny do místa řezu [1]</i>	44
<i>Obr. 24 Vnitřní chlazení brousícího kotouče [1]</i>	45
<i>Obr. 25 Univerzitní CNC frézka HWT 442 bez systému chlazení</i>	49
<i>Obr. 26 Schéma systému ovládaného manuálně</i>	50
<i>Obr. 27 Schéma systému ovládaného elektromagnetickým ventilem</i>	51
<i>Obr. 28 Návrh konstrukčního řešení v softwaru CATIA</i>	52
<i>Obr. 29 Tryska č. 1</i>	53
<i>Obr. 30 Sestava trysky č. 2</i>	54

<i>Obr. 31 Sestavení trysky, polyuretanových hadic a kloubové hadice LI-NOX.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 32 Přesný přívod chladící rezné mlhy do místa řezu</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 33 Uchycení kloubové hadice LI-NOX ke stroji</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 34 Pevné uchycení komponentů ke stroji.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 35 Nádoba na emulzní kapalinu a její uchycení ke stroji</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 36 Rozvod chladícího média.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 37 Návrh plastové vany v softwaru CATIA</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 38 Výroba trysky č. 2 na hrotovém soustruhu</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 39 Řezná mlha vycházející z trysky</i>	<i>61</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Finanční vyhodnocení</i>	62
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

P1 - výkresová dokumentace

P2 - CD data