



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

FRÉZOVÁNÍ ROVNÝCH PLOCH U SOUČÁSTÍ NA CNC STROJÍCH

MILLING OF THE FLAT SURFACES ON THE CNC MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jan KOLESA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Kolesa

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Frézování rovných ploch u součástí na CNC strojích

v anglickém jazyce:

Milling of the flat surfaces on the CNC Machines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zákonitosti frézování rovných ploch na součástech. Používané typy nástrojů. Standardní řezné podmínky. Přiřazení vhodných strojů (frézky versus obráběcí centra). Volba upínacích přípravků. Uvedení konkrétních sestav stroj-upínač-obrobek-nástroj. Doložení výběrů z katalogů předních i specializovaných firem.

Cíle bakalářské práce:

Celkový přehled problematiky frézování rovných ploch na součástech se zaměřením na CNC stroje. Přiřazení nástrojů. Určení upínání obrobků. Znalost katalogových databází světových výrobců.

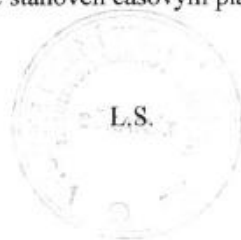
Seznam odborné literatury:

1. CIHLÁŘOVÁ, Petra, Michael Lars George HILL and Miroslav PÍŠKA. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. Miroslav Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, Karel. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.
7. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční ocelí. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.
8. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 9.11.2011





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Cílem zadané bakalářské práce je obecný popis frézování rovných ploch u součástí na CNC strojích. Úvodní část práce se zabývá nejen obecnou teorií, ale i okruhem problémů frézování. V dalších částí bakalářské práce se věnují rozdělení frézovacích nástrojů a CNC strojů. Poslední fáze zadané práce se zabývá konkrétními výrobními sortimenty a některými vybranými výrobci obráběcích strojů na našem trhu.

Klíčová slova

CNC, obrábění, frézy, frézky, obráběcícentra.

ABSTRACT

The purpose of the bachelor thesis is a generaldescription of the milling of flatsurface of components on CNC machines. The introductory part of the thesis deals not only with the generaltheory, but also with a number of millingissues. The next part of the bachelor thesis containdifferentiationof millingtools and CNC machines. The last part of the thesis deals with particularproductionassortments and certainmanufacturers of machinetools operating in our market.

Keywords

CNC, machining, milling cutter, milling machine, machining center.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLESA, Jan. *Frézování rovných ploch u součástí na CNC strojích*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 53 s. 6 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Frézování rovných ploch u součástí na CNC strojích** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25.5.2012

Datum

Jan Kolesa

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Milanu Kalivodovi z VUT Brno za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto i Mé rodině za pomoc a podporu při studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 PRINCIP A VÝZNAM ROVINNÉHO FRÉZOVÁNÍ	10
1.1 Frézování rovinných ploch válcovými frézami	11
1.1.1 Nesousledné frézování.....	12
1.1.2Sousledné frézování	12
1.2 Frézování rovinných plochčelními válcovými frézami	15
2 PROBLEMATIKA ROVINNÉHO FRÉZOVÁNÍ	16
2.1 Návrh rozteče a počtu zubů frézy	16
2.2Geometrie břítu zubu.....	17
2.3Volba průměru a polohy frézy.....	18
3 nástroje pro rovinné frézování.....	20
3.1Rozdělení frézovacích nástrojů	21
3.1.1Materiály na výrobu frézovacích nástrojů	22
3.2Frézovací hlavy	25
3.2.1Úhel nastavení hlavního ostří	25
4 OPOTŘEBENÍ NÁSTROJE	27
4.1Příčiny opotřebení nástroje	27
4.1.1Formy opotřebení	27
4.2Parametry trvanlivosti - životnost	27
4.3Veličiny ovlivňující životnost.....	28
5 UPÍNÁNÍ ROTAČNÍCH NÁSTROJŮ.....	28
5.1Upínání stopkových fréz	28
5.2Upínání nástrčných fréz.....	29
5.2.1Přesné způsoby upínání	30
5.3Upínání obrobků	32
6 obráběcí stroje pro frézování.....	33
6.1Rozdělení obráběcích strojů	33
6.2Základní charakteristika CNC řízení	34
6.3Souřadný systém stroje	34
6.4Vztažné body CNC strojů	35

6.5	Základní typy CNC strojů pro frézování	36
6.5.1	CNC frézy	37
6.5.2	Frézovací obráběcí centra	39
7	MĚŘENÍ A KONTROLA DÉLKOVÝCH ROZMĚRŮ	41
8	SOUHRN VÝROBCŮ ROVINNÝCH FRÉZ	41
8.1	Sortiment firmy Pramet Tools, s.r.o.	42
8.2	Sortiment firmy Sandik Coromat AB	43
7.3	Sortiment firmy ISCAR	44
8.4	Zhodnocení sortimentu firem	45
9	DISKUZE	46
	ZÁVĚR	47
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48
	Seznam použitých symbolů a zkratk	51
	SEZNAM PŘÍLOH	53

ÚVOD

K nejpoužívanějším obráběcím operacím patří po soustružení frézování. Moderní frézování je velmi univerzální metoda obrábění. Frézování spolu s vývojem obráběcích strojů se v uplynulých letech vyvinulo do fáze, jenž umožňuje obrábění ve velmi širokém rozmezí konfigurací. [1]

Tak jako ve všech odvětvích tak i v oblasti frézování dochází neustále k inovacím strojů a nástrojů a tím i zvyšování kvality a produktivity. Pro zvyšování produktivity a schopnost konkurovat v této oblasti, je zapotřebí neustále vývoj sledovat a zdokonalovat. [1]

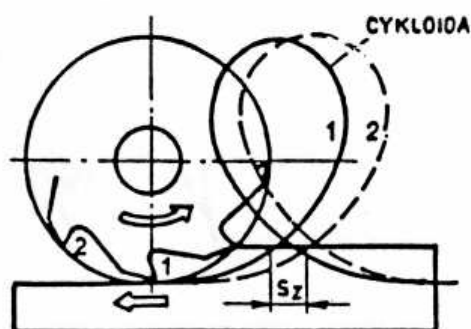
V zásadě frézování je obrábění kovů prováděné rotujícím vícebřítým nástrojem, který se posouvá po naprogramované dráze kolem obrobku, v téměř libovolném směru. Hlavní pohyb koná rotační vícebřítý nástroj – fréza, vedlejší pohyb koná obrobek [2]. Právě kvůli tomuto způsobu řezu je frézování tak efektivní a univerzální metodou obrábění. Frézování je v dnešní době nejčastěji využíváno k obrábění rovinných ploch(Obr.1.). [1]



Obr. 1. Frézování rovinných ploch. [1]

1 PRINCIP A VÝZNAM ROVINNÉHO FRÉZOVÁNÍ

Frézování je úkon třískového obrábění, při němž se rotační vícebřítý nástroj – fréza – otáčí a obrobek (někdy i nástroj – podle druhu frézky) se posouvá tak, aby jednotlivé zuby odřezávaly třísku. Hlavním pohybem při frézování je otáčivý pohyb nástroje, vedlejšími pohyby jsou posuvný pohyb obrobku (nejčastěji přímočarý) a přísuv, kterým se nastavuje hloubka řezu. [3] Každý břit frézy vykonává během řezání kromě otáčivého pohybu ve vztahu k obrobku relativně také pohyb posuvný. Z toho plyne, že záběrová dráha každého zubu není kruhová, ale ve skutečnosti tato dráha má tvar cykloidy. Jde o řezný pohyb zubu – pohyb hlavní (Obr. 1.1). [4]

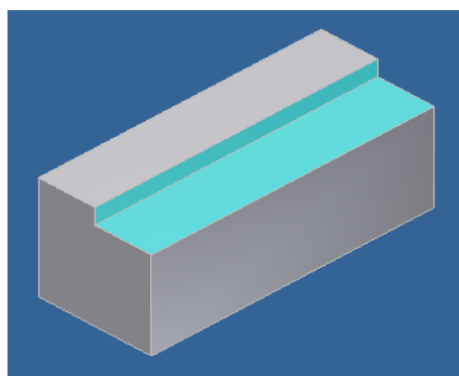
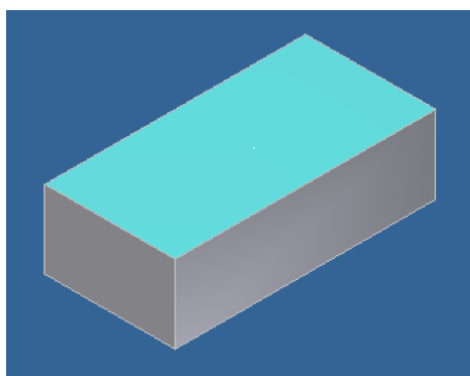


Dráha ostří zubu

Obr. 1.1 Třískové obrábění. S_z – posuv na zub frézy, Zub frézy pozice 1 opíše cykloidu číslo 1, Zub frézy pozice 2 opíše cykloidu číslo 2. [4]

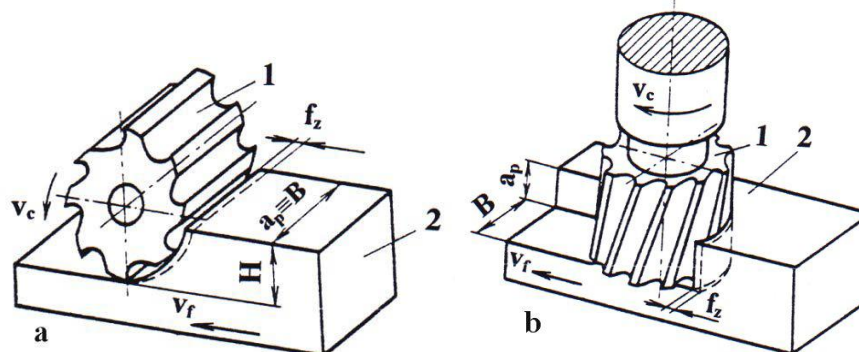
V minulosti více používaná technika obrábění jednobřítým nástrojem (hoblování) se nahradila technologií rovinného frézování. Frézování rovinných ploch různých velikostí není v dnešní době problém a naopak je to účinná metoda ve výkonu obrábění a jakost povrchu. [2]

V praxi se neodebírá pouze jednoduchá rovinná plocha (Obr. 1.2), ale velmi často je třeba také obrobit rovinnou plochu s pravoúhlým osazením (Obr. 1.3). [2]



Obr. 1.2 Rovinná plocha.[2] Obr. 1.3 Rovinná plocha s osazením. [2]

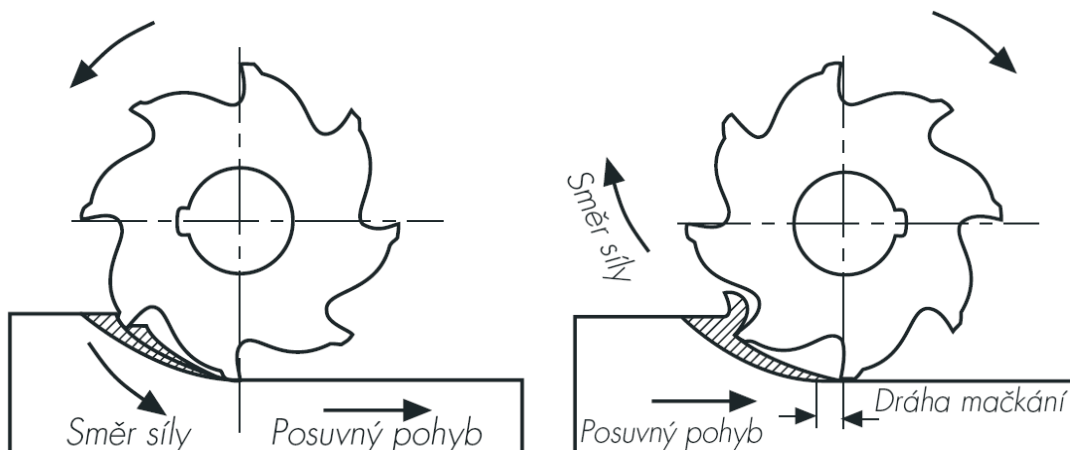
Podle polohy osy nástroje k obráběné ploše lze frézování rozdělit na frézování válcové (frézování obvodem) (Obr. 1.4a) a frézování čelní (frézování čelem) (Obr. 1.4b). [4]



Obr. 1.4 Základní způsoby frézování. **a** – válcové frézování, **b** – čelní frézování **1** – fréza, **2** – obrobek, a_p – šířka záběru ostří, **B** – šířka frézované plochy, **H** – hloubka odebírané vrstvy, v_f – posuvová rychlost, f_z – posuv na zub, v_c – řezná rychlost. [5]

1.1 Frézování rovinných ploch válcovými frézami

Tato metoda se převážně používá při práci s válcovými a tvarovými frézami. Hlavně využívá břity na obvodu nástroje. Fréza rotuje okolo osy rovnoběžně s tečným směrem posuvu. [1] Hloubka řezu H se nastavuje kolmo na osu frézy a směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. Způsob vytváření takové plochy a průběh vytváření třísky závisí na smyslu otáčení frézy ke směru posuvu obrobku. Dle toho rozeznáváme frézování nesousledné (protisměrné) (Obr. 1.5a) a frézování sousledné (sousměrné) (Obr. 1.5b). [4]



Obr. 1.5 Kinematika válcového frézování. **a**) sousledné frézování, **b**) nesousledné frézování. [6]

Pro válcové frézování (Obr.1.6) platí, že se snažíme použít frézu o největším průměru (s přihlédnutím na optimální hodnotu náběhu a přeběhu vzhledem k obrobku). S rostoucím průměrem nástroje se zmenšuje jeho maximální úhel záběru a zvětšuje se délka třísky na úkor její tloušťky, ale také se zvětšuje měrný řezný odpor a hodnoty pružných deformací. Protože u silnější třísky se pružné deformace snižují a také klesá měrný řezný odpor i teplota při řezání, dovoluje

nám větší průměr frézy pracovat s větším pracovním posuvem obrobku. K výhodám většího průměru nástroje patří také klidnější chod a větší počet zubů v záběru, umožňující zvýšení posuvu na jeden zub. [4]

1.1.1 Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování (též nazýváno nesousměrné frézování) je směr posuvu obrobku opačný než směr rotace frézy v místě řezu. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tloušťka řezu začíná na nule a postupně roste směrem ke konci řezu [1]. Řezná síla působí směrem k nástroji a tím nepříznivě ovlivňuje upnutý obrobek - snaží se jej vytrhnout z upínače. [4]

Výhody:

- práce frézy je klidná, bez rázů,
- je výhodný pro frézování obrobků s tvrdou povrchovou vrstvou (výkovků, odlitků) – břity do tvrdé vrstvy vnikají ze spodu a potom ji odlamují, což se projeví v tom, že se břity tak rychle neotupí, [4]
- není potřebné vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,
- záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu,
- trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku apod. [5]

Nevýhody:

- břit zubu frézy na začátku řezu klouže po již obrobené ploše předchozím břitem, což má za následek opotřebení břitu a jeho otupování a tím zhoršuje jakost této obrobené plochy, [4]
- konečný výsledek povrchu je hrubý, větší nároky na upnutí. [5]

1.1.2 Sousedné frézování

Při sousledném frézování (též nazýváno sousměrné frézování) je směr posuvu obrobku stejný jako směr rotace frézy v místě záběru. Tak se tloušťka třísky od začátku do konce záběru snižuje, přičemž při frézování obvodem je na konci záběr nulová. [1] Řezné síly působí obvykle kolmo dolů od upínacího stolu. Tento způsob frézování můžeme použít jen na stroji, který má ve stole vymezenou vůli mezi maticí a pohybovým šroubem, aby při záběru frézy nedošlo vlivem vůle ke vtahování obrobku pod frézu, což by mělo za následek poškození břitu frézy. Proto není vhodný pro frézování materiálů s nečistým povrchem a s tvrdou povrchovou vrstvou. Je vhodné pro obrábění houževnatých materiálů. Používá se u frézek CNC, protože pohybové šrouby jsou vyrobeny bez vůle. [4]

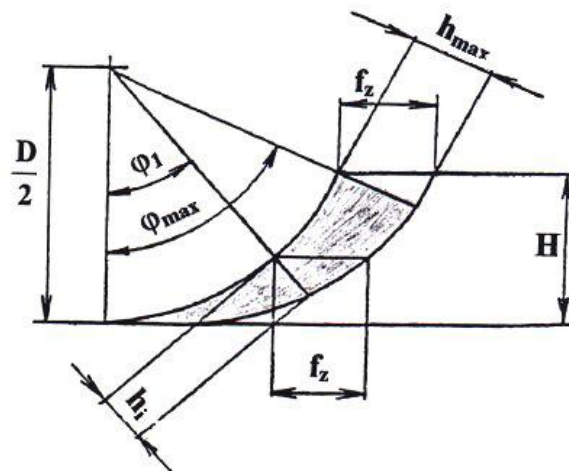
Výhody:

- vyšší trvanlivost břitů, což dovoluje práci při vyšší řezné rychlosti a hloubce řezu. Břity frézy se s již obrobenou plochou nestýkají, nedochází k zahřívání a otupování, obrobená plocha je kvalitnější, [4]
- menší sklon ke chvění,

- menší drsnost obrobeného povrchu,
- menší potřebný řezný výkon,
- menší sklon k tvoření nárůstků,
- řezná síla tlačí obrobek ke stolu, takže lze použít jednodušších upínacích přípravků. [5]

Nevýhody:

- břit vniká do materiálu v největší tloušťce třísky, [4]
- větší rázy => při počátku záběru je maximálně velká tříska, která se postupem blíží k nulovým hodnotám. [5]



Obr. 1.6 Válcové frézování – jmenovitá tloušťka třísky $h_i = f(\varphi_i)$. [5]

Jmenovitý průměr třísky pro polohu zubu frézy i se označí A_{Di} a vyjádří se na základě poměrů naznačených na obrázcích (1.8a, 1.8b) [5]:

$$A_{Di} = h_i \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i \quad (1.)$$

A_{Di} [mm²] - Jmenovitý průměr třísky

h_i [mm] - Jmenovitá tloušťka třísky

a_p [mm] - Šířka záběru ostří

f_z [mm] - Posuv na zub

$\sin \varphi_i$ [-] - Úhlová rozteč zubů

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky bude při $\varphi_i = \varphi_{max}$ [5]:

$$A_{Dmax} = h_{max} \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{max} \quad (2.)$$

A_{Dmax} [mm²] - Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky

H_{max} [mm] - Maximální jmenovitá tloušťka třísky

a_p [mm] - Šířka záběru ostří

f_z [mm] - Posuv na zub

$\sin\varphi_{\max}$ [-] - Maximální úhel záběru

$$\sin\varphi_{\max} = \frac{2}{D} \sqrt{DH - H^2} \quad (3.)$$

$\sin\varphi_{\max}$ [-] - Maximální úhel záběru

D [mm] - Průměr frézy

H [mm] - Hloubka odebírané vrstvy

Hodnoty řezné rychlosti v_c , posuvové rychlosti v_f a rychlosti řezného pohybu v_e se stanoví na základě vztahů [5]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot 10^{-3} \quad (4.)$$

v_c [m·min⁻¹] - Řezná rychlost

π [°] - Ludolfovo číslo

D [mm] - Průměr frézy

$$v_f = z \cdot f_z \cdot n \quad (5.)$$

v_f [m·min⁻¹] - Posuvová rychlost

z [ks] - Počet zubů frézy

f_z [mm] - Posuv na zub

n [ot.min⁻¹] - Otáčky nástroje

$$v_e = \sqrt{v_c^2 - v_f^2} = n \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(\pi D)^2 + (z f_z)^2} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (6.)$$

v_c [m·min⁻¹] - Řezná rychlost

v_f [m·min⁻¹] - Posuvová rychlost

n [ot.min⁻¹] - Otáčky nástroje

π [°] - Ludolfovo číslo

D [mm] - Průměr frézy

z [ks] - Počet zubů frézy

f_z [mm] - Posuv na zub

Vzhledem k tomu, že $v_c \gg v_f$ realizuje se řezný pohyb po zkrácené cykloidě, která se blíží kružnici [5]:

Počet zubů frézy v současném záběru se určí ze vztahu [5]:

$$n_z = \frac{z \cdot \varphi_{\max}}{360} \quad (7.)$$

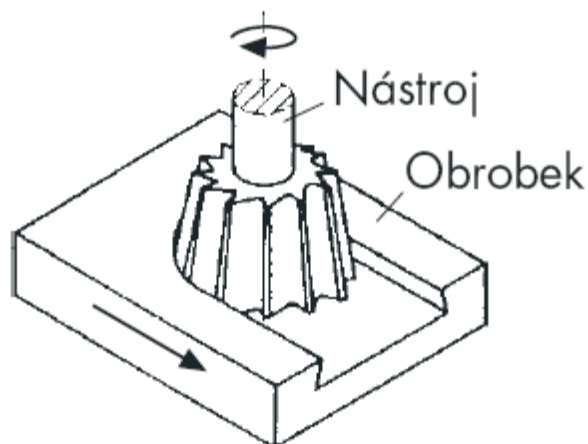
n_z [ks] - Počet zubů frézy v současném záběru

z [ks] - Počet zubů frézy

φ_{\max} [°] - Maximální úhel záběru

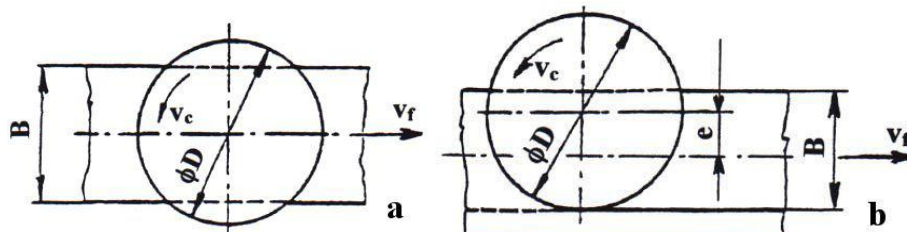
1.2 Frézování rovinných plochčelními válcovými frézami

Čelní frézování (Obr. 1.7) využívá kombinovaný řez břitů prováděný hlavně břitů na obvodu, a do jisté míry i břitů na čele nástroje, které obráběnou plochu vyhlazují. Fréza rotuje ve směru kolmém ke směru radiálního posuvu vůči povrchu obrobku. [1] Hloubka řezu se nastavuje ve směru osy otáčení frézy. Obrobená plocha je kolmá na osu otáčení nástroje. Při každém otočení frézy o 360 stupňů se obrobek posune o dráhu, jejíž délka odpovídá hodnotě posuvu na otáčku. Tloušťka třísky se přitom postupně od vstupu břitu frézy ke středu odřezávané vrstvy zvětšuje, a naopak od středu k místu výstupu z materiálu dochází k postupnému zmenšování tloušťky třísky. Její hodnoty jsou závislé na vzájemném poměru šířky obráběné plochy, průměru použité frézy a také na poloze osy nástroje k ose obrobku. [4]



Obr. 1.7 Kinematika čelního frézování symetrického.[6]

V závislosti na poloze osy nástroje k ose obrobku se rozlišuje symetrické frézování (Obr. 1.8a) a nesymetrické frézování (Obr. 1.8b) asymetrie.



Obr. 1.8 a) čelní frézování symetrické, b) čelní frézování nesymetrické. v_c -řezná rychlost, v_f -posuvová rychlost[5]

Čelní frézování je výkonnější než frézování válcové, protože při něm zabírá více zubů současně, což dovozuje pracovat s větším posuvem obrobku. [4]

Pro stanovení řezné rychlosti v_c a posuvové rychlosti v_f se použijí stejné závislosti jako u válcového frézování. Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky je pro $\varphi = 90^\circ$ a nabývá hodnoty [5]:

$$A_{Dmax} = f_z \cdot a_p \quad (8.)$$

A_{Dmax} [mm²] - Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky

f_z [mm] - Posuv na zub

a_p [mm] - Šířka záběru ostří

2 PROBLEMATIKA ROVINNÉHO FRÉZOVÁNÍ

Lze definovat jako souhrn všech činitelů, které ovlivňují průběh frézování. K těmto činitelům patří materiál a velikost obrobku, stabilita stroje, požadovaná jakost obrobeného povrchu, výkon obrábění, výkon stroje atd. Aby frézování probíhalo co nejoptimálněji – tedy produktivně a hospodárně, je třeba znát jednotlivé podmínky obrábění a jejich vzájemné propojení. [3]

2.1 Návrh rozteče a počtu zubů frézy

Počet zubů nástroje (z_n) se volí s ohledem na dosažení maximálního úběru co největší. Může se lišit v širokých mezích a používá se pro určení hodnoty posuvu stolu, zatímco efektivní počet (z_c) je počet efektivních zubů. O tom, kolik zubů by měla fréza mít, rozhoduje materiál, šířka součásti, stabilita, výkon stroje a požadavky na kvalitu povrchu. [2]

Počet zubů nástroje pro obrábění litin [6]:

$$z_n = (0,04 \div 0,06) \cdot D \quad (9.)$$

Počet zubů nástroje pro obrábění ocelí ⁶:

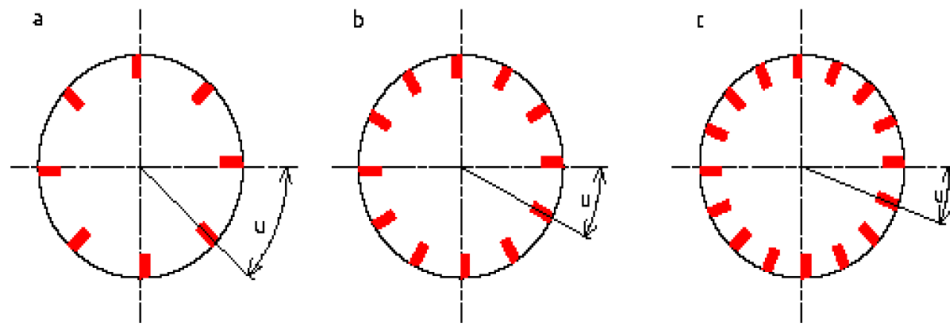
$$z_n = (0,08 \div 0,10) \cdot D \quad (10.)$$

z_n [mm] - počet zubů nástroje

D [mm] - průměr frézy

Pro obrábění lehkých slitin je počet zubů nástroje menší. U frézovacích hlav pro dokončovací frézování se doporučuje počet zubů o 1/3 vyšší. [8]

Rozteč (u) je vzdálenost mezi zuby frézy. Jedná se o vzdálenost libovolného místa na druhém břitu. Frézy dělíme hlavně na frézy s hrubou roztečí (obr. 2.1a), těsnou roztečí (obr. 2.1b) a velmi těsnou roztečí (obr. 2.1c) Různé rozteče udávají různou stabilitu, potřebný výkon a vhodný materiál obrobku. [1]



Obr. 2.1 Rozteč mezi zuby. a) hrubá rozteč, b) jemná rozteč, c) velmi jemná rozteč. [8]

Hrubá rozteč zubů (Obr. 2.1a) znamená, že fréza má po obvodě snížený počet zubů a velké zubové mezery. Tyto hrubozubé frézy se používají na hrubování a obrábění ocelí na čisto, stejně jako všude tam, kde se počítá se vznikem vibrací. [7]

Jemná rozteč zubů (Obr. 2.1b) má zvýšený počet zubů a středně velké zubové mezery. Charakteristickým znakem u těchto nástrojů je vysoký výkon obrábění. Frézy tohoto druhu se používají pro obrábění šedé litiny a střední obrábění ocelí. [7]

Velmi jemná rozteč zubů (Obr. 2.1c) mají velmi malé zubové mezery. Tyto jemnozubé frézovací nástroje, které umožňují použít vysoké posuvy stolu, jsou vhodné pro hrubování šedé litiny a pro obrábění ocelí s malou hloubkou a šířkou řezu. Též se používají při obrábění materiálů, u nichž musí být použita malá řezná rychlost, například při obrábění titanu. [7]

Může se použít fréza s nerovnoměrnou roztečí zubů, což znamená nestejně velké mezery mezi zuby frézy. Je to velmi účinný způsob, jak omezit sklon k vibracím 1. Většina fréz s hrubou roztečí zubů má nerovnoměrnou rozteč. Lze předpokládat, že při záběru vyměnitelných břitových destiček do obrobku vzniknou vibrace s frekvencí, která se shoduje s vlastní frekvencí vibrací stroje a vibrací obrobku. Pokud by tato situace nastala, mohly by vibrace mít velmi závažné negativní účinky. Tento jev je při obrábění frézováním typický a lze mu předejít vhodnou změnou počtu otáček vřetene. [7]

Existuje jednoznačný vztah mezi vibracemi a velikostí řezné síly. Řezné síly se mohou zmenšit volbou pozitivního úhlu čela nebo tím, že se omezí počet zubů frézy, které jsou v záběru. Posuv na otáčku se nezmění, ale sníží se celková velikost řezných sil. [7]

Vznik vibrací se vyloučí tak, že se použije fréza s hrubou roztečí zubů a pozitivním úhlem čela. Při trvajících vibracích, lze za předpokladu, že fréza má sudý počet zubů, snížit tento počet zubů v záběru tím, že se z frézy odmontuje každá druhá vyměnitelná břitová destička. [7]

2.2 Geometrie břitu zubu

Každý zub frézy je v podstatě samostatný jednoduchý nůž, který je vždy po určité části otáčky ve styku s obráběným materiálem. Základní tvar frézy závisí na způsobu jeho výroby – tj. na tom, zda byl vyroben frézováním nebo podsoustružením na hřbetě. Čelo zubu frézy může být rovné nebo lomené. Stejně

tak hřbet zubu. Zábřit je úzká, jemně zbroušená část hřbetu frézovaného zubu za ostřím. Zubová drážka je dána úhlem čela γ , hřbetu α a úhlem β (Obr. 2.2).

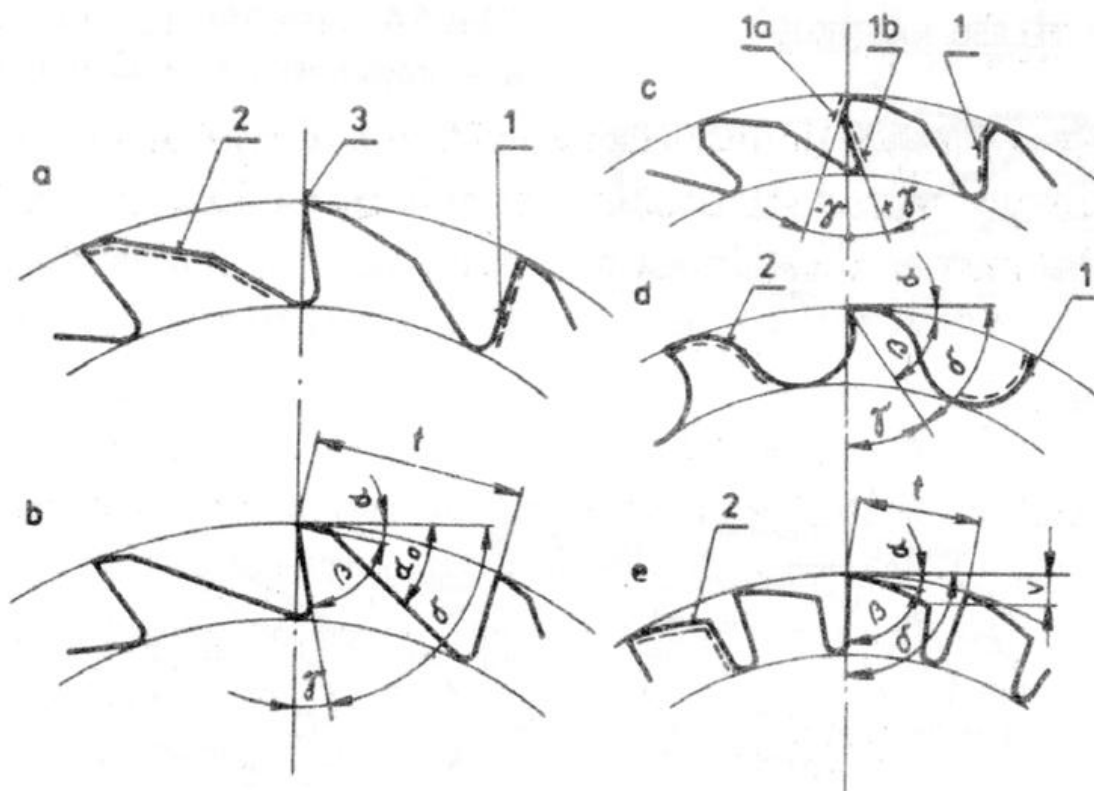
Mezi základní úhly tvořícími geometrii řezného nástroje platí vztah [3]:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (11.)$$

α [°] - Úhel hřbetu

β [°] - Úhel břitu

γ [°] - Úhel čela



Obr. 2.2 Geometrie břitu frézy. **L** – čelní plocha zubu, **1a** – podbroušení čelní plochy ($-\gamma$), **1b** – kladná čelní plocha zubu, **2** – hřbetní plocha zubu, **3** – ostří, α – úhel hřbetu, α_0 – úhel odklonu hřbetu, β – úhel břitu, γ – úhel čela, δ – úhel řezu, t – rozteč zubů, v – výška podsoustružení. [3]

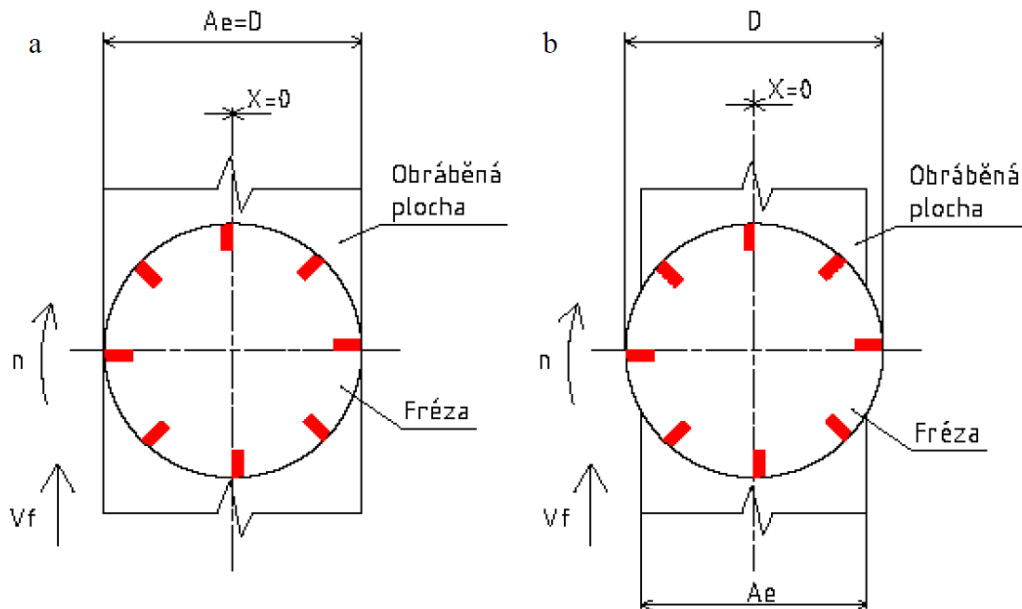
2.3 Volba průměru a polohy frézy

Výběr průměru frézy se obvykle provede podle šířky obrobku s uvažováním dostupného výkonu stroje. Poloha frézy vůči obrobku a velikost záběru a druh kontaktu zubů frézy s obrobkem jsou zásadní faktory rozhodující o úspěchu operace. [1]

Existují tři základní typy vzájemného poměru frézy a obrobku:

- Kdy je šířka obrobku v porovnání s průměrem frézy větší nebo stejná, takže na začátku/konci záběru vznikají tenké třísky, nebo je nutno provést víc průchodů (Obr. 2.3), [1]

- kdy je průměr frézy o něco větší (20 až 50%) než šířka obrobku, což je častý případ při čelním frézování (Obr. 2.3), [1]
- kdy je průměr větší než šířka řezu a osa frézy je daleko mimo šířku obrobku. [1]



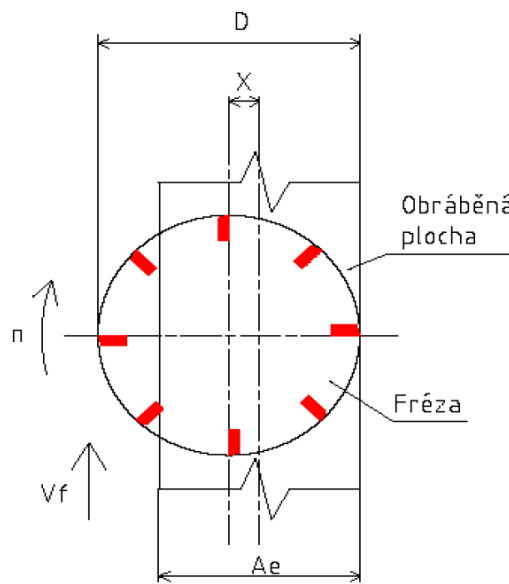
Obr. 2.3 Čelní frézování symetrické. **a** – průměr frézy shodný se šířkou obráběné plochy, **b** – průměr frézy o 20 až 50% větší než šířka obráběné plochy, **A_e** – šířka obráběné plochy, **D** – průměr frézy, **V_f** – posuvná rychlost, **n** – otáčky nástroje. [7]

Zejména při čelním frézování má šířka obrobku vliv na volbu průměru frézy. Průměr frézy nesmí být stejný jako šířka obrobku – obvykle se doporučuje průměr frézy o 20 až 50% větší než šířka obrobku (Obr. 2.3). [1]

Pokud je nutno provést více průchodů, musí to být provedeno tak, aby poměr průměr/šířka byl přibližně 4/3 a aby v jednotlivých průchodech nebyl využit celý průměr frézy, protože se tak zlepší utváření třísky a břit je správně zatížen. [1]

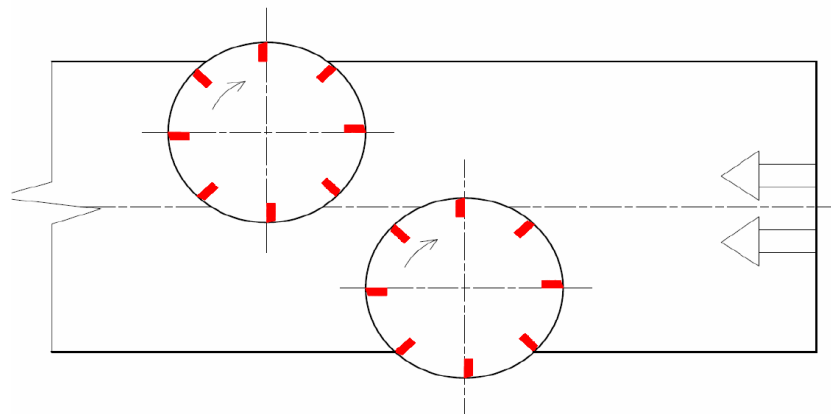
Za ideální situaci, kdy je fréza o dostatečný kus větší než šířka obrobku, umístěte frézu vždy mírně mimo střed (Obr. 2.4). Umístění do blízkosti středu je výhodné v tom, že řez jednotlivými VBD je v tomto místě nejkratší a začátek a konec řezu je výhodný z hlediska utváření třísek a rázového zatížení. Není výhodné nástroj dát přesně na střed. Dojde k fluktuaci řezných sil stejné velikosti, ale náhodně se měnícího směru s tím, jak břity vjíždějí a vyjíždějí do/ze záběru. Může dojít k vibracím a poškození včetně stroje, vylamování VBD a zhoršení kvality povrchu. [1]

Posunutím frézy mírně mimo střed se získá stálejší směr působení sil – jakoby předpětí frézy vůči obrobku (Obr. 2.4). [1]



Obr. 2.4 Čelní frézování nesymetrické. A_e – šířka obráběné plochy, D – průměr frézy, V_f – posuvová rychlost, n – otáčky nástroje. [7]

Obrobek s příliš velkou obráběnou plochou se obrábí na několik záběrů (Obr. 2.5).[7]



Obr. 2.5 Rovinné frézování dvěma záběry. [7]

3 NÁSTROJE PRO ROVINNÉ FRÉZOVÁNÍ

V tabulce (3.1) jsou přiřazeny frézovací nástroje k základním druhům tvarů obráběných ploch. [2]

Tab. 3.1 Volba frézovacího nástroje vůči obráběným plochám

Tvar plochy		Frézovací nástroje
Rovinná plocha	Jednoduchá	Čelní frézy, frézovací hlavy
	S osazením	Čelní frézy, frézovací hlavy s úhlem nastavení 90°

3.1 Rozdělení frézovacích nástrojů

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

Podle ploch, na nichž jsou vytvořeny zuby:

- Válcové – mají zuby na válcové ploše,
- válcové-čelní – mají zuby na válcové a čelní ploše,
- čelní – mají zuby na čelní ploše,
- se stopkou. [2]

Podle způsobu výroby zubů:

- Se zuby frézovanými – ostří se na hřbetě (podle tvaru zubových drážek dělíme na kategorii A - zuby s přímým hřbetem, B – zuby s lomeným hřbetem, C – zuby se zaobleným hřbetem,
- se zuby podsoustruženými – rádiusové, které se ostří jen na čele,
- lité – zuby vzniknou odstředivým litím, čelo a zábřít jsou naostřeny. [2]

Podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy:

- Jemnozubé,
- polohrubozrné,
- hrubozrné. [2]

Podle tvaru břitů:

- S přímými břity – břity jsou rovnoběžné s osou frézy,
- s šikmými břity,
- s šroubovitými břity – zuby vnikají do záběru postupně, řezný proces je potom plynulý a klidnější, sklon šroubovice je 10 až 45 stupňů a někdy i více,
- se střídavými břity – u kotoučových fréz. [2]

Podle počtu dílů:

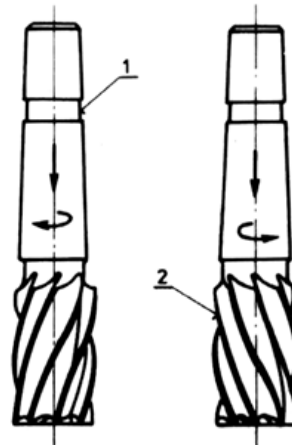
- Celistvé – těleso i zuby jsou vcelku vyrobeny z jednoho materiálu,
- dělené – jsou vyrobeny ze dvou nebo více počtu dílců,
- složené – několik fréz umístěných a upnutých vedle sebe na společném trnu,
- sdružené,
- s vkládanými řeznými destičkami. [2]

Podle řezného materiálu:

- Z nástrojové legované oceli,
- ze slinutých karbidů,
- z keramických řezných materiálů,
- z kubického nitridu bóru,
- z diamantu,
- z rychlořezné oceli. [2]

Podle smyslu otáčení:

- Pravořezné – od vřetene ve směru osy se otáčí ve smyslu pohybu otáčení hodinových ručiček (Obr. 3.1),
- levořezné – otáčejí se proti smyslu hodinových ručiček (Obr. 3.1). [2]



Obr. 3.1 Rozdělení fréz podle směru otáčení. 1 – fréza pravořezná, 2 – fréza levořezná. [2]

3.1.1 Materiály na výrobu frézovacích nástrojů

Při obrábění působí na nástroj mechanické a tepelné účinky namáhání a proto, aby byl schopen vykonávat svou funkci, musí být zhotoven z vhodného nástrojového materiálu. Důraz je kladen na materiál, který splňuje základní vlastnosti, jako je tvrdost, odolnost vůči opotřebení, dobrá tepelná vodivost a tepelná odolnost, vyhovující pevnost v tlaku a ohybu. Vzhledem k tomu, že na břítu závisí průběh vlastního procesu obrábění, produktivita a hospodárnost obrábění je nutné věnovat pozornost volbě materiálu břítu. [1]

Nástrojová legovaná ocel – pro třískové obrábění je z nich nejužívanější rychlořezná ocel (RO). Podle obsahu a množství legujících prvků (Cr, V, Mn, Mo, W,...) se dělí RO:

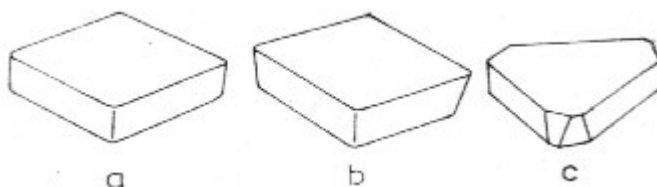
- pro běžné výkony,
- výkonné,
- vysoce výkonné.

Nástroje zhotovené z rychlořezných ocelí lze obrábět až do teploty 600 °C. [3]

Rychlořezná ocel (High speed steel=HSS) – je druh oceli určený na rychlé obrábění a pro výrobu vysoce namáhaných řezných nástrojů určených pro obrábění kovových součástek v tepelně nezpevněném stavu. Mezi její významné vlastnosti patří vysoká tvrdost a žárupevnost (zůstává tvrdá i po zahřátí). Používá se k výrobě nástrojů jako například pil, pilových pásů, pilových listů, soustružnických nebo hoblovacích nožů, fréz a dalších. Ocel HSS vydrží v místě řezu až 600° C. Pro výrobu se používá ocel třídy 19, která se dále kalí a popouští. Nevýhodou HSS je nízká životnost, rychlé opotřebení a v neposlední řadě i fakt, že při velkém zahřátí v místě řezu se změní struktura kovu, ocel se začne drolit a je dále nepoužitelná .[8]

Slinutý karbid – nekovový řezný materiál vyráběný práškovou metalurgií z karbidu těžkých kovů: karbidu wolframu, karbidu titanu, karbidu tantalu, pojivem je kobalt. Zvyšováním obsahu kobaltu u slinutých karbidů roste jejich pevnost a houževnatost, ale jejich tvrdost současně klesá . Po ukončení slinování lze slinuté karbidy tvarově a rozměrově upravovat jen broušením, elektroerozivním obráběním a lapováním. Tepelná odolnost slinutých karbidů je 800° - 1000° C. Jsou vyvíjeny stále nové druhy slinutých karbidů s větší otěruvzdorností a houževnatostí. [3]

Pro třískové obrábění se slinuté karbidy zhotovují ve formě řezných destiček různého tvaru (Obr. 3.2) a velikosti v souvislosti se způsobem obrábění. Destičky je možné k tělesům fréz, držákům soustružnických nožů připevnit pájením, především však jsou připevňovány mechanickým způsobem – pomocí příložek šroubů a podobně. To umožňuje několikeré otočení destičky při otupení konkrétní řezné hrany. Takovým destičkám říkáme vyměnitelné břitové destičky (Obr. 3.3). [9]



Obr. 3.2 Tvary vyměnitelných destiček. **a** – hranolová, **b** – destička komolého jehlanu, **c** – trojúhelníková. [8]



Obr. 3.3 Ukázka osazení frézovací hlavy a soustružnického nože s vyměnitelnými destičkami.[8]

Soustava ISO rozděluje slinuté karbidy pro třískové obrábění podle chemického složení a barvy do šesti skupin označených písmeny:

P – slinuté karbidy wolframotitanové, vhodné pro obrábění především ocelí.

M – slinuté karbidy univerzální (pro oceli i litiny).

K – slinuté karbidy wolframové, vhodné pro obrábění tvrdých, křehkých materiálů.

N – slinuté karbidy, vhodné pro obrábění neželezných slitin hliníku, hořčíku, mědi, nebo k obrábění plastů, kompozitů a dřeva.

S – slinuté karbidy, vhodné pro obrábění slitin titanu, žárovevých slitin niklu, kobaltu nebo železa.

H – slinuté karbidy, vhodné pro obrábění zušlechtěných a kalených ocelí a obrábění tvrzených litin.

Kromě označení písmenem (viz. příloha 6) jsou vlastnosti slinutých karbidů určité skupiny ještě rozlišeny číselným indexem.

Pro zvýšení vlastností materiálů jsou břitové destičky ze slinutých karbidů opatřeny jedním nebo vícevrstevným povlakem karbidu titanu, nitridu titanu nebo oxidu hlinitého. [9]

Řezná keramika – moderní nástrojový materiál, převážně na bázi oxidu hliníku (Al_2O_3) nebo nitridu křemíku. Vyznačuje se vysokou tvrdostí a otěruvzdorností i za vysokých teplot (až do 1400°C), což umožňuje pracovat vysokými řeznými rychlostmi. Snížená pevnost v ohybu může způsobit větší náchylnost k vylamování břitů. Vyrábí se ve formě vyměnitelných břitových destiček, které se mechanicky upínají na těleso řezného nástroje. Rozdělují se na čisté oxidy, cermenty a karbidové oxidy. [10]

Kubický nitrid boru (KNB) – vlastnosti, zejména tvrdost, se podobají vlastnostem a tvrdosti diamantu. Kubický nitrid boru však snese podstatně vyšší dovolené teploty (až 1500°C). Lze ho použít na dokončovací operace u obrobků z těžkoobrobitelných materiálů, například obrobků z kalených ocelí a slitin. [3]

Syntetický diamant (PKD) (Obr. 3.4) – je polykrystalický diamant na tvrdokovové podložce používaný u řezných nástrojů. Jeho přednosti jsou vysoká odolnost proti opotřebení a korozi (životnost až 10x delší než klasické tvrdokovy), přesnost, rychlost, výkon a vynikající kvalita povrchu (drsnot povrchu pod $1\mu\text{m}$). V zahraničí se používá označení PCD.

Diamant se vyrábí sintrováním za vysokého tlaku a teploty. PKD je kombinací diamantové tvrdosti, životnosti, tepelné vodivosti a tvrdokovové houževnatosti. Je ovšem křehký. Z důvodu kobaltové spojovací fáze se nechá PKD obrábět z 95% elektrojiskřením.

Výroba – pomocí vysokého tlaku a teploty se spojí krystaly diamantu s tvrdokovovým podkladem. Tvrdokovový podklad je zde nesmírně důležitý, neboť díky tvrdokovu se PKD dá napájet na břitové destičky nebo přímo na těla nástrojů.

PKD se dodává ve standardním provedení, ale rozdílných tvarech, velikostech a druzích. Rozlišujeme tři základní druhy 0,02, 0,010 a 0,025 dle střední velikosti použitého jádra diamantu při syntéze.

Přesná kontrola PKD-vrstvy má výrazný vliv na přesnost a efektivnost při přesné výrobě PKD. Z toho důvodu se dodržuje u PKD vrstvy silné 0,5 mm její přesnost v toleranci $\pm 2 \mu\text{m}$ na celé její ploše. K zajištění této vysoké přesnosti PKD se provádí individuální kontrola ultrazvukem. [11]



Obr. 3.4 Diamant.[11]

3.2 Frézovací hlavy

Frézovací hlavu můžeme označit za srdce portálového stroje. Výběr frézovací hlavy je ovlivněn výkonností, obráběnými materiály, množstvím odebraného materiálu a kvalitou povrchu. S frézovací hlavou jsou bezprostředně svázány také další faktory, jako je strategie frézování, simultánní obrábění a rozměry obrobku, kde se tato kritéria přirozeně projeví v investičních nákladech a dlouhodobé hospodárnosti. [12]



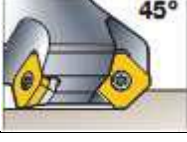
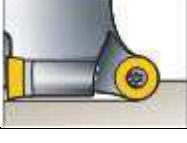
Z jedněch nejdůležitějších činitelů pro kvalitu frézovací hlavy je technologie poháněných os. Pro každý typ frézovací hlavy a účel použití je tedy volen přesně ten typ pohonu, který je pro dané použití optimální. [12]

3.2.1 Úhel nastavení hlavního ostří

Důležitý parametr je úhel nastavení hlavního ostří k_r (tab. 3.2) který ovlivňuje průběh obrábění. Jde o úhel mezi hlavním, čelním břitem a povrchem obrobku. Závisí na něm způsob vnikání břitu do obráběného materiálu, tloušťka třísky, působení řezných sil a životnost nástroje.

Čím menší je úhel nastavení hlavního ostří k_r , tím způsobuje tenčí odebírání třísky [2], to má za následek rozložení objemu materiálu na větší délku břitu. Menší úhel nastavení také znamená postupnější vniknutí do řezu, čímž se snižuje radiální tlak a chrání břit. [1]

Tab. 3.2 Úhel nastavení hlavního ostří k_r

Úhel nastavení hlavního ostří k_r	Schématické znázornění [2]
90°	
60°, 65° a 75°	
45°	
VBD kruhového tvaru	

Frézy s úhlem nastavení hlavního ostří 90 stupňů

Vytváří hlavně radiální síly působící ve směru posuvu. To znamená, že na obráběný povrch nepůsobí tak veliký axiální tlak, což je výhodné pro frézování obrobků se slabou konstrukcí nebo tenkými stěnami. Hlavní využití frézy je však frézování do rohu, kdy lze řezem získat pravý úhel. [1]

Frézy s úhlem nastavení hlavního ostří 60, 65 a 75 stupňů

Jsou vytvářeny radiální a axiální řezné síly s přibližně stejnou velikostí, což způsobuje vyvážené tlaky a menší nároky na výkon stroje. Používají se pro frézování obrobků z materiálů s krátkou třískou, které se vylamují z důvodu nadměrně velkých radiálních sil působících na nestabilní zbytek materiálu na konci řezu. Tím je zajištěn lehčí nájezd do řezu a nižší sklon k vibracím při velkém vyložení nebo slabším upnutí nástroje [1]. Vyznačují se stabilními břitovými destičkami. Umožňují provádění náročných hrubovacích operací, při kterých se dosahuje dobré jakosti obroběného povrchu. [7]

Frézy osazené VBD kruhového tvaru

Velkou pevností břitu zajišťuje zaoblení VBD. Je tak vhodný pro velký posuv stolu, který je umožněný menší tloušťkou třísek vznikajících podél dlouhého břitu. Menší tloušťka třísek je pro obrábění tvrdých materiálů, titanu a tepelně odolných superslitin vhodná. Změna směru řezných sil po délce poloměru VBD a výsledný tlak během obrábění závisejí na hloubce řezu. Přičemž řez je hladší a funguje tak i při menším výkonu stroje a nižší stabilitě. [1]

4 OPOTŘEBENÍ NÁSTROJE

Opotřebení je způsobeno současným mechanickým a tepelným zatížením ostří nástroje. [6]

4.1 Příčiny opotřebení nástroje

Mezi nejdůležitější příčiny patří:

- Mechanický otěr,
- odstřihávání tlakových svařených míst,
- oxidační procesy,
- difuze.[6]

Při nízkých řezných rychlostech a u lehce obrobitelných materiálů dochází především k mechanickému opotřebení. Při vyšších rychlostech a u obtížněji obrobitelných materiálů hrají naproti tomu hlavní roli tepelně podmíněné příčiny opotřebení, oxidace a difúze. [6]

4.1.1 Formy opotřebení

Vyjádření jednotlivých forem opotřebení slouží k posuzování stavu nástroj. Rozlišujeme tyto formy opotřebení:[6]

- Opotřebení hřbetní plochy,
- vymílání,
- plastická deformace,
- vroubkování,
- vylomení,
- hřebenové trhliny,
- prasknutí nástroje. [6]

4.2 Parametry trvanlivosti - životnost

Parametry trvanlivosti nabízejí možnost udržovat ostří nástrojů v naostřeném stavu, připraveném k použití. [6]

Životnost jako nejvýznamnější parametr pro hodnocení obrobitelnosti materiálu udává pro ostří nástroje časový interval, během něhož může být nástroj používán v naostřeném stavu až do dosažení stanoveného kritéria trvanlivosti (bez pomocných časů). Pokud např. nejsou dodrženy požadované tolerance nebo používané ostří nedokáže dosahovat požadované jakosti povrchu, nedá se toto ostří nadále používat k tomuto účelu – je dosažen konec životnosti.[6]

Kromě životnosti se jako parametry trvanlivosti pro hodnocení používají např. trvanlivost v metrech při posuzování pojezdu frézky nebo trvanlivost v počtu kusů pro automatické strojní linky, respektive obráběcí centra.[6]

4.3 Veličiny ovlivňující životnost

Pro praktické použití je nutné znát také vlivy ostatních parametrů obrábění, jako je např. posuv, hloubka řezu, materiál a řezný materiál, a zahrnout je do úvah. [6]

Největší vliv na životnost má řezná rychlost. Jako druhou nejvýznamnější ovlivňující veličinu musíme jmenovat posuv. Dále také zahrnujeme vliv hloubky řezu, geometrických podmínek, jako jsou úhly čela, hřbetu a nastavení a přibližně též pro vliv pomocného materiálu. [6]







5 UPÍNÁNÍ ROTAČNÍCH NÁSTROJŮ



Způsoby upínání fréz závisí na její konstrukci, druhu a rozměrech frézy a na způsobu frézování.

5.1 Upínání stopkových fréz

Stopkové frézy se upínají do frézovacího stroje pomocí nástrojových držáků (Tab. 5.1). Držák se volí podle tvaru upínací části frézy – válcová nebo kuželová stopka, popřípadě válcová stopka s ploškou. [2]

Tab. 5.1 Přehled upínacích pouzder stopkových fréz [13]



Tepelně smrštitelná pouzdra pro monolitní stopkové frézy	
ISO kužel (40, 50)	HSK kužel (E40, A63)
	
Kleštinová pouzdra (kleštiny ER-32) pro monolitní stopkové frézy	
ISO kužel (40, 50)	HSK kužel
	
Kleštinová pouzdra (kleštiny ER-16) pro monolitní stopkové frézy	
ISO kužel (40, 50)	HSK kužel
	
Upínací pouzdra pro stopkové frézy s kruhovým VBD (pro stopku WELDON)	

DIN 1835 B)	
ISO kužel (40, 50)	HSK-A63
	

5.2 Upínání nástrčných fréz

Pro upínání nástrčných fréz na frézkách se používá frézovacích trnů (Tab. 5.2). Upínací kužel frézovacích trnů a pracovního vřetena může být buď metrický s kuželovitostí 1:20, nebo Morse 1:19 až 1:20, nebo strmý 1.3,5. Metrický a Morse kužel jsou samosvorné zajištěné šroubem a mohou přenést kroutící moment z vřetena na frézovací trn. Aby přenos kroutícího momentu byl dokonalý, má konec vřetena obdélníkové vybrání, do něhož zapadá zploštělý nákrůžek na konci frézovacího vřetena. Strmý kužel pouze středí trn v pracovním vřetenu. Kroutící moment se zde přenáší dvěma kameny upevněnými na čele vřetena, které zapadají do vybrání na nákrůžku frézovacího trnu. Čelní nástrčné frézy a frézovací hlavy se upínají krátkými frézovacími trny letmo upnutými do vřetena stroje. Frézy s kuželovou stopkou se upínají redukčními pouzdry přímo do upínacího kužele ve vřetenu frézky. Redukční pouzdro se použije také tehdy, neshoduje-li se kužel frézovacího trnu s kuželem vřetena. Frézky s válcovou stopkou se upínají do vřetena frézky při použití sklíčidla s upínacím pouzdem. Současným záběrem několika zubů vznikají při frézování velké řezné síly, takže obrobek musí být řádně upnut. Je důležité, aby obrobek nebyl při upínání deformován a aby byla obráběná i upínací plocha co nejbližší vřetenu. Frézy s kuželovou stopkou se upínají do kužele vřetena přímo, nebo pomocí redukčních pouzder. Redukční pouzdro se použije také tehdy, neshoduje-li se typ kužele frézovacího trnu s typem kužele vřetena. Frézy s válcovou stopkou se upínají do vřetena frézky při použití sklíčidla s upínacím pouzdem, nebo do různých druhů kleštin. Sklíčidla a kleštiny mají kuželovou stopku (pro upnutí ve vřeteně), nebo jsou pomocí různých systémů spojeny se základním držákem s kuželovou stopkou. [14]

Tab. 5.2 Přehled upínacích pouzder nástrčných fréz [14]

Upínací pouzdra pro čelní nástrčné frézy	
ISO kužel (40, 50)	HSK kužel A63
	

5.2.1 Přesné způsoby upínání

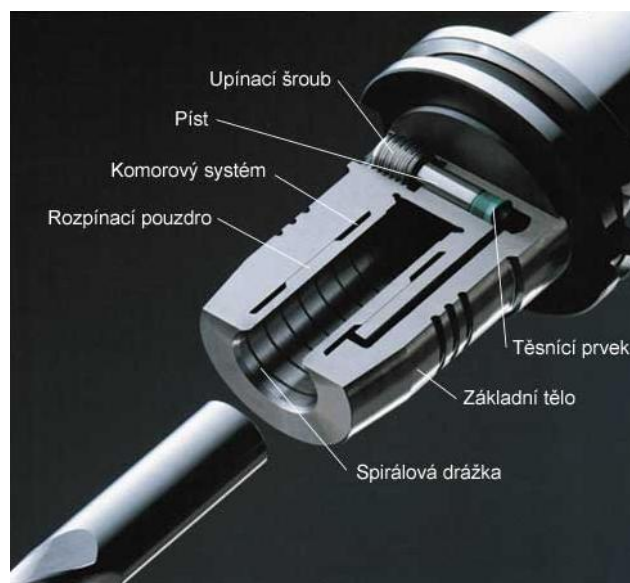
Do kategorie přesných upínacích systémů je možno zařadit upínače pracující na principu deformace tenké vnitřní stěny upínací dutiny tlakem polotekuté plastické hmoty. Upínacího tlaku se dosahuje šroubem. Upnutí nástroje se docílí pružnou deformací tenké stěny upínací dutiny nebo dělené redukční vložky. Další upínací systém pracuje na principu tepelné dilatace předehřátého upínacího pouzdra. Výhodou jsou dokonalé upnutí a minimální rozměry upínacího systému dovolují konstrukci velmi štíhlých upínačů pro hloubkové frézování. Pro upnutí je však nutno používat speciální horkovzdušné přípravky. Nevýhodou těchto způsobů upínání je dražší cena, proto se tyto způsoby používají pro dokončovací frézování nebo progresivní metody obrábění. [15]

Přestože je cena upínače minimální vzhledem k ceně kompletního obráběcího stroje, jsou upínače důležitým a rozhodujícím členem mezi vřetenem a nástrojem. Výběr správného upínače výrazně ovlivní budoucí výsledky celého obráběcího procesu. [16]

Na trhu je velký výběr produktů od různých firem a pro názornost jsem zvolil firmu Schunk GmbH & Co.

Hydraulický rozpínací upínač TENDO

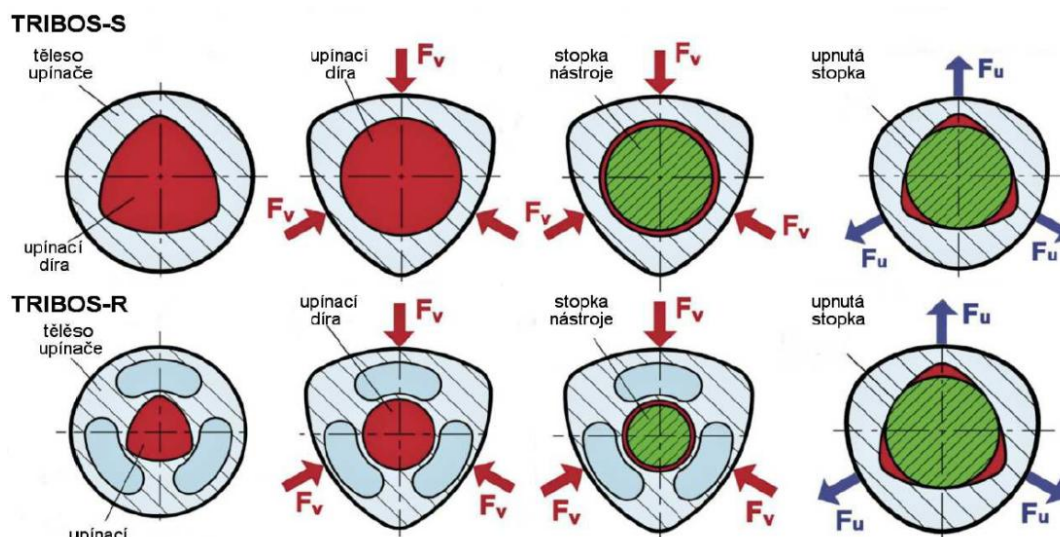
Upínače Tendo (Obr. 5.1) využívají zcela jiného principu upnutí nástroje než konvenční upínače. Otáčením upínacího šroubu se vytváří rovnoměrný tlak hydraulického média uvnitř upínače. Tento tlak působí na upínací pouzdro, které nástroj pevně a přesně upne. Pro upnutí menších průměrů je možné použít redukční pouzdra. Výhodami hydraulických upínačů jsou přesné upnutí nástroje s opakovatelností $\leq 0,003$ mm, tlumení vibrací, jednoduché ovládání bez dalších periferních zařízení, procesní bezpečnost a odolnost vůči vnějším znečišťujícím látkám. [17]



Obr. 5.1 Hydraulický rozpínací upínač TENDO. [18]

Hydraulický rozpínací upínač TRIBOS

Polygonální upínací systém TRIBOS (Obr. 5.2) firmy Schunk elastických vlastností tělesa upínače. V uvolněném stavu má upínací díra přibližně polygonální průřez, působením vnějších sil F_v od hydraulického upínacího zařízení dojde k deformaci upínače a průřez díry se změní na kruhový. Po vložení nástroje a uvolnění síly od upínacího zařízení se pružně deformovaná část upínače snaží vrátit do původního tvaru a tím vytvoří síly F_u , potřebné pro upnutí stopky nástroje (doba upínacího cyklu je kratší než 30s). Systém nevyžaduje žádnou údržbu, nemá pohyblivé díly a proto zde nedochází k mechanickému opotřebení jednotlivých částí, což se příznivě projeví ve zvýšené přesnosti obrábění a vyšší trvanlivosti nástrojů a životnosti upínačů. Upínací zařízení je dodáváno ve dvou provedeních, manuální SVP-2 a elektricky ovládané SVP-3. Pro manipulaci s upínači menších rozměrů jsou obě zařízení doplněna sadou redukčních vložek, obě zařízení mohou též být vybavena speciálním přípravkem pro seřízení délky upnutého nástroje. [7]

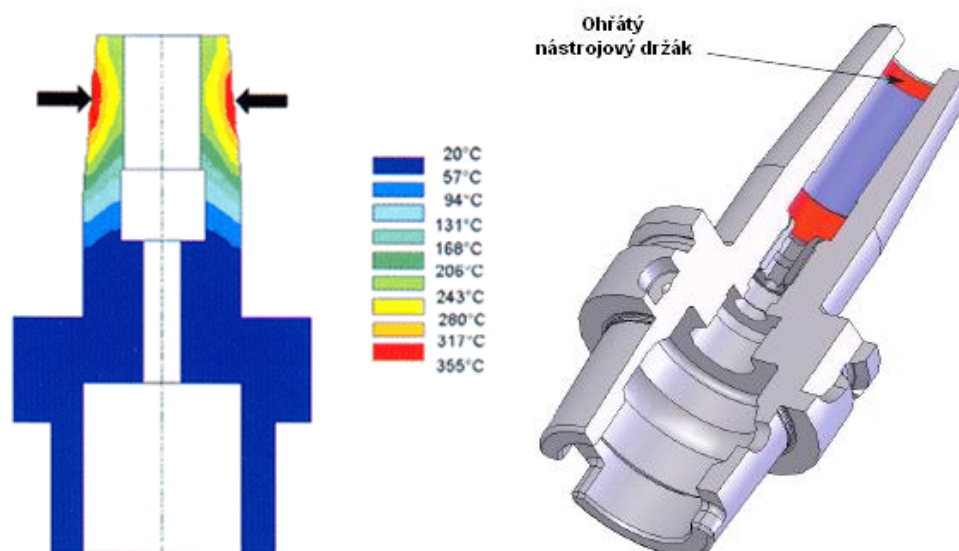


Obr. 5.2 Princip upínání nástroje pomocí systému Tribos.[7]

Tepelné upínání

Díky svým výhodám je systém tepelného upínání nástrojů nejvhodnějším řešením zejména pro vysokorychlostní obrábění. Princip upínání spočívá v teplotní roztažnosti materiálu. Nástrojové držáky (Obr. 5.3) jsou vyrobeny ze speciálního materiálu, jehož ohřevem dojde ke zvětšení otvoru pro upnutí nástroje. Obsluha pouze vloží nástroj do držáku. Ochlazením dojde ke smrštění držáku, a tím k upnutí nástroje. K ohřátí nástrojového držáku je nutné zařízení, které v krátkém čase dokáže upnout nástroj. Některé firmy nabízejí přístroje, které ohřívají držáky vzduchem nebo jiným médiem, ale tento princip je naprosto nevyhovující. Doba ohřevu se pohybuje v minutách, materiál držáku je velice namáhán, snižuje se životnost a přesnost. Proto je vhodné k ohřevu materiálu využívat indukční cívky. Doba ohřevu se pohybuje kolem 5 sekund. Během této doby dojde k zahřátí povrchu držáku na teplotu cca 250 až 300°C, a poté se nástroj do něj vloží. V žádném případě nedojde k tepelnému ovlivnění materiálu držáku ani k žádným změnám ve struktuře materiálu, neboť materiál začíná reagovat změnou struktury

až při teplotě kolem 500°C. Je tedy vyloučena deformace držáku stálým upínáním a odepínáním nástroje. Při větším počtu nástrojů je nutné brát ohled i na dobu chlazení. Chladnutí držáku z 300°C trvá přibližně 10 až 15 minut. Tato doba je většinou nepřijatelná. Proto se přístroje vybavují chladicími systémy, které snižují dobu chlazení. U chlazení vzduchem se doba chlazení pohybuje kolem 2 až 5 minut, dle typu chladicího systému. Lze upínat tvrdokovové i HHS nástroje od průměru 3 mm do průměru 50 mm. [19]



Obr. 5.3 Smršťovací upínač Thermogrip.[19]

Tepelně smrštitelný upínač Celsio

Základní principem tohoto systému (Obr. 5.4) je využití tepelné roztažnosti kovů při vysokých teplotách. Pomocí vysokofrekvenční indukční cívky se upínač velmi rychle ohřeje přesně na místě, kde se nástroj upíná. Po vsunutí nástroje se upínač musí nechat ochladit, a to buď na ustálení teploty po určitém čase nebo pomocí chladicího systému. Výsledkem procesu smrštění je téměř homogenní nástroj s vysokou přesností upnutí, velkými přenášenými krouticími momenty a velmi dobrým poměrem mezi radiální tuhostí a vnějším tvarem upínače.[20]



Obr. 5.4 Upínací systém Celsio.[20]

5.3 Upínání obrobků

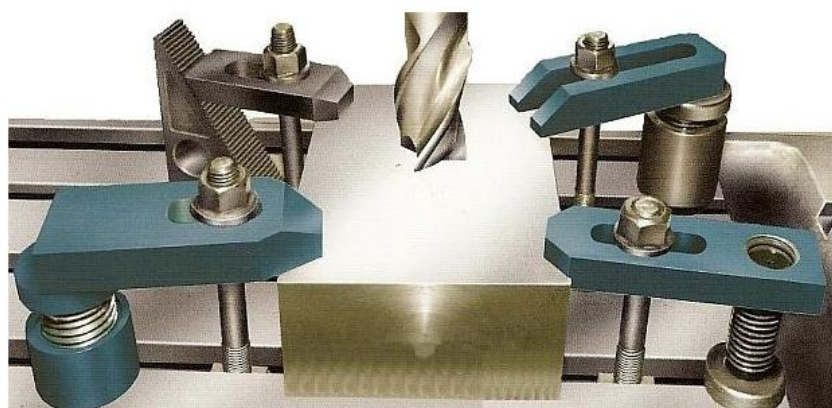
Obrobek se upíná na pracovní stůl frézky. Upínání obrobků musí být dostatečně tuhé, aby zaručilo nehybnost obrobku a odolnost proti vzniku chvění. Obrobek však nesmí být upínací silou deformován [21].

K upínání se používají:

- Strojní svěráky (ovládané ručně, pneumaticky nebo hydraulicky)(Obr.5.5),
- upínky se šrouby a opěrkami (Obr. 5.6),
- jednoúčelové upínací přípravky,
- stavebnicové upínací přípravky. [21]



Obr. 5.5 Příklad upnutí obrobku pomocí hydraulického strojního svěráku. [22]



Obr. 5.6 Příklad upnutí obrobku pomocí upínky se šrouby a opěrkami. [23]

6 OBRÁBĚCÍ STROJE PRO FRÉZOVÁNÍ

Frézovací stroje – frézky jsou vyráběny a dodávány v rozmanitém sortimentu a s rozsáhlým zvláštním příslušenstvím. Velikost frézovacího stroje je dána šířkou upínací plochy stolu frézky a velikostí kužele ve vřetenu pro upnutí nástroje. [6]

6.1 Rozdělení obráběcích strojů

Frézky dělíme dle několika kategorií:

- Dle konstrukčně technologického hlediska
- frézky konzolové,
- frézky stolní,
- frézky rovinné,
- frézky speciální.

dle osy vřetena:

- Vodorovné,
- svislé,
- univerzální.

dle způsobu řízení

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

6.2 Základní charakteristika CNC řízení

Principem řízení CNC strojů je vytvoření programu pro pohyb nástroje vůči obrobku v daném souřadném systému a vztažným bodům CNC strojů.

6.3 Souřadný systém stroje

Pro popis pracovních pohybů nosiče nástroje v pracovním prostoru je nutno definovat souřadný systém stroje a souřadný systém obrobku a vztah mezi těmito souřadnými systémy. Pro zjednodušení programování je nutné, aby označování jednotlivých souřadných os souřadných systémů obráběcích strojů různých výrobců bylo stejné. [24]

Základní souřadná soustava (Obr. 6.1) je pravoúhlá pravotočivá (systém „pravé ruky“). Podle pravidla pravé ruky směřuje kladná osa X ve směru palce, ukazovák ukazuje kladný směr osy Y a ohnutý prostředník kladný směr osy Z. Natočení kolem souřadných os X, Y, Z označujeme adresami A, B, C, přičemž kladný smysl natočení se řídí podle pravidla „pravotočivého šroubu“. [24]

Pravoúhlý souřadný systém na stroji se umísťuje podle určitých pravidel:

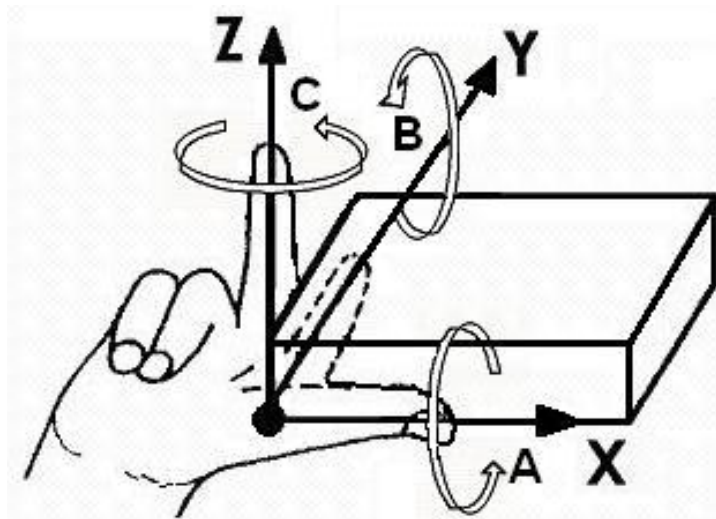
Vždy musí být definována osa X, [24]

osa X leží v upínací rovině obrobku nebo je s ní rovnoběžná, [24]

osa Z je totožná nebo rovnoběžná s osou pracovního vřetena, [24]

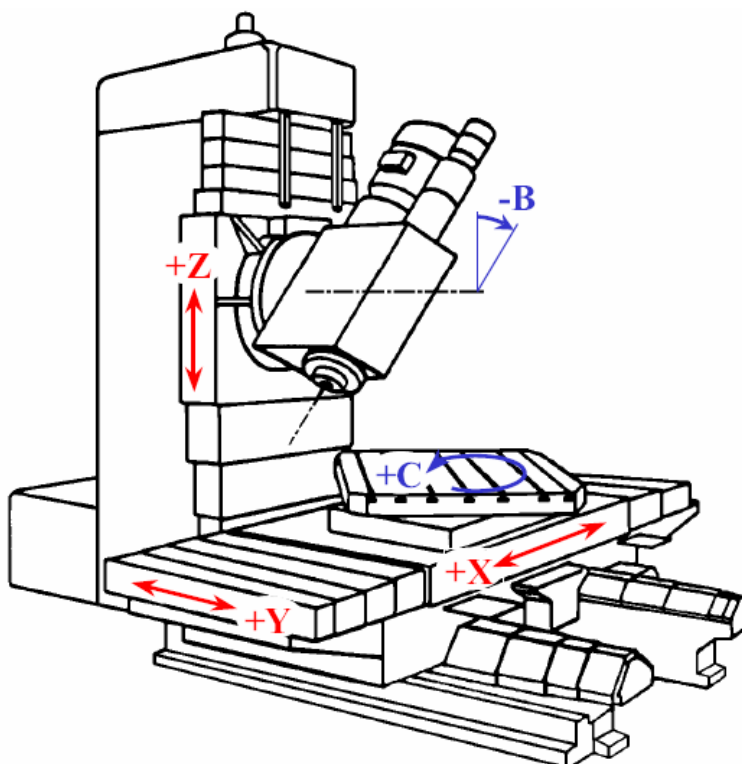
kladný smysl lineárních os je od obrobku k nástroji, tedy ve směru zvětšujícího se obroku, [24]

pokud jsou na stroji další osy rovnoběžné s osami X, Y, Z, označujeme je U, V, W opět podle pravotočivé soustavy. [24]



Obr. 6.1 Pravoúhlá souřadná soustava.[25]

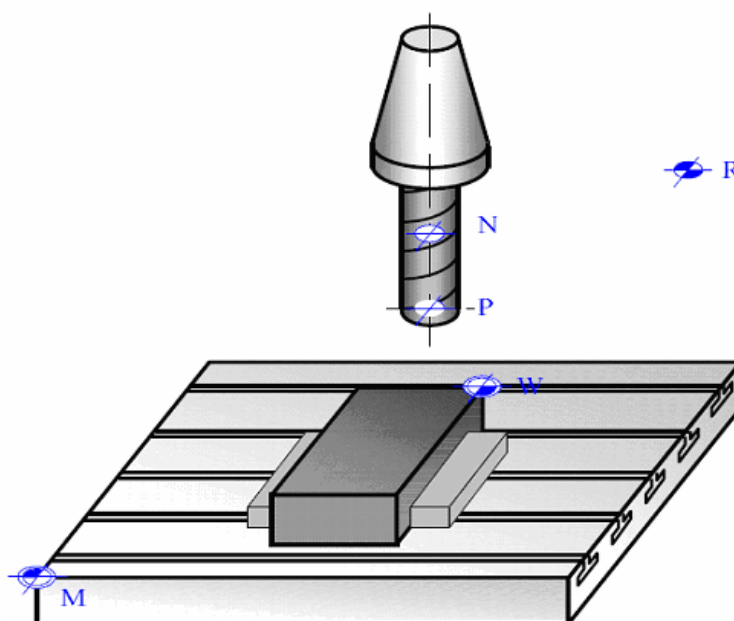
Souřadný systém stroje na 5-osém vertikálním frézovacím centru (Obr. 6.2). [7]



Obr. 6.2 5-osé vertikální frézovací centrum.[7]

6.4 Vztažné body CNC strojů

Kromě základního souřadného systému je nutno v pracovním prostoru CNC stroje definovat tzv. vztažné body (Obr. 6.3), s jejichž pomocí se definuje vzájemná poloha stroje, nástroje a obrobku. V závislosti na těchto bodech může být potom určena a kontrolována například poloha nástroje. [24]



Obr. 6.3 Uspořádání vztažných bodů na frézce.[7]

R – referenční bod

Slouží k synchronizaci měřicího systému. Při zapnutí stroje nebo po každém přerušení elektrického stroje je nutno nejdříve najet na „R“. Je pevně stanovený výrobcem v pracovním prostoru stroje. Udává velikost pracovního prostoru stroje a je koncovým bodem tělesové úhlopříčky, [25]

M – nulový bod stroje

Je počátkem souřadného systému a je pevně stanoven výrobcem a zapsán v dokumentaci stroje. Tento počátek můžeme programově posouvat. Udává velikost pracovního prostoru stroje a je koncovým bodem tělesové úhlopříčky, ²²

W – nulový bod obrobku[25]

Určuje a programuje ho technolog-programátor a může jej kdykoliv během programu měnit. Při programování a obrábění je základním (výchozím) bodem souřadnicového osového systému, [25]

N – nulový bod nástrojového držáku

Slouží jako počátek pro určování délek nástrojů (délkových korekcí nástrojů). „N“ leží na vhodném místě systému upínače nástrojů a je určen výrobcem stroje, [25]

P– nulový bod nástroje

Rotační nástroje – bod leží v ose nástroje na jeho čele. [7]

6.5 Základní typy CNC strojů pro frézování

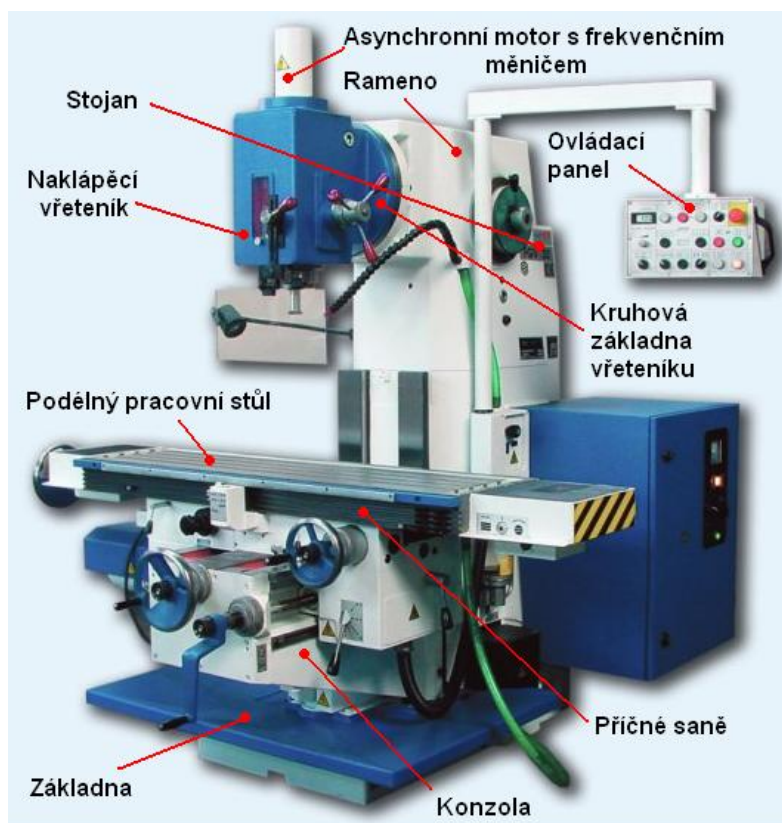
Tato obráběcí centra se dělí do dvou skupin. První skupina jsou CNC frézky a druhá skupina frézovací centra.

6.5.1 CNC frézy

CNC je zkratkou anglického „ComputerNumericalControl“, 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. Na zahraničním i tuzemském trhu je rozsáhlý výběr výrobců dodávající CNC frézy. Jmenujme například TOS-KUŘIM OS, a.s., HAAS Automation, Inc., Yamazaki Mazak Corporation, CHIRON-WERKE GmbH & Co a jiné významné firmy. Základní rozdělení obráběcích strojů je na soustružnické, frézovací, kombinované a dále na EDM, drátořezky. [26]

Rozdělení CNC frézek:

Konzolové frézy (Obr. 6.4) – jsou nejrozšířenější a jsou určeny k frézování rovinných a tvarových ploch na malých a středně velkých součástech v kusové a malosériové výrobě. Charakteristickým znakem je svisle přestavitelná konzola, s níž lze obrobek nastavit do potřebné polohy se zřetelem k nástroji. Konzolové frézy se vyrábějí ve třech provedeních. [3]



Obr. 6.4 Konzolová frézka TOS FGV 32.[27]

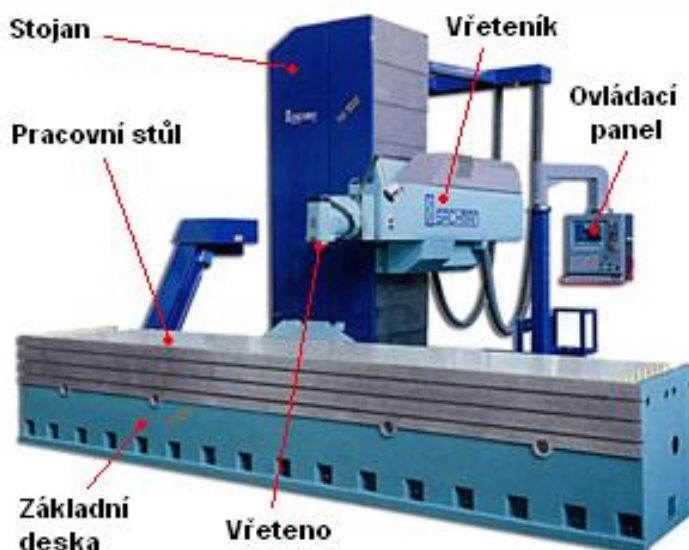
a) Svislé (vertikální) frézy – mají osu pracovního vřetení kolmo k upínací ploše stolu. Pracovní vřetení je uloženo buď ve svislé hlavě připevněné na stojanu frézky, nebo přímo ve stojanu. Svislá hlava se dá natáčet o $\pm 45^\circ$ kolem osy y, vřetení bývá svisle přestavitelné. Na svislých konzolových frézách se frézují zejména rovinné plochy rovnoběžné s upínací plochou stolu, držáky v těchto plochách a tvarové plochy. Používají se k tomu čelní frézy upnuté na

krátkém trnu, nebo frézy s kuželovou stopkou upínané přímo do kužele vřetena, nebo s válcovou stopkou, upnuté do sklíčidla. Na větších svislých konzolových frézách se používají také frézovací hlavy. Nástrojařské frézky mají oproti ostatním frézám navíc možnost posouvat vřeteník ve směru osy y a natáčet jej kolem osy Y , případně osy Z . [14]

b) Vodorovné (horizontální) frézky – mají osu pracovního vřetena vodorovnou, rovnoběžnou s plochou stolu a kolmou na směr podélného stolu. Nejčastěji s nepoužívají pro frézování ploch rovnoběžných s upínací plochou stolu a pro výrobu drážek a tvarových ploch. Pracuje se na nich obvykle frézami válcovými, kotoučovými a tvarovými. Frézovací trn, na který se upíná nástroj, může být podepřen v jednom nebo ve dvou opěrných ložiskách. Omezeně se u nich používají frézky s kuželovou stopkou a frézovací hlavy upnuté do kužele pracovního vřetena. [14]

c) Univerzální frézky – se od ostatních frézek liší tím, že jejich podélný stůl je ve vodorovné rovině otočný kolem svislé osy o $\pm 45^\circ$. [14]

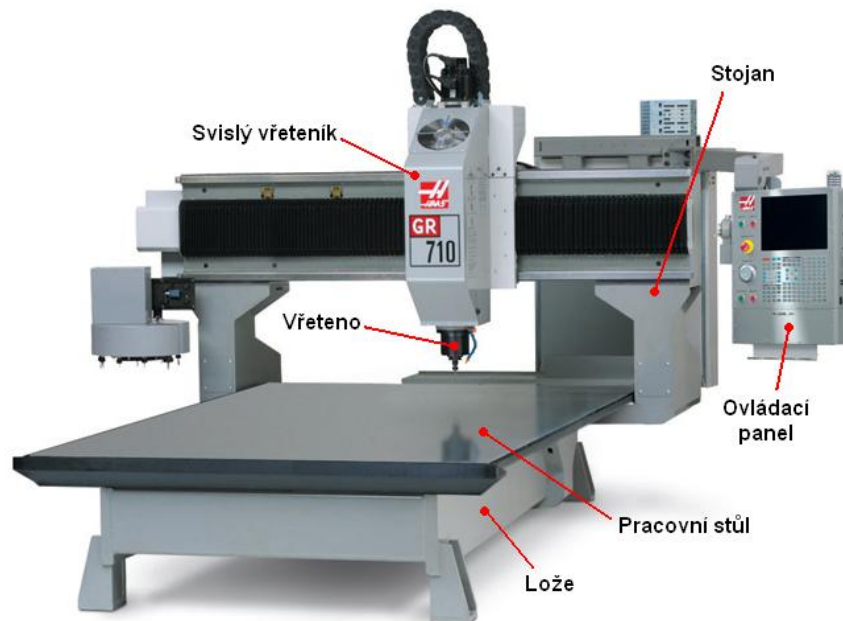
Stolové frézky (Obr. 6.5) – jsou využívány pro frézování hmotnějších obrobků. Obrobek se pohybuje v podélném a příčném směru, svislý pohyb vykonává nástroj spolu s vřeteníkem. Dodávají se ve vertikálním nebo horizontálním provedení. Velmi tuhá konstrukce frézek umožňuje výkonné obrábění s vysokou jakostí obrobku a geometrickou přesností obrobku. Dokonalou přesnost zajišťuje uložení podélného stolu a příčných saní na tuhém loži. Vyrábějí se jak v provedení svislém tak i vodorovném. [3]



Obr. 6.5 Stolová frézka SACHMAN T10 HS.[28]

Rovinné frézky (Obr. 6.6) – tyto frézky jsou sestavené z typizovaných dílů, například loží, stojanů, frézovacích vřeteníků, příčníků apod. Na rovinných frézách je možno obrábět velmi těžké a rozměrné obrobky. Vykonávají se na nich nejtěžší frézovací práce. Je také možné upnout na stůl frézky větší počet menších obrobků, které jsou obráběny společně. Rovinné frézky se vyznačují vysokou produktivitou, která se dosahuje současným obráběním několika ploch v různých

polohách. Rovinné frézky mohou mít více vřeteníků (vodorovné i svislé). Konstrukce rovinných frézek je odvozena od frézek portálových. [3]



Obr. 6.6 Portálová frézka HAAS GR-712.[29]

Speciální frézky – mezi tyto typy lze zařadit například starší typy frézek na držáky, vačky a závity (ovládané ručně, mechanizované, případně automatizované). Do této kategorie však patří zejména frézky na výrobu ozubení (odvalovací frézky na výrobu ozubení čelních kol, frézky na výrobu ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby, atd.). [14]

6.5.2 Frézovací obráběcí centra

Jedná se o číslicově řízené obráběcí stroje schopné provést různé operace při jednom upnutí obrobku, automaticky vyměnit nástroj, nastavit vzájemnou polohu obrobku a nástroje. Používají se pro hromadnou výrobu. Obvykle více-vřetenové provedení strojů. Důraz u těchto strojů je kladen na velmi rychlou výměnu nástrojů a obrobků. Stroje dosahují vysokých posuvových rychlostí i zrychlení. Je možná volba různých počtů vřeten a různého provedení stolu pro obrobek. Vřeteníková skupina obvykle realizuje všechny posuvové souřadnice. Je kladen důraz na malou šířku stroje s dobrým přístupem pro manipulaci seshora a zepředu. [30]

Rozdělení frézovacích obráběcích center:

Frézovací obráběcí centra s horizontální osou vřetene (Obr. 6.7) – jsou tří- až pěti-osé multiprofesní stroje pro obrábění nerotačních obrobků, většinou skříňovitého tvaru (pro výrobu skříňovitých součástí jsou též využívána centra s řízenou polohou osy vřetene). Nosná část je obvykle rozdělena na neměnnou nástrojovou část se třemi navzájem kolnými řízenými osami X, Y a Z) a na stavebnicově proměnnou obrobkovou část se dvěma rotačními osami A a B. Existují též modifikovaná provedení s dvěma osami X a Y v nástrojové části a třemi osami Z, A a B v obrobkové části. Variabilita obrobkové části umožňuje například stavbu stroje s pevnou upínací deskou pro obrábění těžkých a rozměrných obrobků (X, Y a Z) nebo stroje s otočným stolem (osy X, Y, Z a B) či

pětiokého stroje (osy X, Y, Z, A a B). Některá centra, zejména pro obrábění rozměrných a těžkých součástí, mají konstrukci se stojanem posuvným po samostatném loži. [14]



Obr. 6.7 Frézovací obráběcí centrum s horizontální osou vřeteneHAAS ES-5-4T.[31]

Frézovací obráběcí centra s vertikální osou vřetene (Obr. 6.8) – jsou tří-až pětiosé multiprofesní stroje na obrábění plochých nerotačních součástí. Vřeteno s třemi ovládanými osami (X, Y a Z) je umístěno na pojízdnom portálu (existují též varianty se dvěma ovládanými osami X a Z, které mají v obrobkové části řízené osy Y, A, a C). Obrobková část je proměnná a může mít prostý pevný stůl s vodorovnou upínací plochou, otočný „dvoj-stůl“ s krytem proti třískám pro upínání následné součásti během obrábění, stůl nebo dvoj-stůl s otočnými vícenásobnými upínacími, nebo otočný a sklopný stůl se dvěma otočnými osami A a B pro plnohodnotné pěti-osé obrábění. [14]



Obr. 6.8 Frézovací obráběcí centrum s vertikální osou vřeteneHAAS VF-3SSYT.[32]

7 MĚŘENÍ A KONTROLA DÉLKOVÝCH ROZMĚRŮ

Měřením se zjistí rozměr přímo měřidlem, nebo nepřímo porovnáním kalibrem.

Kontrola znamená zjištění, zda materiál nebo obrobek splňují předepsané podmínky, například rozměrovou a tvarovou přesnost, pevnost, kvalitu povrchu, tvrdost. Kontroluje se při dodání materiálu nebo náradí (vstupní kontrola), během výroby (výrobní kontrola) a hotový výrobek (výstupní kontrola).

Měření je kontrolní pracovní činnost, kterou je třeba změřit (měřená veličina), například délka, úhel, hmotnost, tíha obrobku, se porovnává s odpovídající fyzikální základní veličinou.

Porovnání je srovnání rozměru nebo tvaru kontrolovaného předmětu s rozměrem nebo tvarem kalibru, šablony. Zjišťujeme, zda odchylka nepřesahuje dovolenou toleranci. Číselnou hodnotu odchylky však nelze stanovit. Měření se provádí vhodnými měřidly. [3]

Druhy měřidel

Nastavitelná měřidla – slouží ke zjištění naměřené hodnoty délky nebo úhlu pomocí nastavitelného, pohybového indikačního zařízení (nonius, stupnice, počítadlo). Naměřená hodnota se ihned odečítá. [3]

Mezi nastavitelná měřidla patří:

- Posuvná měřidla,
- mikrometrická měřidla,
- úhlová měřidla. [3]
- pevná měřidla – s pevnou roztečí rysek nebo ploch.

Mezi pevná měřidla patří:

- ocelová měřidla,
- základní měrky. [3]

Šablony a kalibry – představují buď tvar nebo rozměr měřeného obrobku.

Mezi šablony a kalibry patří:

- Tvarové kalibry,
- úhelníky,
- šablony pro měření úhlů,
- šablony na zaoblení,
- spároměry. [3]

8 SOUHRN VÝROBCŮ ROVINNÝCH FRÉZ

Výrobou a distribucí obráběcích strojů se na českém trhu zabývá mnoho firem. Uvedu jen pár vybraných firem a jejich některé sortimenty s popiskem a obrázkem obráběcího nástroje.

8.1 Sortiment firmy Pramet Tools, s.r.o.

Firma Pramet Tools, s.r.o. byla založena v roce 1951 v Šumperku kde má dodnes své hlavní sídlo. Je největší tuzemský zpracovatel slinutého karbidu a nástrojů (Tab. 8.1), na kterých jsou použity destičky z tohoto materiálu.

Pramet Tools, s.r.o. se zabývá výrobou nástrojů do oblastí tváření a obrábění. [33]

Tab. 8.1 Přehled rovinných fréz od firmy Pramet Tools, s.r.o. [33]

Označení frézy	Použití frézy	Obrázek
F90TB27X	Je to čelní fréza určená pro těžké hrubování. Je vyráběna v průměrech 140 ÷ 216 mm. Tato fréza se používá na obrábění ocelí a litin.	
S90AP10D	Fréza je určená na frézování do rohu. Je vyráběna v průměrech 40 ÷ 63 mm. Tato fréza se používá na obrábění všech kovových materiálů, výjma materiálů kalených.	
W75SN12D	Je to čelní fréza negativní. Je vyráběna v průměrech 80 ÷ 160 mm. Tato fréza se používá na obrábění litin, neželezných kovů a kalených ocelí.	
S45SN12Z	Je to čelní fréza negativně pozitivní. Je vyráběna v průměrech 40 ÷ 250 mm. Tato fréza se používá na obrábění veškerých kovových materiálů, výjma neželezných kovů.	
W75SP15D	Je to čelní fréza pozitivní. Je vyráběna v průměrech 125 ÷ 315 mm. Tato fréza se používá na obrábění ocelí a litin.	

W45SE15F





Je to čelní fréza velmi pozitivní. Je vyráběna v průměrech 125 ÷ 250 mm. Tato fréza se používá na obrábění všech kovových materiálů výjma kalených ocelí.





8.2 Sortiment firmy Sandik Coromat AB

Společnost Sandvik Coromant AB je předním světovým dodavatelem obráběcích nástrojů (Tab. 8.2) a zařízení pro kovoobráběcí průmysl. Společnost byla založena roku 1862 ve Švédsku. Hlavní sídlo firmy je dnes ve švédském Sandviken. [34]

Tab. 8.2 Přehled rovinných fréz od firmy Sandvik Coromant AB. [34]

Označení frézy	Použití frézy	Obrázek
CoroMill 245	Je První volbou pro čelní frézování většiny materiálů, od hrubování až po dokončování. Kombinuje vysoký úběr kovu s vynikající kvalitou obrobeneho povrchu. Je vyráběna v průměrech 32 ÷ 250 mm.	
CoroMillCentury	Je čelní fréza pro vysokorychlostní obrábění neželezných kovů. Konstrukčně vyvážená fréza tvořená pouze několika málo díly. Je vyráběna v průměrech 32 ÷ 250 mm.	
AUTO	Je to čelní fréza pro hrubování velkých ploch. Je vyráběna v průměrech 125 ÷ 500 mm. Tato fréza se používá na obrábění litin.	
CoroMill 490	Je to čelní fréza, ale dá se použít i jako fréza do rohu. Je vyráběna v průměrech 20 ÷ 250 mm. Tato fréza se používá na obrábění ocelí a litin.	

T - MAX 45	Je to čelní fréza pro náročné podmínky. Je vyráběna v průměrech 100 ÷ 400 mm. Tato fréza je vhodná pro vysoký úběr materiálu.	
CoroMill 390	Je to fréza pro hluboké a mělké frézování do rohu. Je vyráběna v průměrech 12 ÷ 200 mm. Tato fréza se provádí ve více variantách podle způsobu použití.	

7.3 Sortiment firmy ISCAR

Firma ISCAR byla založena v roce 1952 ve městě Naharija. Hlavní sídlo firmy je dnes v izraelském Tefenu. Iscar je výrobcem unikátních a inovativních nástrojů (Tab. 8.3) pro všechny aplikace třískového obrábění. [35]

Tab. 8.3 Přehled rovinných fréz od firmy ISCAR. [35]

Označení frézy	Použití frézy	Obrázek
3M F4AX-20	Je to fréza určená pro těžké hrubování. Je vyráběna v průměrech 63 ÷ 315 mm. Tato fréza se používá na obrábění veškerých kovových materiálů.	
T490 FLN...-13	Jedná se o čelní nástrčnou frézu s tangenciálně upnutými destičkami. Je vyráběna v průměrech 40 ÷ 125 mm. Tuto frézu lze používat pro obrábění bočních 90° ploch a pro obrábění slitinových a nerez ocelí, vysokoteplotních slitin a litin.	
H490 E90AX...-09	Je to stopková fréza s oboustrannými destičkami. Je vyráběna v průměrech 16 ÷ 40 mm.	

F4NM

Je to čelní fréza s osmihraným kruhovým VBD. Je vyráběna v průměrech 63 ÷ 125 mm



8.4 Zhodnocení sortimentu firem

Z hlediska velkého počtu výrobního sortimentu, které jsou nabízeny na tuzemském, ale i na zahraničních trzích, jsem uvedl jen malý souhrn nástrojů od předních výrobců v tuzemsku. Jednotlivé nástroje jsou uváděny podle katalogového čísla s popiskem a obrázkem. Kompletní nabídka nástrojů je dostupná v katalogích a na internetu příslušné firmy, kde jsou uváděny podrobné informace.

9 DISKUZE

Předmětem zadaného tématu je frézování rovných ploch u součástí na CNC strojích.

Cílem tohoto tématu bylo obecně popsat frézování rovných ploch součástí na CNC strojích, zabývat se nástrojům a strojům a vybrat některé výrobce a distributory obráběcích strojů na našem trhu.

V první části je popsán princip a význam rovinného frézování. Rozdělení na nesousledné a sousledné, výhody a nevýhody v praxi a problematika rovinného frézování (k ovlivňování průběhu frézování patří materiál a velikost obrobku, stabilita stroje, požadovaná jakost obrobeného povrchu, výkon obrábění, výkon stroje atd.).

Další část bakalářské práce se zabývá nástroji pro frézování, jejich rozdělení (dle ploch, způsobu výroby, počtu zubů, tvaru břítu, počtu dílů, řezného materiálu, smyslu otáčení), materiálu na výrobu fréz. Způsoby upínání fréz, které závisí na její konstrukci, druhu a rozměrech frézy a na způsobu frézování. V této části jsou uvedeny základní typy CNC strojů pro frézování, rozdělení frézovacích strojů (frézky a frézovací obráběcí centra).

Zadání téma je shrnuto:

- Pro dosažení kvalitního obrábění je nutná volba způsobu frézování dle druhu použitého nástroje.
- V současnosti jsou využívány frézy z kvalitních materiálů a povlaků, které zvyšují průběh obrábění, produktivitu a hospodárnost obrábění.
- Tyto frézy dosahují velice dobrých řezných vlastností a při použití dosahují vysokých přesností a s jejich použitím jde dosáhnout vysoké přesnosti a kvality obrobené plochy.
- Důležitým parametrem v obrábění je životnost nástrojů. Proto pro maximální využití nástrojů se sledují kritéria ovlivňující tyto parametry.

ZÁVĚR

Obsahem písemné práce je celkový význam rovinného frézování na CNC strojích.

V bakalářské práci jsem se zaměřil na základní charakteristiku, význam a problematiku této metody v praxi. Cílem práce je seznámit a zhodnotit rovinné frézování na CNC strojích a jejich využití.

Úvodem mé práce bylo seznámení s rovinným frézováním a vysvětlit teorii obrábění. V další fázi bakalářské práce se zmiňuji o určitých faktorech, které mohou ovlivnit kladně nebo záporně průběh frézování i jak se vyvarovat špatným vlivům při obrábění.

Dále jsem se zabýval nástroji a příslušenstvím určené pro frézování. Kládl jsem důraz na přehled a výběr nástrojů, na způsob jejich upínání a pracovat s nimi.

V tématu jsem se zmínil i o důležitosti výběru CNC strojů pro frézování. Je velice důležité mít na trhu nejlepší přední výrobce a tím i mít jistotu v požadovanou jakost při obrábění. Uvedl jsem jen nejhlavnější výrobce na trhu, ale lze vybírat z rozsáhlého seznamu tuzemských i zahraničních firem zabývajících se výrobou obráběcích strojů.

Závěrem této bakalářské práce bych chtěl shrnout zadané téma s tím, že frézování je v moderní době velice důležitá metoda pro mechanické třiskové obrábění frézou. Tato metoda se stále používá a snad i v budoucnu se bude používat nejen ve strojírenství, ale i v jiných průmyslově důležitých odvětvích.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. čes. vyd. Praha: SandvikCoromant, 1997, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 91-972299-4-6. [cit. 2011-12-05].
2. INDRA, Jaroslav. *Hrubovací frézování rovinných a prostorových tvarových ploch na CNC strojích*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysokém učení technickém fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda. [cit. 2011-12-05].
3. KALIŠ, Václav. Frézování, hoblování, obrážení, protahování. In: [online]. Žďár nad Sázavou, 2008.[cit. 2011-12-19]. Dostupné z: <http://www.ulozto.sk/3929153/ucebni-texty-frezovani-doc>
4. VAŇÁK, Antonín. Technologie frézování: Pracovní listy. *Střední odborná škola a Střední odborné učiliště, Šumperk* [online]. 2007 [cit. 2011-12-19]. Dostupné z: http://www.sossou-spk.cz/esf/TEC_fr.pdf
5. HUMÁR, Antonín. Výrobní technologie II. *VUT v Brně, FSI* [online]. 2002 [cit. 2012-01-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobniTecnologie_II.pdf
6. GARANT: *Příručka obrábění*. 2010, roč. 2010, č. 01. Dostupné z: <http://www.hoffmann-group.com/cz/kompetence-v-oblasti-servisu/stahovani-souboru/prirucka-obrabeni.html>
7. PLAČEK, Miroslav. *Rovinné frézování na CNC strojích*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysokém učení technickém fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda. [cit. 2012-02-05].
8. Rychlořezná ocel. *Wikipedie* [online]. 2012 [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlo%C5%99ezn%C3%A1_ocel
9. Slinuté karbidy. *Strojírenství-frézování* [online]. 2012 [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.com/2011/03/131-slinute-karbidy-sk.html>
10. Řezná keramika. *Leccos* [online]. 2012 [cit. 2012-03-06]. Dostupné z: <http://leccos.com/index.php/clanky/rezna-keramika>
11. Nástroje osazené umělým diamantem. *LPW* [online] . 2012[cit. 2012-03-06]. Dostupné z: <http://www.lpw.cz/show.php?show=55>
12. MACHÁČEK, Jiří. Frézovací hlava – srdce portálového stroje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/frezovaci-hlava-srdce-portaloveho-stroje>
13. Franken: *technologie obrábění*. č. 205. ISSN ZP9010CZ. Dostupné z: <http://www.emugefranken.cz/soubory/13cz.pdf>
14. AMBROŽ, Pavel. Moderní systémy pro upínání stopkových nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-systemy-pro-upinani-stopkovych-nastroju/G-kod>

15. Upínání nástrojů. *ČVUT v Praze* [online]. 2012 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/ON/kap6-Upinani_nastroju.pdf
16. AMBROŽ, Pavel. Moderní systémy pro upínání stopkových nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-systemy-pro-upinani-stopkovych-nastroju-2.html>
17. AMBROŽ, Pavel. Upínače stopkových nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/upinace-stopkovych-nastroju>
18. Princip hydraulického rozpínacího upínače TENDO. *Winter-servis* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://www.winter-servis.cz/index.php?page=schunk/n_tendo
19. Nová koncepce tepelného upínání nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 17.5.2004 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-koncepce-tepelneho-upinani-nastroju>
20. AMBROŽ, Pavel. Moderní systémy pro upínání stopkových nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 25.04.2007 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-koncepce-tepelneho-upinani-nastroju>
21. Frézování. *Pavkrej* [online]. 2012 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.pavkrej.wz.cz/web/texty/frez.doc>
22. Hydraulický strojní NC svěrák VNC-100H. *Strojní svěráky* [online]. 2012 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://shop.strojniveraky.cz/popup_image.php?plD=274
23. Upínání obrobku. *Petrskalicki.wordpress* [online]. 2012 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://petrskalicki.files.wordpress.com/2011/02/upinani1.jpg>
24. Číslicově řízené obráběcí stroje. *Střední průmyslová škola v Karviné* [online]. 2004 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.sps-karvina.cz/www/.cnc/CNC.doc>
25. ADAMEC, Antonín a Šárka TICHÁ. Programování CNC systému EMCOTRONIC TM02 – soustružení. *Fakulta strojní vysoká škola báňská – Technická univerzita v Ostravě* [online]. 2008 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.fs.vsb.cz/books/PNCS/programovani-cnc-systemu.pdf>
26. Co jsou to CNC stroje. *Strojnet* [online]. 2012 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.strojnet.cz/clanky/obrabeci-stroje-cnc.php>
27. Univerzální konzolová frézka FGV 32 CNC. *TOS Olomouc* [online]. 2012 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.tos-olomouc.cz/oc-cz/vyrobniprogram/univerzalni-produkcnifrezky/konzolova-frezka-fgv-32>
28. Stolová frézka T 10 HS. SACHMAN. *Fermat machinery* [online]. 2012 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.fermatmachinery.com/cs/used-machines/20109-cnc-stolova/111303-T-10-HS.html>

29. GR-712 Podrobnosti. *Haas cnc* [online]. 2012 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: http://www.haascnc.com/lang/details.asp?ID=GR-712&intLanguageCode=1029&webid=VMC_GANTRY#VMCTreeModel
30. Návody Obrábění - frézování. *Kvicala.vysehrad* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://kvicala.vysehrad.org/download_data/Fr%E9zov%E1n%ED%201.pdf
31. ES-5-4T Podrobnosti. *Haas cnc* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://www.haascnc.com/lang/details.asp?ID=ES-5-4T&intLanguageCode=1029&webid=HMC_EC#HMCTreeModel
32. VF-3SSYT Podrobnosti. *Haas cnc* [online]. 2012 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.haascnc.com/lang/details.asp?ID=VF-3SSYT&intLanguageCode=1029&webid=VMC_HIGHSPEED#VMCTreeModel
33. Pramet: *Frézování*. 2010, roč. 2010, č. 01. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Milling%202010%20CZ%20program.pdf>
34. Elektronický katalog Frézování 2010. AB SANDVIK COROMAT – SANDVIK CZ s.r.o., ČR. [online]. 2010 [cit. 2011-05-12]. Dostupné na WorldWide Web: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/ROT_D.pdf>.
35. O firmě IscarČr s.r.o. *IscarCr* [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://iscar.cz/Section.asp/CountryID/6/SectionID/144/SectionFatherID/143>
36. DEMBEK, JIRÍ. *Slinuté karbidy a jejich efektivní využití*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CNC	[-]	ComputerNumericalControl Počítačové číslicové řízení
HSS	[-]	High Speed Steel Rychlořezná ocel
KNB	[-]	Kubický nitrid boru
M	[-]	Nulový bod stroje
N	[-]	Nulový bod nástrojového držáku
P	[-]	Nulový bod nástroje
PKD	[-]	Syntetický diamant
R	[-]	Referenční bod
RO	[-]	Rychlořezná ocel
SK	[-]	Slinutý karbid
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
W	[-]	Nulový bod obrobku

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A_{Di}	[mm ²]	Jmenovitý průměr třísky
A_{Dmax}	[mm ²]	Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky
A_e	[mm]	Šířka obráběné plochy
B	[mm]	Šířka frézované plochy
D	[mm]	Průměr frézy
F_u	[N]	Upínací síla
F_v	[N]	Vnější síla
H	[mm]	Hloubka odebírané vrstvy
L	[-]	Čelní plocha zubu
S_z	[mm]	Posuv na zub frézy
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
f	[mm]	Jmenovitý průměr třísky
f_z	[mm]	Posuv na zub
h_i	[mm]	Jmenovitá tloušťka třísky
h_{max}	[mm]	Maximální jmenovitá tloušťka třísky
i	[-]	Polohu zubu frézy
k_r	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří
n	[ot.min ⁻¹]	Otáčky nástroje
n_z	[ks]	Počet zubů frézy v současném záběru
$\sin\phi_i$	[-]	Úhlová rozteč zubů
$\sin\phi_{max}$	[-]	Maximální úhel záběru
t	[mm]	Rozteč zubů
u	[mm]	Rozteč
v	[mm]	Výška podsoustružení
v_c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_e	[m.min ⁻¹]	Rychlost řezného pohybu

v_f	[m.min ⁻¹]	Posuvová rychlost
z	[ks]	Počet zubů frézy
z_c	[ks]	Počet efektivních zubů
z_n	[ks]	Počet zubů nástroje
α	[°]	Úhel hřbetu
α_0	[°]	Úhel odklonu hřbetu
β	[°]	Úhel bříty
γ	[°]	Úhel čela
δ	[°]	Úhel řezu
η	[°]	Úhel posuvového pohybu
π	[°]	Ludolfovo číslo
φ	[°]	Úhel posuvového pohybu
φ_i	[°]	Úhlová rozteč zubů
φ_{max}	[°]	Maximální úhel záběru

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Univerzální konzolová frézka FGV 32 CNC
Příloha 2 Stolová frézka T10 HS SACHMAN
Příloha 3 Portálová frézka GR-712
Příloha 4 Horizontální frézovací centrum ES-5-4T
Příloha 5 Vertikální frézovací centrum VF-3SSYT
Příloha 6 Základní rozdělení slinutých karbidů

PŘÍLOHA 1 (1/2)

Univerzální konzolová frézka FGV 32 CNC[27]



Přednosti:

- Vysoká tuhost a geometrická přesnost stroje.
- Plynule stavitelné posuvy ve všech 3 osách pomocí frekvenčního měniče.
- Kalené vodící plochy.
- Natáčivá vřetenová hlava s výsuvnou pinolou.
- Sousedné frézování v podélné ose.
- Automatické pracovní cykly v podélné ose poklesem konzoly.
- Jednoduchá obsluha.
- Centrální mazání.
- Kompaktní uspořádání stroje.
- Povrchová úprava speciálními olejivzdornými laky.

Stůl:

Rozměr pracovní plochy: 360 x 1400 mm

Počet upínacích držáků: 4

Šířka a rozteč: 18 x 63 mm

Maximální zatížení stolu: 250 kg

PŘÍLOHA 1 (2/2)

Univerzální konzolová frézka FGV 32 CNC [27]

Pracovní zdvih podélný X: 1000 mm

Pracovní zdvih příčný Y: 300 mm

Pracovní zdvih svislý Z: 420 mm

Posuvy – rozsah X, Y: 20 - 900 mm/min.

Posuvy – rozsah Z: 5,7 - 250 mm/min.

Rychloposuv X, Y: 1635 mm/min.

Rychloposuv Z: 460 mm/min.

Vřeteno:

Vzdálenost osy vřetene od vedení trámu: 370 mm

Otáčky – počet stupňů: 12

Základní rozsah: 31,5 - 1400 ot./min./r.p.m.

Zvýšený rozsah: 45 - 2000 ot./min./r.p.m.

Oboustranné natočení vřetenové hlavy: $\pm 45^\circ$

Vysuv pinoly: 75 mm

Stroj:

Výkon motoru: 5,5 kW

Celkový příkon: 13 kVA

Hmotnost: 2860 kg

Zastavěná plocha: 2995 - 2000 mm

Výška stroje: 2100 mm

Příloha 2

Stolová frézka T10 HS SACHMAN [28]



Stůl:

Inv. Č.: 111303

Druh stroje: T10 HS

Výrobce: SACHMAN

Rok výroby: 2005

Délka pracovní plochy: 2200 mm

Šířka pracovní plochy: 710 mm

Pracovní zdvih podélný X: 2100 mm

Pracovní zdvih příčný Y: 1100 mm

Pracovní zdvih svislý Z: 800 mm

Vřeteno:

Upínací kužel vřetena: ISO 50

Stroj:

Hmotnost: 13650 kg

Příloha 3

Portálová frézka GR-712 [29]



Stůl:

Pracovní zdvih podélný X: 3683 mm

Pracovní zdvih příčný Y: 2159 mm

Pracovní zdvih svislý Z: 279 mm

Vřeteno:

Otáčky vřetena: 1000 ot./min.

Upínací kužel vřetena: ISO 40

Stroj:

USB port

Zámek pro přední zavěšení

LCD barevný monitor: 15''

Počet automatických měničů nástrojů: 10

Výkon: 11,2 kW

Hmotnost: 13650 kg

Příloha 4

Horizontální frézovací centrum ES-5-4T [31]



Stůl:

Délka pracovní plochy otočného stolu s T - drážkami: 1016 mm

Šířka pracovní plochy otočného stolu s T - drážkami: 381 mm

Pracovní zdvih podélný X: 1016 mm

Pracovní zdvih příčný Y: 457 mm

Pracovní zdvih svislý Z: 559 mm

Vřeteno:

Otáčky vřetena: 8000 ot./min.

Upínací kužel vřetena: ISO 40

Stroj:

USB port

Zámek pro přední zavěšení

LCD barevný monitor: 15''

Postranný měnič nástrojů: 24 + 1

Automatický dopravník třísek

Programová paměť: 1 MB

Tuhé řezání vnitřního závitu

Chladicí systém s kapacitou: 2008 l

Výkon: 14,9 kW

Hmotnost: 13650 kg

Příloha 5

Vertikální frézovací centrum VF-3SSYT[32]



Stůl:

Délka pracovní plochy otočného stolu s T - drážkami: 1016 mm

Šířka pracovní plochy otočného stolu s T - drážkami: 381 mm

Pracovní zdvih podélný X: 1016 mm

Pracovní zdvih příčný Y: 660 mm

Pracovní zdvih svislý Z: 635 mm

Vřeteno:

Rychloposuv: 35,6 m/min.

Otáčky vřetena: 12000 ot./min.

Upínací kužel vřetena: ISO 40

Stroj:

USB port

Zámek pro přední zavěšení

LCD barevný monitor: 15''

Postranný měnič nástrojů: 24 + 1

Automatický dopravník třísek

Programová paměť: 1 MB

Tuhé řezání vnitřního závitu

Chladicí systém s kapacitou: 2008 l

Výkon: 22,4 kW

Hmotnost: 13650 kg

Příloha 6

Základní rozdělení slinutých karbidů [36]

Skupina	Podskupina	Základní chemické složení	Efektivní aplikace pro obrábění materiál
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	WC (30÷82)% +TiC (8÷64)% +Co (5÷17)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou, plynulou třísku: Nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automatová ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel.
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	WC (79÷84)% +TiC (5÷10)% +TaC.NbC (4÷7)% +Co (6÷15)%	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou a střední třísku: Austenitická a feriticko austenitická ocel, korozivzdorná, žáruvzdorná, žáropevná, nemagnetická a otěruvzdorná ocel.
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87÷92)% +Co (4÷12)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající krátkou, drobnou třísku: Nelegovaná i legovaná šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina.
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30		Slinuté karbidy pro obrábění neželezných materiálů: Slitiny mědi a hliníku, duroplasty, fibry, plasty s vlákninou, tvrdá guma.
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30		Slinuté karbidy pro obrábění: Žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, superslitiny na bázi Ni nebo Co, Titanu, Ti slitiny.
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30		Slinuté karbidy pro obrábění: Zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48÷60, tvrzené kokilové litiny HSh 55÷58