



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



TÝMOVÁ CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE V OBRÁBĚNÍ

Učební text

doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Ing. Jaromír Adamec, Ph.D.

Ostrava 2011



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Název: Týmová cvičení z předmětu speciální technologie v obrábění
<Autor/Autoři>: doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica, Ing. Jaromír Adamec, Ph.D.

Vydání: první, 2011

Počet stran: 85

Náklad: 60

Studijní materiály pro studijní obor Strojírenská technologie Fakulty strojní

Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu
Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147
Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica, Ing. Jaromír Adamec, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2721-6

POKYNY KE STUDIU

TÝMOVÁ CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE V OBRÁBĚNÍ

Pro předmět 2. semestru oboru strojírenská technologie jste obdrželi studijní balík obsahující:

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu,
- přístup do e-learningového portálu obsahující doplňkové animace vybraných částí kapitol,
- <CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol,>
- <harmonogram průběhu semestru a rozvrh prezenční části,>
- <rozdělení studentů do skupin k jednotlivým tutorům a kontakty na tutorů.>

Prerekvizity

Pro studium tohoto předmětu se předpokládá absolvování předmětu Programování na NC strojích.

Pro studium této opory se předpokládá znalost na úrovni absolventa bakalářského studia.

Cílem předmětu

Cílem je seznámení se základními pojmy z oblasti programování souvislých CNC řídicích systémů pro obráběcí stroje. Po prostudování modulu by měl student být schopen samostatně sestavit řídicí programy pro tvarové součásti na CNC soustruh a CNC frézku.

Dalším cílem je seznámit studenty s návrhem konstrukce speciálního nástroje pro obrábění čelních ozubených kol. Po prostudování modulu bude student schopen samostatného návrhu nástroje pro obrábění čelních ozubených kol frézováním dělicím způsobem

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do magisterského studia oboru strojírenská technologie studijního programu strojní inženýrství, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Popsat ...
-  Definovat ...
-  Vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



Shrnutí pojmů

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Otázky

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



Úlohy k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavním významem předmětu schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti pro řešení reálných situací.



Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek jsou uvedeny v závěru učebnice v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přeji autoři.

doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica
Ing. Jaromír Adamec, Ph.D.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	VYBRANÉ METODY VÝROBY OZUBENÍ	11
2.1	Principy výroby ozubených kol.....	11
2.1.1	Dělicí způsoby výroby čelních ozubených kol.....	11
2.1.2	Frézování.....	11
2.1.3	Soustružení na CNC soustruhu s řízenou osou C a pohaněnými nástroji.....	13
2.1.4	Aktivace C-osy	13
3	OBRÁBĚCÍ STROJE NA OZUBENÍ.....	15
3.1	Obráběcí stroje pracující tvarovými nástroji.....	15
3.2	Číslicově řízené obráběcí stroje na výrobu ozubení.....	16
3.2.1	NC otočný stůl.....	17
4	OBRÁBĚNÍ TVAROVÝCH PLOCH NA CNC SOUSTRUŽÍCH	18
4.1	Základní pojmy CNC soustruhu EMCOTurn 120.....	18
4.1.1	CNC soustruh EMCO PC TURN 155A.....	18
4.2	Hlavní technické parametry soustruhu.....	19
4.3	Skupiny a jednotlivé příkazy G – funkcí.....	20
4.4	Skupiny a jednotlivé příkazy M – funkcí.....	21
4.5	Vrtací cykly	22
4.6	Soustružnické cykly.....	22
4.7	Zkratky příkazů používaných pro řízení C – osy.....	22
4.8	Příkaz TRANSMIT	23
4.8.1	Příklad použití příkazu TRANSMIT pro obrábění šestihranu 6HR30.....	23
4.8.2	Cyklus TMCON.....	24
4.8.3	Cyklus TMCOFF.....	24
4.8.4	Výpočtový podprogram pro opracování libovolného šestihranu	25
4.8.5	Příklad programu pro šestihran 6HR26	25
4.9	Příkaz TRACYL.....	29
4.9.1	Příklad použití příkazu TRACYL pro obrábění drážky	29
4.10	NC program na opracování kola s drážkami na obvodu	31
4.10.1	Podprogram pro povrch kola s drážkami	32
4.10.2	Podprogram pro díru kola s drážkami.....	33

4.10.3	Grafická simulace	33
5	OBRÁBĚNÍ TVAROVÝCH PLOCH NA CNC FRÉZKÁCH.....	35
5.1	Technická data CNC frézky PC MILL 155	35
5.2	CNC řídicí systém SINUMERIK 810D/840D	36
5.3	Skupiny a jednotlivé příkazy G – funkcí.....	37
5.4	Skupin a jednotlivé příkazy M – funkcí.....	39
5.5	Jednotlivé příkazy cyklů	39
5.6	Příprava CNC systému SINUMERIK 840D pro programování	40
5.7	Vytvoření nového NC programu	41
5.8	Podmínky pro obrábění.....	42
5.9	Obsah technický postup výroby ozubeného kola dělicím způsobem na frézce	43
6	OZUBENÉ PŘEVODY	46
6.1	Rozdělení ozubených převodů	46
6.2	Základní pojmy ozubení.....	48
6.3	Geometrické parametry čelního nekorigovaného ozubení s přímými zuby.....	50
7	TVAROVÉ FRÉZY NA EVOLVENTNÍ OZUBENÍ	54
7.1	Výpočet kotoučových fréz pro vnější ozubení s přímými zuby.....	55
7.1.1	Určení souřadnic evolventního profilu.....	56
7.1.2	Souřadnice zaoblení hlavy zubu nástroje.....	58
7.1.3	Šířka a výška profilu frézy	60
7.1.4	Stanovení ostatních konstrukčních parametrů – obr. 7.7	61
7.1.5	Geometrie břitu kotoučových fréz	63
7.2	Výpočet čepových fréz pro vnější ozubení s přímými zuby	65
7.2.1	Konstrukční parametry čepových fréz.....	66
7.2.2	Geometrie břitu čepové frézy.....	68
8	NÁVRH KOTOUČOVÉ FRÉZY PRO KONKRÉTNÍ OZUBENÉ KOLO	72
8.1	Výpočet profilu nástroje	73
8.1.1	Zadané hodnoty ozubeného kola.....	73
8.1.2	Výpočet základních bodů profilu.....	73

8.2	Konstrukční parametry nástroje	74
8.2.1	Šířka S_{Fn} a výška h_{Fn} profilu nástroje	74
8.2.2	Velikost a tvar zubové mezery	75
8.3	Kontrola řezné geometrie	75
8.4	Výrobní výkres navržené tvarové kotoučové frézy	78
8.5	Technologický postup výroby tvarové kotoučové frézy	79
8.6	Postup tepelného zpracování frézy včetně diagramů	81
8.7	Postup ostření nástroje	82
9	PŘÍLOHY	84

1 ÚVOD

V současné době roste podíl automatizace ve výrobě a zároveň roste počet řízených strojů využívaných v průmyslové praxi. Nasazení číslicově řízených strojů ve výrobě přináší nejen zvýšení produktivity a kultury práce, ale i zvýšení opakované přesnosti a také možnost obrábění tvarově složitých a v mnohých případech standardními technologiemi nevyrobitelných součástí. Obecně patří obrábění tvarových (evolventních) ploch vícebřitým nástrojem k nejnáročnějším odvětvím strojírenské výroby. Jsou nutné speciální stroje a přesné nástroje.

Tento učební text navazuje na stávající dostupnou studijní literaturu pro programování NC/CNC obráběcích strojů a doplňuje ji o příklady programů pro moderní CNC obráběcí stroje, zejména o CNC soustruh s řízenou osou C a poháněnými nástroji a CNC frézku s řídicími systémy německé firmy Siemens SINUMERIK 810D/840D.

Význačným vývojovým trendem při programování NC strojů je skutečnost, že si výrobci řídicích systémů (např. SIEMENS, HEIDENHAIN, FANUC), doplňují tyto systémy o moduly, které nejen zpřijemňují obsluhu samotného obráběcího stroje, ale dokonce umožňují tvorbu zcela nových NC programů přímo z panelu řídicího systému. Toto „dílenké programování“, označované jako EASystep, je uživatelsky velmi jednoduché, neboť software při tvorbě programu provádí programátora jednotlivými operacemi, nabízí mu možnost zadávání parametrů technologických operací pomocí dynamických oken apod. Jako nadstavbu je možné u těchto systémů využívat značně bohaté, uživatelsky zajímavé programové vybavení, zpravidla však jako nadstavbu za příplatek. Je možným řešením pro jednodušší díly a pro specifický způsob organizace technologické přípravy výroby.

Software EMCO WinNC je součástí EMCO výukového konceptu na bázi PC. Cílem tohoto konceptu je výuka, obsluha a programování řídicích systémů číslicově řízených obráběcích strojů.

Pomocí EMCO WinNC je možno napodobit různé CNC řídicí systémy pro soustružnické a frézovací stroje. Obsluha funkcí řídicího systému a obráběcího stroje je sjednocená, formát programu a editor odpovídá originálnímu systému NC obráběcího stroje.

Katedra obrábění a montáže má zakoupenou část tohoto výukového konceptu. Jedná se o NC soustruh EMCoturn 120 s řídicím systémem EMCOTRONIC TM 02 a dalších pět CNC výukových systémů EMCOTRONIC TM 02 pracujících s PC. Dále NC frézku EMCO PC MILL 155 s řídicím systémem SINUMERIK 810D/840D včetně dalších pěti systému SINUMERIK 810D/840D pracujících s PC. Pro další výuku je k dispozici pět CNC systémů HEIDENHAIN TNC 355 pracujících s PC pro simulaci obrábění naprogramovaných součástí.

Firma SIEMENS nabízí pro řízení soustruhu, frézek i obráběcích center řídicí systém SINUMERIK 810D/840D. Přitom existuje možnost volby mezi jeho problémově orientovaným provedením - včetně adekvátně provedeného panelu:

1. Verze se standardním provedením a základním panelem - určena pro standardní nasazení u výrobců strojů, tedy jednodušší a cenově přijatelnější řešení.

2. Verze s nadstandardním provedením, doplněním panelem ShopMill pro frézování, či obdobným TurnMill pro soustružení - umožňující bohatší uživatelský komfort, představovaný možností graficky interaktivního 2,5 D obráběcích operací, nabízející mimo jiné tyto výhody:
- ◆ jednoduché a přehledné programování s využitím technologie cyklů - minimalizace doby vzniku nového NC programu, vše je zobrazováno přímo na grafickém panelu řídicího systému,
 - ◆ možnost obsluhy a programování bez znalosti ISO kódu - každý krok při tvorbě programu je podpořen grafickým oknem s dynamickým obrázkem a nápovědou,
 - ◆ možnost přesouvání pracovních kroků, zadávání obráběné kontury přímo na panelu řídicího systému,
 - ◆ množství frézovacích, vrtacích a závitovacích operací, řetězení polohově umístěných obráběných prvků do kruhových nebo obdélníkových rastrů,
 - ◆ grafickou simulaci ve 3D, nebo různých pohledech s volbou výpočtu času programu,
 - ◆ měření polohy obrobku na stole za pomoci 3D měřicí sondy - slouží pro posunutí nulového bodu,
 - ◆ při seřizování je možné proměření nástroje pro zjištění korekčních hodnot délky a průměru,
 - ◆ disponuje přehledným manažerem nástrojů, ke kterým lze navolit otáčky vřetene, posuvy, směr otáčení, možnost volby chlazení, apod.
 - ◆ během obrábění jsou zaznamenány a na panelu systému graficky znázorněny dráhy nástrojů.

2 VYBRANÉ METODY VÝROBY OZUBENÍ

Tato kapitola se zabývá vybranými metodami výroby ozubení ozubených kol. Protože cílem tohoto učebního textu není úplný popis technologie užívané při výrobě všech druhů ozubených kol, ale pouze seznámení s její obecnou problematikou, bude další text omezen na výrobu čelních ozubených kol s přímým evolventním ozubením a to dělicí metodou, protože tuto metodu můžeme realizovat v našich výukových laboratořích.

Nástroje na výrobu ozubení musí vytvořit zubovou mezeru v její plné hloubce, to je včetně hlavové vůle. Proto výška hlavové části břitů nástrojů je o hlavovou vůli větší než výška hlavy vlastního zubu obráběného kola.

2.1 Principy výroby ozubených kol



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Popsat základní metody výroby ozubení ozubených kol.
-  Definovat pojmy z oblasti výroby tvarových ploch frézováním a soustružením na CNC obráběcích strojích.
-  Rozdělit metody obrábění ozubených kol.



Výklad

Ozubená kola lze obrábět třemi základními metodami:

1. Tvarovými nástroji
2. Kopírovacím způsobem
3. Odvalovacím způsobem

2.1.1 Dělicí způsoby výroby čelních ozubených kol

Při dělicí metodě mají ostří nástroje tvar konkrétní zubové mezery, který se při obrábění do polotovaru okopíruje. Zakřivení evolvent ohraničujících zubovou mezeru závisí na průměru základní kružnice, tedy na modulu (m), počtu zubů kola (z) a úhlu záběru (α). Z toho vyplývá, že při požadavku přesné práce musí být pro každé ozubené kolo s určitým m , z a α vyroben zvláštní nástroj, jehož ostří jsou zakřivena podle evolvent zubů kola.

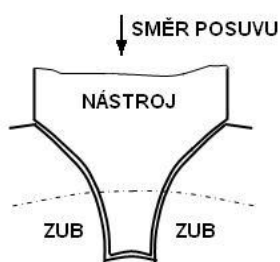
2.1.2 Frézování

Při výrobě ozubených kol dělicím frézováním se užívá čepové – **obr. 2.1 a 2.2** nebo kotoučové frézy – **obr. 2.3 (a)**. Tyto frézy se nazývají modulové, protože jsou vyráběny

k určitému modulu ozubení. Na obrázku je naznačena kotoučová fréza. Obrys jejich zubů (nakresleny jsou pouze tři) odpovídá zubové mezeře.

Na **obr. 2.3 (b)** je naznačen postup frézování například na vodorovné konzolové frézce. Polotovár budoucího ozubeného kola je nasazen na trn a s ním upnut do tak zvaného dělicího přístroje. Toto zařízení umožňuje přesné pootáčení upnutého obrobku.

Na začátku práce je fréza přísuvem ustavena vedle polotovaru na úroveň patní kružnice vyráběného kola. Spustí se hlavní otáčivý pohyb frézy a posuv polotovaru. Až fréza projede celou šířku obrobku, zastaví se jeho posuv, stůl s obrobkem se vrátí do původní polohy, pomocí dělicího přístroje se pootočí obrobek o jednu rozteč a celý děj se opakuje. Tak se postupně vyrobí všechny zubové mezery. Schéma frézování jedné zubové mezery ukazuje **obr. 2.4**.

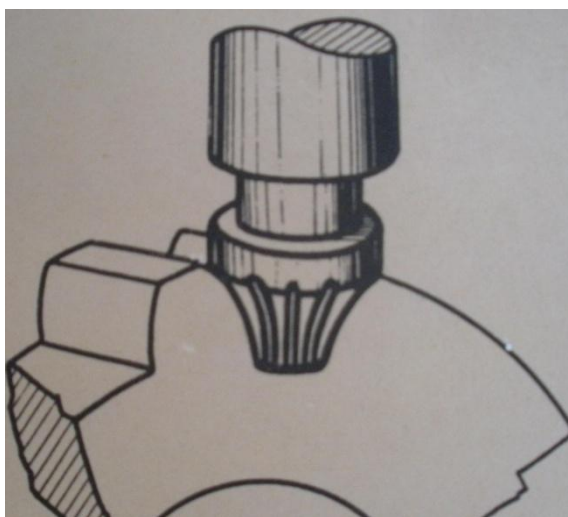


a)

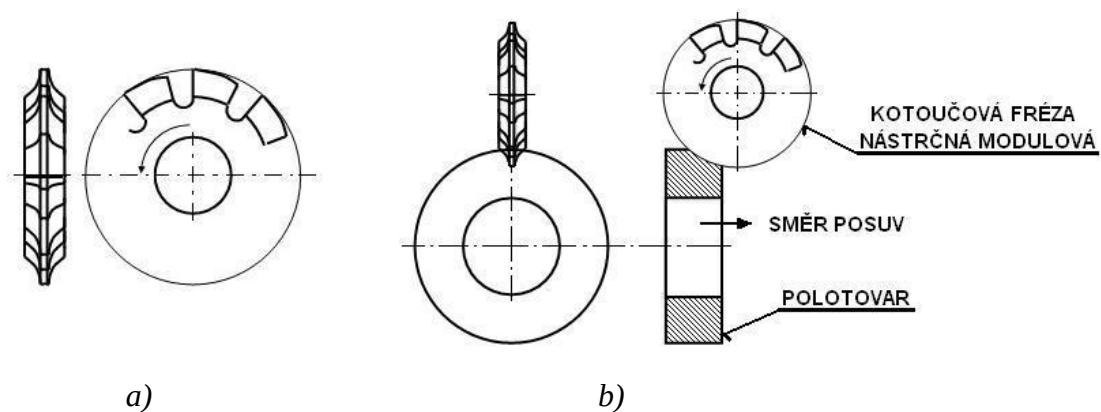


b)

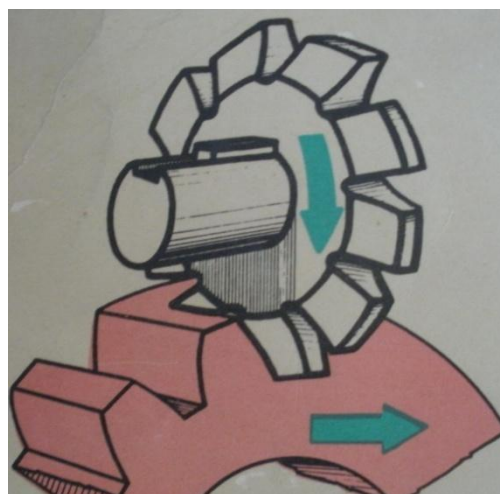
Obr. 2.1 - Stopková modulová fréza (a – schéma, b – fotografie)



Obr. 2.2 Schéma práce modulové frézy



Obr. 2.3 Kotoučová fréza nástrčná modulová (a) a postup frézování jedné zubové mezery (b)



Obr. 2.4 Schéma frézování jedné zubové mezery

2.1.3 Soustružení na CNC soustruhu s řízenou osou C a pohaněnými nástroji

Na CNC soustruzích s řízenou osou C a pohaněnými nástroji lze frézovat různé plochy (čtyřhran, šestihran atd.). K této realizaci se musí C-osa a nástrojové saně vzhledem k sobě pohybovat v určitém poměru (= frézování odvalem).

Pomocí softwarového příslušenství "TMCON" se mohou takové plochy jednoduše programovat. Popis s příklady programu viz **kapitola 4**.

Navolení a polohování C-osy lze provést pouze za klidu vřetena!

2.1.4 Aktivace C-osy

SPOS[1]=0 Aktivace C-osy a polohování vřetena na 0°.

SETMS(2) Vřeteno 2 jako hlavní vřeteno.

SETMS(1) Vřeteno 1 jako hlavní vřeteno.

Příklad:

%C_osa.MPF

N1 G54

N2 TRANS Z89

N3 T7 D1

N4 SPOS[1]=0

N5 SETMS(2)

N6 G95 S1000 M3 F0.1

N7 G0 X37 Z-10

N8 G1 X32

N9 G1 Z-20

N10 G0 X37

N11 G0 C90

N12 G0 Z-10

N13 G1 X32

N14 G1 Z-20

N15 G0 X60

N16 G0 Z100

N17 SETMS(1)

N18 M30

Posunutí nulového bodu stroje

Posunutí nulového bodu obrobku

Navolení poháněného nástroje

Aktivace C-osy a polohování na 0°

Vřeteno 2 jako hlavní vřeteno

Otáčky a posuv pro poháněný nástroj

Souřadnice obrábění

C-osa polohovat o 90°

Vřeteno 1 jako hlavní vřeteno



Shrnutí pojmů

V této kapitole jste se dozvěděli, jaké jsou **základní metody obrábění ozubených kol**. Patří sem **soustružení na CNC soustruhu s řízenou C osou a poháněnými nástroji a frézování dělicím způsobem**.

U jednotlivých metod jste se dozvěděli, jakými **nástroji** se obrábí a jak se aktivuje C-osa a přepíná hlavní vřeteno pro poháněné nástroje.



Kontrolní otázky

1. Jaké znáte metody obrábění ozubených kol?
2. Vysvětlíte pojem „C osa“.



Úlohy k řešení

1. Napište bloky (věty) pro aktivaci C osy.
2. Nakreslete schéma frézování jedné zubové mezery stopkovou modulovou frézou.

3 OBRÁBĚCÍ STROJE NA OZUBENÍ



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Rozdělit základní typy obráběcích strojů pro výrobu tvarových ploch.
- Definovat pojmy z oblasti konstrukce a použití CNC obráběcích strojů.



Výklad

Obráběcí stroje na výrobu ozubení představují významnou skupinu v celkovém spektru obráběcích strojů, což je dáno významem ozubených převodů jako nezastupitelného konstrukčního prvku ve všech oblastech strojírenství.

Rozdělení CNC obráběcích strojů na ozubení ukazuje **obr. 3.1**.



Obr. 3.1 Rozdělení CNC obráběcích strojů na ozubení

3.1 Obráběcí stroje pracující tvarovými nástroji

Lze použít běžné univerzální stroje – frézky, obrážecí (méně přesná výroba), nebo brusky (přesnější výroba) opatřena dělicím zařízením k pootáčení obráběného ozubeného kola o jednu zubovou rozteč.

Tvar a rozměry zubů jsou závislé na modulu i počtu zubů, proto teoreticky musí mít každé ozubené kolo zvláštní nástroj. Prakticky se pro jednu hodnotu modulu a určitý rozsah

počtu zubů volí stejný nástroj. Přesnost vyrobeného kola závisí na přesnosti tvaru nástroje a přesnosti dělení.

K obrábění velkých ozubených kol jsou určeny speciální stroje pracující čepovou frézou s profilem shodným s tvarem zubové mezery. Na strojích lze vyrobit ozubená kola s přímými, šikmými či šípovými zuby.

3.2 Číslicově řízené obráběcí stroje na výrobu ozubení

Konvenční obráběcí stroje na ozubení s mechanickou vazbou pohybů jsou vesměs kinematicky velmi náročné a vyžadují časté a složité seřizování. Dnes již do řízení obráběcích strojů na ozubení zasahuje v převážné míře číslicové řízení.

Zavedení NC obráběcích strojů do výroby ozubených kol má především tyto výhody:

1. Větší pružnost při změně sortimentu výroby.
2. Hospodárnější výrobu při malých sériích.
3. Vysoká trvalá a opakovaná přesnost práce stroje.
4. Nižší nároky na ruční obsluhu stroje.

NC technika ve své původní podobě, jak byla vyvinuta pro řízení např. soustružnických strojů, nebyla schopna plnit požadavky na přesnost kinematické vazby pohybů mezi nástrojem a obrobkem, tzn. přesně řídit jejich valivé a diferenciální pohyby. Běžné řídicí systémy regulují všechny posuvové rychlosti v $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Výjimku tvoří pouze NC programy pro řezání závitů, u kterých pouze posuv v jedné ose je vázán na otáčky obrobku.

Z nutné kinematické vazby pohybů mezi nástrojem a obrobkem u obráběcích strojů na ozubení vyplývají tyto požadavky na vazby posuvů:

1. U odvalovacích frézovacích strojů musí být posuv vázán na jedno otočení stolu.
2. U odvalovacích obrážecích strojů musí být posuv vázán na jeden dvojjzdvih nástroje.

Přední světoví výrobci obráběcích strojů na ozubení dodávají stroje s řízením jedné až šesti os a to:

1. Jednoosé řízení – řízení radiálního přísmu, které zaručuje nastavení s přesností 0,001 mm, přesnou opakovatelnost a možnost korekce při opotřebením nástroje.
2. Tříosé řízení lineárních os – radiální, axiální a tangenciální.
3. Plné CNC řízení včetně odvalovací vazby pro frézovací stroje – 6 řízených os.

3.2.1 NC otočný stůl

NC otočný stůl může být řízen jako čtvrtá osa. Ve spojení s otočnou frézovací hlavou může být obrobek na jedno upnutí opracován z pěti stran. Při otáčení stolu je možné frézovat šroubové nebo jiné drážky na válcové ploše. Náklon stolu může být pro opracování šikmé plochy nastaven ručně nebo pomocí NC řídicího systému.



Shrnutí pojmů

V této kapitole jste se dověděli, z jakých hledisek se rozdělují obráběcí stroje na výrobu ozubení. Byly probrány konvenční obráběcí stroje na ozubení i číslicově řízené obráběcí stroje.



Kontrolní otázky

1. Z jakých hledisek se rozdělují obráběcí stroje na ozubení?
2. Jaké výhody vznikly zavedením číslicově řízených obráběcích strojů do výroby?

4 OBRÁBĚNÍ TVAROVÝCH PLOCH NA CNC SOUSTRUŽÍCH



Čas ke studiu: 6 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- ✚ Popsat CNC soustruh EMCoturn 120 s řídicím systémem EMCOTRONIC TM02 a soustruh EMCO PC TURN 155A.
- ✚ Definovat pojmy z oblasti programování CNC systému EMCOTRONIC (tm) 02 a SINUMERIK 840D.
- ✚ Sestavit řídicí program pro soustružení.



Výklad

Na CNC soustruzích s řízenou osou C a pohaněnými nástroji lze frézovat libovolné kontury na čelní ploše obrobku, dále se používají pro frézování kontury na povrchu pláště, je možno zhotovit různé drážky, čtyřhrany, šestihrany, ozubení atd.

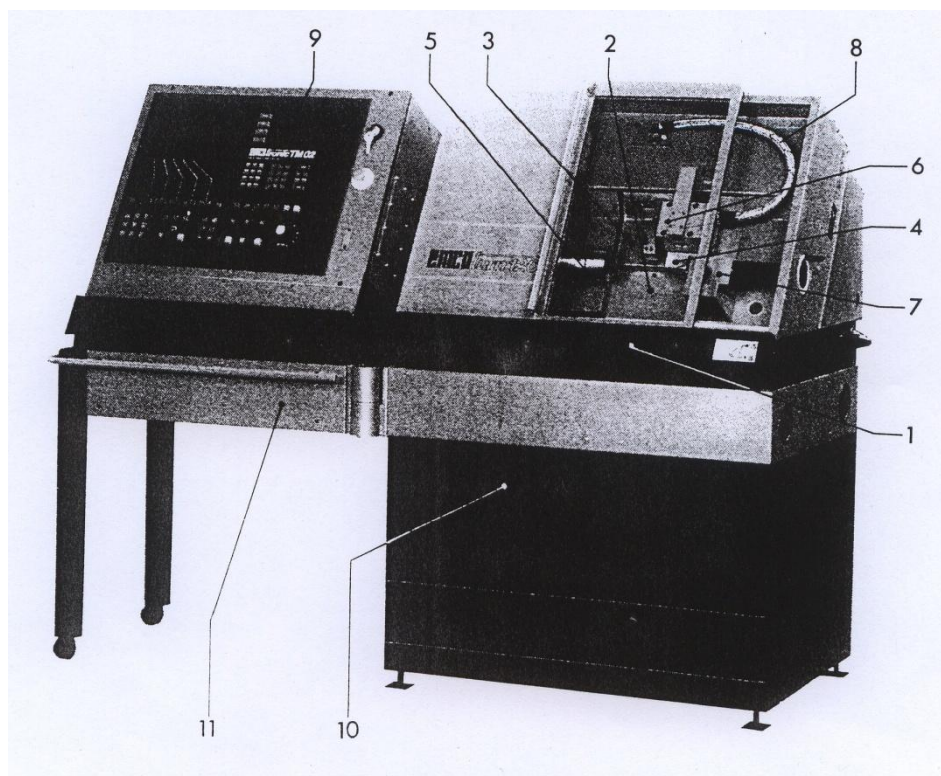
4.1 Základní pojmy CNC soustruhu EMCoturn 120

CNC soustruh (**obr. 4.1**) je určen pro výrobu součástí přírubového a hřídelového typu do $\phi 90$ mm a délky 160 mm. Stroj má souvislé řízení dráhy nástroje ve dvou souřadných osách se stálou polohovou zpětnou vazbou a synchronizaci posuvových pohonů. Řízení dráhy nástroje se uskutečňuje prostřednictvím krokového motoru a posuvového kuličkového šroubu s předeprnutou maticí, což zaručuje vysokou přesnost výroby. Soustruh je vybaven CNC řídicím systémem EMCOTRONIC TM02.

4.1.1 CNC soustruh EMCO PC TURN 155A

Tento soustruh je součástí výukového konceptu EMCO na bázi PC a softwaru EMCO WinNC. Je novou řadou výukových soustruhů a je již vybaven třetí řízenou C-osou a pohaněnými nástroji, umožňující např. mimoosé vrtání, frézování na čele i obvodu součástí.

Je vybaven 12-tipolohovou nástrojovou hlavou, kde 6 sudých poloh se osazuje pevnými nástroji a 6 lichých poloh umožňuje vykonávat rotaci.



Obr. 4.1 CNC soustruh EMCOTurn 120 s řídicím systémem EMCOTRONIC TM02

- | | |
|----|--------------------------------------|
| 1 | Podstavec s vanou na třísky |
| 2 | Krytování pracovního prostoru stroje |
| 3 | Podélné saně |
| 4 | Příčné saně |
| 5 | Vřeteno |
| 6 | Osmipolohová nástrojová hlava |
| 7 | Koník |
| 8 | Rozvod procesní kapaliny |
| 9 | Řídicí systém |
| 10 | Stojan stroje |
| 11 | Stojan řídicího systému |

4.2 Hlavní technické parametry soustruhu

Pracovní rozsah:	oběžný průměr nad ložem	180 mm
	oběžný průměr nad příčným suportem	75 mm
	největší soustružená délka	160 mm
	největší průměr obrobku	90 mm
Vřeteno:	vrtání vřetena	20,7 mm
	rozsah otáček	150 – 4000 1.min ⁻¹
Hlavní pohon:	výkon stejnosměrného motoru	4 kW
	maximální krouticí moment	23 Nm
Posunové pohony:	posuv v osách X a Z	1 – 2000 mm.min ⁻¹
	rychloposuv	3 m.min ⁻¹
	posunová síla	2 kN
Nástrojová hlava:	počet poloh nástrojů	8

4.3 Skupiny a jednotlivé příkazy G – funkcí

PŘÍKAZ	VÝZNAM
G0	Rychloposuv
G1	Pracovní posuv po přímce (lineární interpolace)
G2	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G3	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G4	Prodleva
G9	Přesné najetí – působí v jedné větě
G17	Výběr pracovní roviny XY
G18	Výběr pracovní roviny XZ
G19	Výběr pracovní roviny YZ
G25	Ohraničení minimálního pracovního pole, ohraničení počtu otáček
G26	Ohraničení minimálního pracovního pole, ohraničení počtu otáček
G33	Řezání závitu s konstantním stoupáním
G331	Vrtání závitu
G332	Zpětný pohyb při vrtání závitu
G40	Vypnout kompenzaci poloměru nástroje
G41	Zapnout kompenzaci poloměru nástroje vlevo
G42	Zapnout kompenzaci poloměru nástroje vpravo
G53	Zrušení nastavitelného posunutí nulového bodu
G54 – G57	Nastavitelné posunutí nulového bodu
G500	Zrušení nastavitelného posunutí nulového bodu
G505 – G599	Nastavitelná posunutí nulového bodu
G60	Zpomalení rychlosti, přesné najetí
G601	Jemné přesné najetí
G602	Hrubé přesné najetí
G603	Znovu zapnout, je-li dosaženo požadované hodnoty
G63	Řezání závitu bez synchronizace
G64	Režim řízení dráhy
G641	Režim řízení dráhy s programovaným přejezdem
G70	Programování v palcích
G71	Programování v mm
G90	Absolutní programování
G91	Přírůstkové programování
G94	Posuv v $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ nebo $\text{Inch} \cdot \text{min}^{-1}$
G95	Posuv v $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ nebo $\text{Inch} \cdot \text{ot}^{-1}$
G96	Konstantní řezná rychlost
G97	Zrušení konstantní řezné rychlosti, přímé programování otáček
G110	Programování v polárních souřadnicích, vztažených k naposled najeté poloze
G111	Programování v polárních souřadnicích, vztažených k aktuálnímu nulovému bodu souřadného systému
G112	Programování v polárních souřadnicích, vztažených k poslednímu platnému pólu
G140	Měkké najetí a odjetí
G141	Najetí popř. odjetí zleva

G142	Najetí popř. odjetí zprava
G143	Směr najetí příp. odjetí v závislosti na relativní poloze od počátečního popř. koncového bodu ke směru tangenty
G147	Najetí po přímce
G148	Odjetí po přímce
G247	Najetí po čtvrtkružnici
G248	Odjetí po čtvrtkružnici
G340	Prostorové odjetí a najetí (základní nastavení)
G341	Najetí a odjetí v rovině
G347	Najetí po půlkružnici
G348	Odjetí po půlkružnici
G450	Najetí na konturu a odjetí
G451	Najetí na konturu a odjetí

4.4 Skupiny a jednotlivé příkazy M – funkcí

PŘÍKAZ	VÝZNAM
M0	Programový stop
M1	Volitelný stop (stop programu jen při OPT.STOP)
M2	Konec programu
M=3	Pohyb nástroje ZAP ve směru hod. ručiček
M=4	Pohyb nástroje ZAP proti směru hod. ručiček
M=5	Pohyb nástroje VYP
M3	Vřeteno ZAP ve směru hod.ručiček
M4	Vřeteno ZAP proti směru hod.ručiček
M5	Vřeteno VYP
M8	Chlazení ZAP
M9	Chlazení VYP
M10	Brzda vřetene ZAP
M11	Brzda vřetene VYP
M17	Konec podprogramu
M20	Pinola zpět
M21	Pinola vpřed
M23	Sběrač obrobků zpět
M24	Sběrač obrobků vpřed
M25	Upínací zařízení otevřít
M26	Upínací zařízení zavřít
M30	Konec hlavního programu
M32	Konec programu pro režim nakládání
M57	Kývání vřetene ZAP
M58	Kývání vřetene VYP
M67	Tyčový podavač/posuv ZAP
M68	Tyčový podavač/posuv VYP
M69	Výměna tyče
M71	Ofukování ZAP
M72	Ofukování VYP

4.5 Vrtací cykly

PŘÍKAZ	VÝZNAM
Cycle 81	Vrtání, navrtávání
Cycle 82	Vrtání, čelní zahloubení
Cycle 83	Hluboké vrtání
Cycle 83E	Hluboké vrtání (zkrácený cyklus)
Cycle 84	Řezání závitu bez délkové kompenzace
Cycle 84E	Řezání závitu bez délkové kompenzace (zkrácený cyklus)
Cycle 840	Řezání závitu s délkovou kompenzací
Cycle 85	Vyvrtávání 1
Cycle 86	Vyvrtávání 2
Cycle 87	Vyvrtávání 3
Cycle 88	Vyvrtávání 4
Cycle 89	Vyvrtávání 5

4.6 Soustružnické cykly

PŘÍKAZ	VÝZNAM
Cycle 93	Zapichovací cyklus
Cycle 94	Cyklus odlehčovacího zápichu
Cycle 95	Hrubovací cyklus
Cycle 96	Cyklus zápichu za závitem
Cycle 97	Cyklus řezání závitu
Cycle 98	Cyklus řetězení závitu

4.7 Zkratky příkazů používaných pro řízení C – osy

PŘÍKAZ	VÝZNAM
D	Číslo ostří nástroje
DIAMOF	Programování v poloměrech
DIAMON	Průměrové programování
F	Posuv
LIMS	Omezení počtu otáček
MCALL	Modální vyvolání podprogramu
MSG	Zobrazit text na obrazovce
MIRROR	Zapnout zrcadlení
N	Číslo věty (bloku)
RND	Vložení zaoblení
S	Adresa vřetena
SAVE	Uložení registru při vyvolání podprogramu
SETMS	Nastavení hlavního vřetena
SPCOF	Vypnutí polohování vřetena
SPCON	Zapnutí polohování vřetena
SPOS	Polohování vřetena s řízenou polohou
TRANS	Posunutí ZAP
T	Adresa nástroje

TRAFOOF	Transformace VYP
TRACYL	Transformace křivek na plášti válce
TRANSMIT	Transformace roviny XY
WAITP	Čekání na pojezd osy
WAITS	Čekání na dosažení polohy vřetene

4.8 Příkaz TRANSMIT

Pomocí příkazu TRANSMIT (**TRANS**form - **Milling Into Turning**) je možno frézovat libovolné kontury na čelní ploše obrobku.

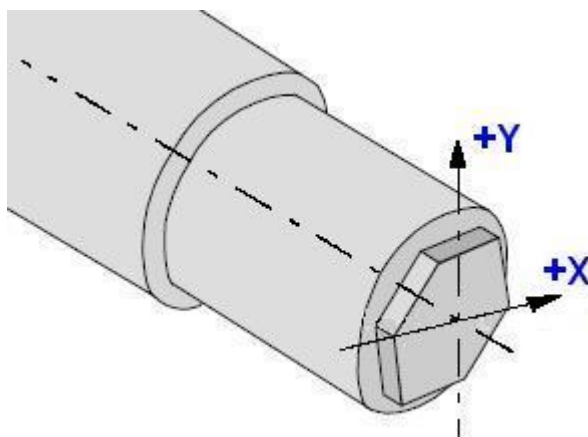
Navolení:

všeobecně TRANSMIT

Zrušení:

všeobecně TRAFOOF

TMCON a TMCOFF jsou uloženy v uživatelských cyklech a je možno je volně editovat (viz **kap. 4.8.2 a 4.8.3**).



Obr. 4.2 Šestihran čelní ploše obrobku

4.8.1 Příklad použití příkazu TRANSMIT pro obrábění šestihranu 6HR30

Vypočtené souřadnice přechodových bodů pro opracování šestihranu 6HR30 jsou uvedeny v **tab. 4.1** a transformované souřadnice ukazuje **obr. 4.2**.

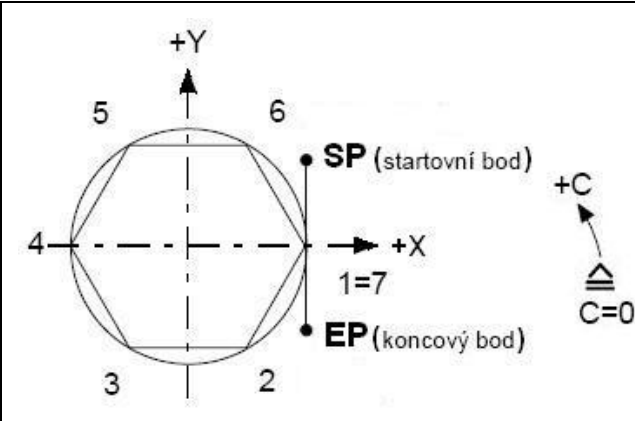
```
%_N_6HR30_MPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_SESTIHRAN_WPD
G54
TRANS Z100
TMCON
T3 D1 (axiální stopková fréza průměr 5mm, typ nástroje 100; L1=Z, L3=X)
G94 S1000 M3 F120
G0 X45 Y10
X17.32 Y10 G41
Z-6
G1 Y0
```

X8.66 Y-15
 X-8.66
 X-17.32 Y0
 X-8.66 Y15
 X8.66
 X17.32 Y0
 Y-10
 G40
 Z100 M5
 TMCOFF (zrušení transformace)
 M30

Upozornění:

Z důvodu programování roviny obrábění G17 musí být při odměřování nástroje programována pro L1 hodnota Z a pro L3 hodnota X v paměti nástrojových dat.

Tab. 4.1 Souřadnice jednotlivých přechodových bodů šestihranu

	BOD	Osa X	Osa Y
	SP	17.32	10
	1	17.32	0
	2	8.66	-15
	3	-8.66	-15
	4	-17.32	0
	5	-8.66	15
	6	8.66	15
	7	17.32	0
	EP	17.32	-10

4.8.2 Cyklus TMCON

N110 DEF FRAME AK,AKK
 N120 AK=\$P_PFRAME
 N130 AK=\$P_IFRAME
 N140 G18
 N150 TRAFOOF
 N160 DIAMON
 N170 \$P_PFRAME= AK
 N180 \$P_IFRAME=AKK
 N190 RET

4.8.3 Cyklus TMCOFF

N110 DEF INT SPNR
 N120 DEF FRAME AK,AKK
 N130 AK=\$P_PFRAME
 N140 AKK=\$P_IFRAME
 N150 SPNR'2


```

N160 M5
N170 SPOS[1]=0
N180 G0 C=0
N190 G17
N200 TRANSMIT(1)
N210 DIAMOF
N220 SETMS(SPNR)
N230 $P_PFRAME=AK
N240 $P_IFRAME=AKK
N260 RET

```

4.8.4 Výpočtový podprogram pro opracování libovolného šestihranu

```

%_N_HEXAGON_SPF
;SPATH=/_N_WKS_DIR/_N_SESTIHRAN_SW26_WPD
PROC HEXAGON (REAL SW,REAL RAD)
R1=SW/2
R2=COS(30)
R3=TAN(30)
R4=R1/R2
R5=R1*R3
G0 X=R4+RAD+2 Y0
G1 G42 X=R4 Y0 F0.2
X=R5 Y=R1
X=-R5 Y=R1
X=-R4 Y0
X=-R5 Y=-R1
X=R5 Y=-R1
X=R4 Y=0
Y3
G0 G40 X=R4+RAD+2 Y0
M17

```

4.8.5 Příklad programu pro šestihran 6HR26

```

%_N_PROGRAM_S_TMCON_POL_MPF
;SPATH=/_N_WKS_DIR/_N_SESTIHRAN_SW26_WPD
G54
TRANS Z77
G0 D0 Z150 X150
N2 T2 D1 ;CELO A POVRCH PRUM 30.022 PRO SW26
LIMS=3000

```

G96 S150 M4
 G0 X33 Z0 M8
 G1 X-1 F0.1
 Z1
 G0 X30.022
 G1 Z-30
 X32 Z-31
 G0 D0 Z150 X150
 N5 T5 D1 ;AXIAL.STOPKOVA FREZA PRUM.10
 G111 X0 Z0 ;VOLBA POLU ABSOLUTNE V G54
 TMCON ;VOLBA ROVINY G17 PRO TRANSMIT
 G95 S950 M4 F0.1 ;SMER OTACEK NASTROJE ZAVISI NA DRZAKU
 G0 Z-3
 G42 AP=20 RP=20 ;AP=POLARNI UHEL, RP=POLARNI POLOMER
 G1 AP=0 RP=15.011 ;NAJETI NA BOD 1
 AP=IC(-60) ;PLOCHA 1
 AP=IC(-60) ;PLOCHA 2
 AP=IC(-60) ;PLOCHA 3
 AP=IC(-60) ;PLOCHA 4
 AP=IC(-60) ;PLOCHA 5
 AP=IC(-60) ;PLOCHA 6
 G40 G0 AP=0 RP=30
 G0 Z5 M5
 TMCOFF ;PREPNUTI NA ROVINU G18
 SETMS(1) ;REPNUITI HLAVNIHO VRETENA JAKO MASTER
 G0 D0 Z150 X50
 M30

 %_N_PROGRAM_S_TRANSMIT_MPF
 ;\$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_SESTIHRAN_SW26_WPD
 G54
 TRANS Z100.2
 G0 D0 Z150 X150
 N2 T2 D1 ;CELO A POVRCH PRUM 30.022 PRO SW26
 LIMS=3000
 G96 S150 M4
 G0 X33 Z0 M8
 G1 X-1 F0.1
 Z1
 G0 X30.022
 G1 Z-30
 X32 Z-31
 G0 D0 Z150 X150

```

N5 T5 D1                ;AXIAL.STOPKOVA FREZA PRUM 10
SPOS[1]=0
G0 C0                    ;VOLBA C OSY POLOHA=0
G17
TRANSMIT(1)
DIAMOF
SETMS(2)
G54
TRANS Z100.5
G95 S2000 M4 F0.03      ;SMER OTACEK NASTROJE ZAVISI NA DRZAKU
G0 X20 Y20 Z-3          ;STARTOVNI BOD
G42 G1 X15.011 Y0        ;1.BOD
X7.505 Y13              ;2.BOD
X-7.505                 ;3.BOD
X-15.011 Y0             ;4.BOD
X-7.505 Y-13            ;5.BOD
X7.505                  ;6.BOD
X15.011 Y0              ;1.A7.BOD
Y20
G40
TRAFOOF
G54
TANS Z100.5
SETMS(1)                ;REPNU TI HLAVNIHO VRETENA JAKO MASTER
M5 M9
G0 D0 Z150 X50
M30
%_N_PROGR_S_TMCON_KARTEZ_MPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_SESTIHRAN_SW26_WPD
G54
TRANS Z100.5
G0 D0 Z150 X150
N2 T2 D1                ;CELO A POVRCH PRUM 30.022 PRO SW26
LIMS=3000
G96 S150 M4
G0 X33 Z0 M8
G1 X-1 F0.1
Z1
G0 X30.022
G1 Z-30
X32 Z-31
G0 D0 Z150 X150
N5 T5 D1                ;AXIAL.STOPKOVA FREZA PRUM 10

```

```

TMCON                ;VOLBA ROVINY G17 PRO TRANSMIT
G95 S2000 M4 F0.03   ;SMER OTACEK NASTROJE ZAVISI NA DRZAKU
G0 X20 Y20 Z-3       ;STARTOVNI BOD
G42 G1 X15.011 Y0    ;1.BOD
X7.505 Y13           ;2.BOD
X-7.505              ;3.BOD
X-15.011 Y0          ;4.BOD
X-7.505 Y-13         ;5.BOD
X7.505               ;6.BOD
X15.011 Y0           ;1.A7.BOD
Y20
G40
G0 Z100
M5 M9
TMCOFF
SETMS(1)             ;REPNU TI HLAVNIHO VRETENA JAKO MASTER
G0 D0 Z150 X50
M30
%_N_PROGR_S_TMCON_PARAM_MPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_SESTIHRAN_SW26_WPD
G54
TRANS Z100.2
G0 D0 Z150 X150
N2 T2 D1             ;CELO A POVRCH PRUM 30.022 PRO SW26
LIMS=3000
G96 S150 M4
G0 X33 Z0 M8
G1 X-1 F0.1
Z1
G0 X30.022
G1 Z-30
X32 Z-31
G0 D0 Z150 X150
N5 T5 D1             ;AXIAL.STOPKOVA FREZA PRUM 10
TMCON                ;VOLBA ROVINY G17 PRO TRANSMIT
G95 S2000 M3 F0.03   ;SMER OTACEK NASTROJE ZAVISI NA DRZAKU
G0 Z-3
HEXAGON(26,5)        ;VYVOLANI PODPROGRAMU
G0 Z50 X50
M5 M9
TMCOFF
SETMS(1)             ;REPNU TI HLAVNIHO VRETENA JAKO MASTER
G0 D0 Z150 X50

```

4.9 Příkaz TRACYL

Používá se pro frézování kontury na povrchu pláště. Průběh drážek se vztahuje na rovinu rozvinutého pláště válce.

Pomocí TRACYL je možno zhotovit následující drážky:

- ◆ drážky pro pero na válcových tělesech
- ◆ příčné drážky na válcových tělesech
- ◆ drážky v různém směru na válcových tělesech

Navolení:

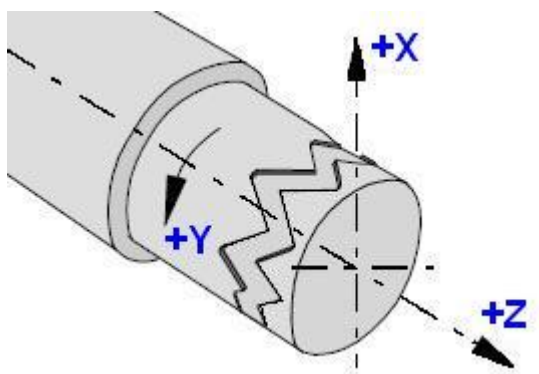
všeobecně TRACYL(průměr obrobku)

Zrušení:

všeobecně TRAFOOF

Upozornění:

Aktuální transformací nebo zrušením transformace se zruší nulové posunutí a (např. TRANSMIT) a musí se proto znova naprogramovat.



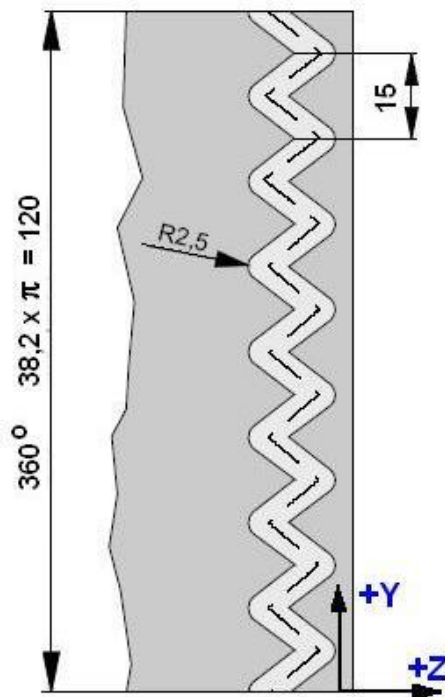
Obr. 4.3 Drážky na povrchu pláště

4.9.1 Příklad použití příkazu TRACYL pro obrábění drážky

Následující řídicí program je pro obrobení drážky na povrchu pláště (**obr. 4.3 a obr. 4.4**).

```
%_N_DRAZKY_MPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_DRAZKY_NA_POVRCHU_WPD
G54
TRANS Z150
T7 D1 (axiální stopková fréza průměr 5mm, typ nástroje 100)
G19
SETMS (2) (poháněný nástroj)
G95 S1000 M3
```

G0 X45 Z0
 SPOS [1]=0 (hlavní vřeteno na 0)
 TRACYL (38.2) (zadání průměru obrobku)
 G54
 TRANS Z150
 G1 X35 Y0 Z0 F0.3
 G1 Z-10 Y7.5
 Z0 Y15
 Z-10 Y22.5
 Z0 Y30
 Z-10 Y37.5
 Z0 Y45
 Z-10 Y52.5
 Z0 Y60
 Z-10 Y67.5
 Z0 Y75
 Z-10 Y82.5
 Z0 Y90
 Z-10 Y97.5
 Z0 Y105
 Z-10 Y112.5
 Z0 Y120
 X45
 TRAFOOF (zrušení transformace)
 G54
 TRANS Z150
 G0 X100 Z0
 M30



Obr. 4.4 Průběh drážek na rovině rozvinutého pláště válce.

4.10 NC program na opracování kola s drážkami na obvodu

Následující NC program slouží k obrobení kola s drážkami na obvodu (**obr. 4.5**).

```
%_N_DRAZKY_MPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_DRAZKOVE_KOLO_WPD
N1 G54
N2 TRANS Z89
N3 T2 D1 G96 S150 M4 F0.2
N4 MSG("LEVY STRANOVY")
N5 G0 X40 Z0
N6 G1 X-1
N7 Z1
N8 G0 X40
N9 CYCLE95("pov",1.5,0,0,0.1,0.2,0.1,0.1,9,0,0,0)
N10 G0 X60 Z120 M5
N11 T8 D1 G97 S600 M3
N12 MSG("SROUBOVY VRTAK PR 20MM")
N13 G0 X0 Z5
N14 CYCLE83E(-24,-12,5,0,0,1,1)
N15 G0 X120 Z60 M5
N16 T10 D1 G96 S75 M4 F0.08
N17 MSG("VNITRNI LEVY")
N18 G0 X28 Z2
N19 CYCLE95("otvor",1,0,0,0.1,0.1,0.001,0.1,11,0,0,0)
N20 G0 X120 Z60 M5
N21 T7 D1
N22 MSG("MODULOVA STOPKOVA FREZA")
N23 SPOS[1]=0
N24 SETMS(2)
N25 G97 S1000 M3
N26 G0 X28 Z10
N27 G1 Z-15
N28 G0 X35
N29 Z10
N30 C45
N31 G0 X28
N32 G1 Z-15
N33 G0 X35
N34 Z10
N35 C90
N36 G0 X28
N37 G1 Z-15
N38 G0 X35
N39 Z10
N40 C135
N41 G0 X28
N42 G1 Z-15
N43 G0 X35
N44 Z10
```

N45 C180
 N46 G0 X28
 N47 G1 Z-15
 N48 G0 X35
 N49 Z10
 N50 C225
 N51 G0 X28
 N52 G1 Z-15
 N53 G0 X35
 N54 Z10
 N55 C270
 N56 G0 X28
 N57 G1 Z-15
 N58 G0 X35
 N59 Z10
 N60 C315
 N61 G0 X28
 N62 G1 Z-15
 N63 G0 X35
 N64 Z120
 N65 G0 X60 M5
 N66 T4 D1 G96 S60 M4 F0.05
 N67 MSG("UPICHOVACI LEVY")
 N68 G0 X38 Z-18
 N69 G1 X16
 N70 G0 X60
 N71 Z120
 N72 M30

4.10.1 Podprogram pro povrch kola s drážkami

```

;#7__DlGK contour definition begin - Don't change!;*GP*;*RO*
G18 G90 DIAMON ;*GP*
G0 Z0 X25 ;*GP*
G1 Z-1 X33 ;*GP*
Z-6 ;*GP*
X33 CHR=1 ;*GP*
Z-30 ;*GP*
X37 ;*GP*
;CON,2,0.000,3,3,MST:1,2,AX:Z,X,K,I;*GP*;*RO*
;S,EX:0,EY:25;*GP*;*RO*
;LA,EX:-1,EY:27;*GP*;*RO*
;LL,EX:-6;*GP*;*RO*
;LU,EY:33;*GP*;*RO*
;F,LFASE:1;*GP*;*RO*
;LL,EX:-30;*GP*;*RO*
;LU,EY:37;*GP*;*RO*
;#End contour definition end - Don't change!;*GP*;*RO*
  
```

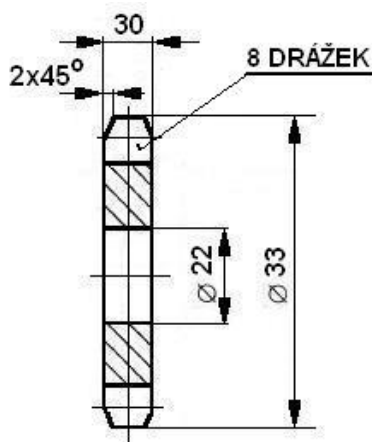

M17

4.10.2 Podprogram pro díru kola s drážkami

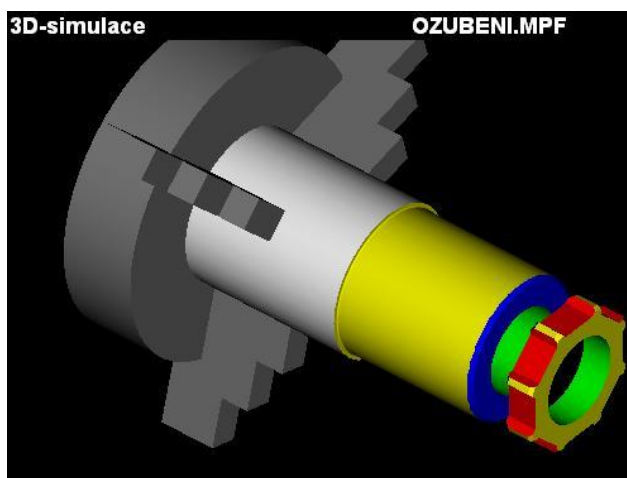
```
;/#7__DlGK contour definition begin - Don't change!;*GP*;*RO*  
G18 G90 DIAMON ;*GP*  
G0 Z0 X23 ;*GP*  
G1 Z-0.5 X22 ;*GP*  
Z-16 ;*GP*  
X20 ;*GP*  
;CON,2,0.000,3,3,MST:1,2,AX:Z,X,K,I;*GP*;*RO*  
;S,EX:0,EY:23;*GP*;*RO*  
;LA,EX:-0.5,EY:22;*GP*;*RO*  
;LL,EX:-16;*GP*;*RO*  
;LD,EY:20;*GP*;*RO*  
;/#End contour definition end - Don't change!;*GP*;*RO*  
M17
```

4.10.3 Grafická simulace

Výslednou grafickou simulaci ukazuje **obr. 4.6**.



Obr. 4.5 Kolo s drážkami na obvodu



Obr. 4.6 Grafická simulace



Shrnutí pojmů

V této kapitole jste se dozvěděli, že na CNC soustruzích s řízenou osou C a pohaněnými nástroji lze frézovat libovolné kontury na čelní ploše obrobku, dále se používají pro frézování kontury na povrchu pláště, je možno zhotovit různé drážky, čtyřhrany, šestihrany, ozubení atd. Rovněž jste se seznámili s G a M funkcemi, které se používají k řízení CNC soustruhů. Byly zde ukázány rovněž funkce k řízení a polohování C osy

a poháněných nástrojů. Byl zde ukázán výpočtový podprogram pro opracování libovolného šestihranu a funkce TRACYL, která se používá pro frézování kontury na povrchu pláště, dále příkaz TRANSMIT pomocí kterého je možno frézovat libovolné kontury na čelní ploše obrobku.



Kontrolní otázky

1. Jak je řešena automatická výměna nástrojů u CNC soustruhu EMCoturn 120?
2. K čemu se používá funkce G54?
3. Co vykoná funkce M30?
4. Co lze soustružit pomocí funkce TRANSMIT?
5. Co lze soustružit pomocí funkce TRACYL?
6. Popište souřadný systém a vztažné body v pracovním prostoru CNC soustruhu.



Úlohy k řešení

Napište technologický postup výroby ozubeného kola dle obr. **obr. 6.1** včetně zpracování NC řídicího programu pro CNC soustruh EMCO PC TURN 155A s řídicím systémem SINUMERIK 840D.

5 OBRÁBĚNÍ TVAROVÝCH PLOCH NA CNC FRÉZKÁCH



Čas ke studiu: 6 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- ✚ Popsat CNC frézku EMCO MILL PC 155 s řídicím systémem SINUMERIK 840D.
- ✚ Definovat pojmy z oblasti programování CNC systému SINUMERIK 840D.
- ✚ Sestavit řídicí program pro frézování.

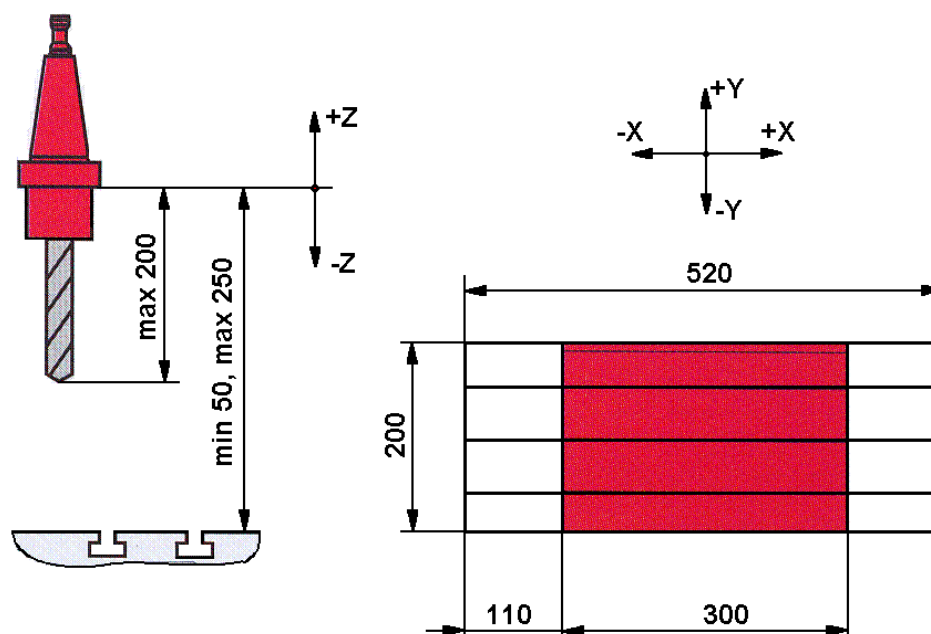


Výklad

Frézování je jedním z nejpoužívanějších způsobů obrábění rovinných ploch a také tvarových ploch. Zde se budeme zabývat frézováním ozubení ozubených kol.

5.1 Technická data CNC frézky PC MILL 155

Pracovní rozsah (posuv v osách X/Y/Z – obr. 5.1):	300/200/300 [mm]
Rychloposuv:	7,5 [m.min ⁻¹]
Rozměry upínacího stolu:	520 x 180 [mm]
Výkon hlavního elektromotoru:	4 [kW]
Otáčky vřetene:	150 – 10 000 [ot.min ⁻¹]
Počet poloh revolverové nástrojové hlavy:	10



Obr. 5.1 Pracovní prostor frézky

5.2 CNC řídicí systém SINUMERIK 810D/840D

Systém SINUMERIK 840D (**obr. 5.2**) na bázi průmyslového počítače s operačním systémem WINDOWS se vyznačuje vysokým stupněm otevřenosti hardware i software. Dokáže pokrýt komplexní úlohy z hlediska CNC řízení. Řídicí jednotka řeší CNC, PLC i komunikační úlohy. Dále systém zahrnuje některé ochranné funkce, např. hlídání klidové polohy, polohy a zrychlení souřadných os stroje, apod.

Firma Siemens věnuje velké úsilí vývoji software. Vyvinula uživatelské programy SHOPMILL a MANUALTURN pro CNC systémy SINUMERIK 810D/840D. Obslužný program MANUALTURN je určen pro soustruhy na rozhraní konvenčního i CNC řízení. a SHOPMILL pro univerzální obráběcí centra.

Na katedře obrábění a montáže je zakoupena CNC frézka EMCO PC MILL 155 s řídicím systémem SINUMERIK 840D (**obr. 5.3**).



Obr. 5.2 CNC systém SINUMERIK 840D



Obr. 5.3 CNC systém SINUMERIK 840D s frézku EMCO PC MILL 155

5.3 Skupiny a jednotlivé příkazy G – funkcí

G – funkce	Význam funkce
G0	Rychloposuv
G1	Lineární interpolace
G2	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G3	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček

CIP	Kruhová interpolace pomocí středového bodu
G4	Časová prodleva
G9	Přesné zastavení nemožné
G17	Výběr pracovní roviny XY
G18	Výběr pracovní roviny XZ
G19	Výběr pracovní roviny YZ
G25	Omezení minimální programovatelné pracovní oblasti / programovatelné omezení rychlosti včetně
G26	Omezení maximální programovatelné pracovní oblasti / programovatelné omezení rychlosti včetně
G33	Řezání závitů – konstantní stoupání
G331	Řezání závitů závitníkem
G332	Řezání závitů závitníkem / odtažení
G40	Zrušení korekce řezného poloměru
G41	Korekce řezného poloměru – levá
G42	Korekce řezného poloměru – pravá
G53	Zrušení posunu nastavitelné nuly
G54-G57	Posun nastavitelné nuly
G500	Zrušení posunu nuly
G505 - G599	Posun nastavitelné nuly
G60	Přesné zastavení modální
G601	Umožnit krok, je-li jemně dosaženo polohovacího okna
G602	Umožnit krok, je-li hrubě dosaženo polohovacího okna
G603	Umožnit krok, je-li dosaženo nastaveného bodu
G63	Řezání závitů závitníkem bez synchronizace
G64	Konturovací režim
G641	Konturovací režim s programovatelným přechodem zaoblení
G70	Programování v palcích
G71	Programování metrické
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální programování
G94	Posuv v $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $\text{palcích} \cdot \text{min}^{-1}$
G95	Posuv v $\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$, $\text{palcích} \cdot \text{ot}^{-1}$
G96	Konstantní řezná rychlost
G97	Přímé programování otáček
G110	Pól s odkazem na poslední dosaženou polohu
G111	Pól absolutní v souřadném systému obrobku
G112	Pól s odkazem na poslední platný pól
G140	Jemný nájezd a výjezd
G141	Nájezd zleva anebo výjezd zleva
G142	Nájezd zprava anebo výjezd zprava
G143	Směr nájezdu anebo výjezdu podle relativní polohy od startovacího nebo koncového bodu k tečnému směru
G147	Nájezd po přímce
G148	Výjezd po přímce
G247	Nájezd po čtvrtkruhu

G248	Výjezd po čtvrtkruhu
G340	Nájezd a výjezd v prostoru (hodnota startovací polohy)
G341	Nájezd a výjezd v rovině
G347	Nájezd po půlkruhu
G348	Výjezd po půlkruhu
G450	Nájezdová a výjezdová kontura
G451	Nájezdová a výjezdová kontura

5.4 Skupiny a jednotlivé příkazy M – funkcí

M – funkce	Význam funkce
M0	Programový stop
M1	Volitelný stop
M2	Konec programu
M3	Otáčky vřetene ve směru hodinových ručiček
M4	Otáčky vřetene proti směru hodinových ručiček
M5	Stop vřetene
M6	Výměna nástroje
M8	Chlazení zapnuto
M9	Chlazení vypnuto
M10	Zablokovat dělicí přístroj
M11	Odblokovat dělicí přístroj
M17	Konec podprogramu
M25	Upínka / svěrák rozevřít
M26	Upínka / svěrák utáhnout
M27	Natočit dělicí přístroj
M30	Konec hlavního programu
M71	Vyfukování zapnuto
M72	Vyfukování vypnuto

5.5 Jednotlivé příkazy cyklů

Cykly	Význam funkce
CYKLUS 71	Rovinné frézování
CYKLUS 81	Vrtání, středění
CYKLUS 82	Vrtání, zahloubení
CYKLUS 83	Vrtání hlubokých otvorů
CYKLUS 84	Tuhé řezání závitů
CYKLUS 840	Řezání závitů s kompenzačním sklíčidlem
CYKLUS 85	Vyvrtávání 1
CYKLUS 86	Vyvrtávání 2
CYKLUS 87	Vyvrtávání 3
CYKLUS 88	Vyvrtávání 4
CYKLUS 89	Vyvrtávání 5
CYKLUS 90	Řezání závitů
OTVORY 1	Řada otvorů
OTVORY 2	Otvory na kružnici

DLOUHÝ OTVOR	Prodloužené otvory uspořádané na kružnici
KAPSA 1	Frézování obdélníkové kapsy
KAPSA 2	Frézování kruhové kapsy
KAPSA 3	Frézování obdélníkových kapes
KAPSA 4	Frézování kruhových kapes
DŘÁŽKA 1	Drážky uspořádané na kružnici
DŘÁŽKA 2	Kruhová drážka

5.6 Příprava CNC systému SINUMERIK 840D pro programování

- ♦ Zapnout CNC systém.

- ♦ Stisknout tlačítko základního menu 
- ♦ Stisknout tlačítko **PROGRAM** na vodorovné liště (F3), zobrazí se adresář obrobků (.WPD)
- ♦ Stisknout tlačítko **NOVÝ** (NEW) na svislé liště (F1), zobrazí se řádek pro zapsání nového obrobku s příponou WPD, kde napíšeme např. **číslo výkresu a název součásti**.
- ♦ Stisknout tlačítko **OK** (F8 na svislé liště). Tím zavedeme do adresáře obrobků nový název.
- ♦ Stisknout tlačítko  (INPUT), zobrazí se přehled technologických programů (MPF) a podprogramů (SPF). Pro nový obrobek je adresář prázdný.
- ♦ Stisknout tlačítko **NOVÝ**, zobrazí se řádek pro zapsání názvu technologického programu (MPF).
- ♦ Stisknout tlačítko **OK**, zobrazí se editor (formulář) pro psaní technologického programu pro obrábění dané součásti.
- ♦ Dle výkresu sestavit NC program.
- ♦ Pokud NC program vyžaduje podprogram, postupujeme stejně od bodu 7), jenom musíme pod řádkem pro název programu (podprogramu) **přepnout příponu MPF na SPF!** Předtím musíme NC program (MPF) zavřít tlačítkem **CLOSE**.
- ♦ Výsledkem bude, že v adresáři obrobků (WPD) budou všechny NC technologické programy (MPF) pro obrábění i všechny podprogramy (SPF) pro danou součást.

5.7 Vytvoření nového NC programu

1. KROK: Vytvořit adresář obrobků s příponou **.WPD** (obr. 5.4)

XXXX . WPD

XXXX bývá název nebo číslo výkresu

2. KROK: Vytvořit adresář technologických programů pro obrábění s příponou **.MPF** (obr. 5.5).

Každý obrobek může mít více technologických programů (obrábění se provádí na několik upnutí).

3. KROK: Vytvořit adresář technologických podprogramů pro obrysy (kontury) s příponou **.SPF**, které jsou součástí některých cyklů obrábění (obr. 5.5).

Přehled obrobků				Kopírovat
Název	Typ	Datum	Uvolnění	
1	WPD	19.03.09	X	Vložit F3
13_5_08	WPD	26.11.08		Smazat F4
3_O	WPD	20.11.08		Pře-jmenov. F5
3_OBLOUKY	WPD	04.03.08		Změnit uvolnění F6
A	WPD	03.12.08		Navolit obrobek F7
A1	WPD	21.08.08		
CVICENI	WPD	27.11.08		
DRAZKA	WPD	28.02.08		
KLICKA	WPD	26.11.08		
KOKOZKA	WPD	02.09.08		
KONCOVKA	WPD	05.11.08		
OLOVNICE	WPD	20.02.08		
OSA_C	WPD	04.12.08		
OTVOR	WPD	19.11.08		
PESEC	WPD	19.03.09		
POJISTNY_CEP	WPD	25.09.08		
-----	----	-----		
Pro editaci programu stisknout klávesu INPUT				
Obrobky	F1 Programy součástí	F2 Pod-programy	F3 Standard. cvklv	F4 Uživatelské cvklv
			F5 Schránka	F6
			F7	F8

Obr. 5.4 Adresář obrobků

Přehled programů: 13 5 08					Kopírovat
Název	Typ	Délka	Datum	Uvolnění	
KON	SPF	722	26.11.08	X	Vložit
KON_2	SPF	539	15.05.08	X	Smazat
SACHY	MPF	513	29.10.08	X	Pře-jmenov.
SACH_2	MPF	251	15.05.08	X	Změnit uvolnění
Pro editaci programu stisknout klávesu INPUT					Navolit program
					Zpět
Obrobky	F1 Programy součástí	F2 Pod-programy	F3 Standard. cvklv	F4 Uživatelské cvklv	
			F5 Schránka	F6	
			F7	F8	

Obr. 5.5 Adresář technologických programů a podprogramů

5.8 Podmínky pro obrábění

Před startem programu musíme splnit následující podmínky:

1. Zapnout obráběcí stroj.
2. Zapnout silové obvody zeleným tlačítkem  .
3. Otevřít a zavřít dveře stroje.
4. Otočit nástrojovou hlavou tlačítkem .
5. Najet referenční bod ve všech osách, zmačknutím tlačítka .
6. Posunutí nulového bodu G54 - G57 (použité nulové posunutí musí být odměřené a zapsané v paměti posunutí CNC systému (pracovní oblast PARAMETR)).
7. Upnout a seřídít řezné nástroje.
 - ♦ použité nástroje musí být odměřené (seřízené) a délkové korekce zapsané v paměti nástrojů CNC systému (pracovní oblast PARAMETR)
 - ♦ nástroje musí být v odpovídajících pozicích (správná T adresa) v nástrojové revolverové hlavě
8. Odstranit volné předměty (upínací klíč, apod.) z pracovního prostoru stroje.
9. Zavřít dveře stroje před spuštěním programu.
10. Zrušit všechny ALARM hlášení.
11. V režimu EDIT navolit příslušný program.
12. Přepnout do pracovního režimu AUTOMATIC.
13. Zmačknout zelené tlačítko CYCLE START  .

5.9 Obecný technologický postup výroby ozubeného kola dělicím způsobem na frézce

Číslo operace	Pracoviště	Popis operace (práce)
10	5960	Řezat polotovár (nebo zajistit výkovek, odlitek)
20	6271	Žíhat
30	4132	Upnout Srovnat čela Soustružit pro upnutí na CNC soustruhu
40	4515	Seřídít CNC soustruh Soustružit dle programu (první strana) ♦ vrtat díru ♦ soustružit díru ♦ soustružit obvod ♦ soustružit čelo
40.1	4515	Seřídít CNC soustruh Soustružit dle programu (druhá strana) ♦ vrtat díru ♦ soustružit díru ♦ soustružit obvod ♦ soustružit čelo
50	9863	Kontrolovat (kruhovitost, rozměry)
60	5832	Frézovat ozubení
70	4920	Obrážet drážku v náboji
	5410	Protahovat drážku v náboji
80	9420	Odjehlit ozubení
90	9414	Označit číslem výkresu
100	6274	Cementovat
110	6277	Kalit na HRC Tryskat Kontrolovat tvrdost
120	9863	Kontrolovat

Číslo pracoviště:

- 5960 - Pily na kov (rámové, okružní)
- 6271 - Tepelné zpracování kovu – žíhání
- 4132 - Průměr soustružení nad ložem 500 – 630 mm, vzdálenost hrotů 1500 – 2500 mm
- 4515 - Poloautomaty jednovřetenové, číslicově řízené
- 5832 - Frézky na čelní kola
- 4920 - Obrážky svislé

- 5410 - Protahovačky vodorovné na vnitřní protahování
- 9420 - Práce zámečnické
- 9414 -.Práce rýsovačské – označování
- 6274 - Tepelné zpracování kovu – cementování
- 6277 - Tepelné zpracování kovu – tepelné zpracování po cementování (kalení)
- 5550 - Brusky vodorovné na díry, průchod v krytu do 200 mm
- 9863 - Kontrola rozměrů



Shrnutí pojmů

V této kapitole jste se dozvěděli technické parametry a technologické možnosti CNC frézky EMCO PC MILL 155 a řídicího systému SINUMERIK 840D. Byl zde probrán rámcový technologický postup výroby ozubených kol dělicím způsobem na frézce.

Rovněž jste se dozvěděli jak založit program obrobků (.WPD), sestavit hlavní technologický program pro obrábění (.MPF) a vytvořit geometrické podprogramy (.SPF).

Dále jste se dozvěděli jak připravit CNC frézku k provozu a zajistit podmínky pro obrábění součástí v automatickém režimu dle řídicího NC programu.



Kontrolní otázky

1. Jak je řešena automatická výměna nástrojů u CNC frézky EMCO PC MILL 155?
2. Napište první tři standardní věty (bloky) v NC programu pro řídicí systém SINUMERIK 840D.
3. Napište podmínky pro automatické obrábění součástí na CNC frézce.
4. Jakou příponu má program obrobků?
5. Napište rámcový technologický postup pro výrobu ozubeného kola.
6. Která z funkcí končí NC podprogram?
7. Co označuje písmeno „*F*“ v adresné části slova?
8. Kterou funkci použijeme pro pracovní pohyb po přímce?
9. Kde vždy končí NC program, podprogram a cyklus?
10. Napište pět obráběcích cyklu, které můžeme programovat na CNC řídicím systému.
11. Popište souřadný systém a vztažné body v pracovním prostoru CNC frézky.



Úlohy k řešení

1. Napište technologický postup výroby ozubeného kola dle **kapitoly 9 PŘÍLOHA** zpracování NC řídicího programu pro CNC frézku EMCO PC MILL 155 s řídicím systémem SINUMERIK 840D.
2. Zpracujte NC řídicí program pro opracování šestihranu 6HR24 včetně souřadnic přechodových bodů.

6 OZUBENÉ PŘEVODY

Ozubená kola jsou jedny z nejdůležitějších strojních součástí. Jedná se o tělesa, která mají na svých pracovních plochách pravidelně uspořádané zuby, jež mohou při záběru přenášet krouticí momenty nebo otáčivé pohyby. Známe-li smysl přenášené síly, označujeme ozubené kolo, od něhož pohyb vychází, jako hnací a druhé kolo, které tento pohyb přejímá, jako hnané kolo. Použije-li se místo jednoho kola ozubeného hřebene, mění se otáčivý pohyb v pohyb přímočarý, nebo naopak. Kolo a s ním zabírající druhé kolo (protikolo – jedno nebo několik) označujeme též jako pastorek a kolo; jsou-li jejich osy spojeny rámem nebo nosičem satelitů, tvoří soukolí [6].



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Popsat hlediska pro rozdělení ozubených soukolí.
-  Definovat základní pojmy v oblasti ozubených převodů.
-  Popsat základní geometrické parametry ozubeného soukolí.



Výklad

6.1 Rozdělení ozubených převodů

Ozubené převody (soukolí) můžeme rozdělit podle následujících hledisek:

podle vzájemné polohy os:

- s rovnoběžnými osami - čelní soukolí (**obr. 6.1a – d**),
- s různoběžnými osami - kuželové soukolí (**obr. 6.2a – c**),
- s mimoběžnými osami - šroubové soukolí (**obr. 6.3a**),
 - závitové soukolí (**obr. 6.3b**),
 - hypoidní soukolí (**obr. 6.3c**),
 - spirálové soukolí (**obr. 6.3d**),

podle polohy ozubení na tělese kola:

- s vnějším ozubením (**obr. 6.1a**),
- s vnitřním ozubením (**obr. 6.1c**),

podle druhu křivky profilu zubu s ozubením:

- evolventním,

- cykloidní
- zvláštním,

podle průběhu boční křivky zubu se zuby:

- přímými,
- šikmými,
- zakřivenými,
- šípovými,

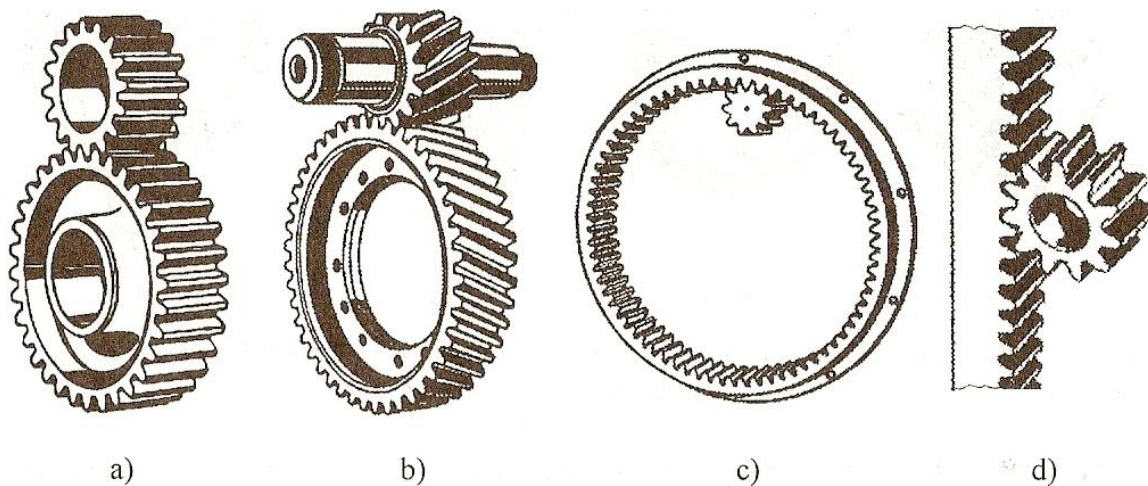
podle korekcí:

- normální (bez korekcí, nekorigované),
- korigované,

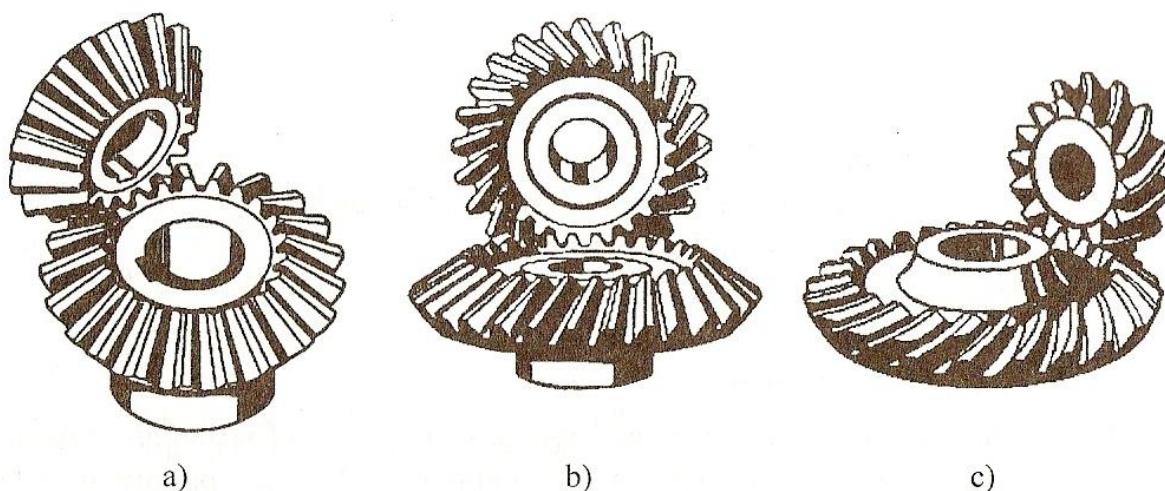
podle konstrukce převodů:

- jednoduché soukolí s dvojicí ozubených kol,
- soukolí s vloženými koly,
- planetové soukolí.

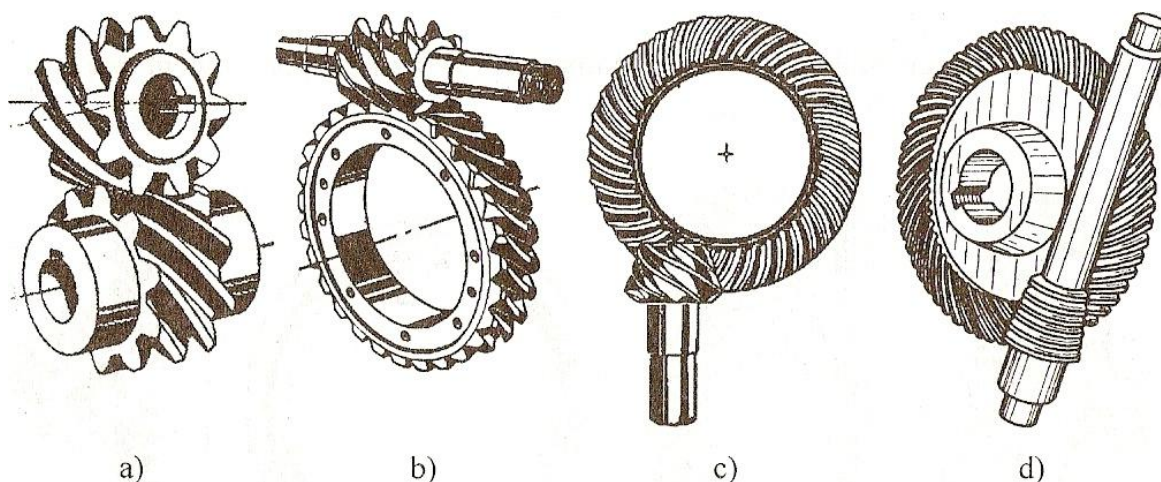
Nejčastější používaná soukolí jsou čelní soukolí s rovnoběžnými osami s válcovými koly, s vnějším evolventním ozubením s přímými nebo šikmými zuby (**obr.6.1a,b**). Důvodem je relativně snadná a přesná výroba i montáž [6].



Obr. 6.1 Čelní soukolí: a) s přímými zuby, b) se šikmými zuby, c) s vnitřními přímými zuby, d) ozubený hřeben – ozubený pastorek [7]



Obr. 6.2 Kuželové soukolí: a) s přímými zuby, b) se šikmými zuby, c) se zakřivenými zuby [7]



Obr. 6.3 Soukolí s mimoběžnými osami: a) šroubové, b) závitové, c) hypoidní, d) spirálové [7]

6.2 Základní pojmy ozubení

Názvosloví a definice pojmů evolventního ozubení obsahuje ČSN 01 4602-2 *Názvosloví ozubených převodů. Převody s čelními koly* [10] a ČSN 01 4602-3 *Názvosloví ozubených převodů. Převod s kuželovými koly* [11]. Mezi nejdůležitější pojmy v oblasti ozubení patří:

Zub – základní element ozubení, výstupek na ozubeném členu, který zabezpečuje převod pohybu působením výstupku (zubů) druhého ozubeného členu. Skládá se z **paty zubu** a **hlavy**

zubu. Zub je ohraničený **hlavovou plochou**, **patní plochou**, dvěma, podle evolventy zakřivení **boky zubů** a dvěma **čelními plochami** ozubeného kola. Zuby jsou v pravidelných roztečích podle **roztečné plochy** ozubeného člena, resp. po obvodě celého kola.

Těleso – část ozubeného kola, která s ozubením tvoří ozubené kolo.

Souosá plocha – rotační plocha, jejichž osa je totožná s osou ozubeného kola.

Roztečná plocha – základní vztažná plocha ozubení. Je to souosá plocha ozubeného kola, která je základnou pro určení prvků zubů, jejich rozměrů a rozmístění. Roztečná plocha je u čelních ozubených kol válcová, u kuželových kuželová. Rozděluje zub na hlavu zubu a patu zubu.

Roztečná kružnice – myšlená kružnice, roztečná plocha zobrazena v rovině kolmo na osu rotace.

Hlavová plocha – souosá válcová plocha ohraničující ozubené kolo na protilehlé straně tělesa ozubeného kola, tvoří plochy vrcholů zubů. U vnějšího ozubení ohraničuje ozubené kolo na jeho největším průměru.

Hlavová kružnice – zobrazení hlavové plochy v čelní rovině, kružnice opisuje ozubení přes vrcholy zubu.

Patní plocha – souosá plocha, která odděluje ozubení od tělesa ozubeného kola.

Patní kružnice – zobrazení patní plochy v čelní rovině, kružnice spojující všechny dna zubové mezery.

Hlava zubu – část zubu mezi roztečnou a hlavovou plochou.

Pata zubu – část zubu mezi patní a roztečnou plochou.

Zubová mezera – prostor mezi dvěma sousedními zuby jednoho kola ohraničené hlavovou a patní plochou.

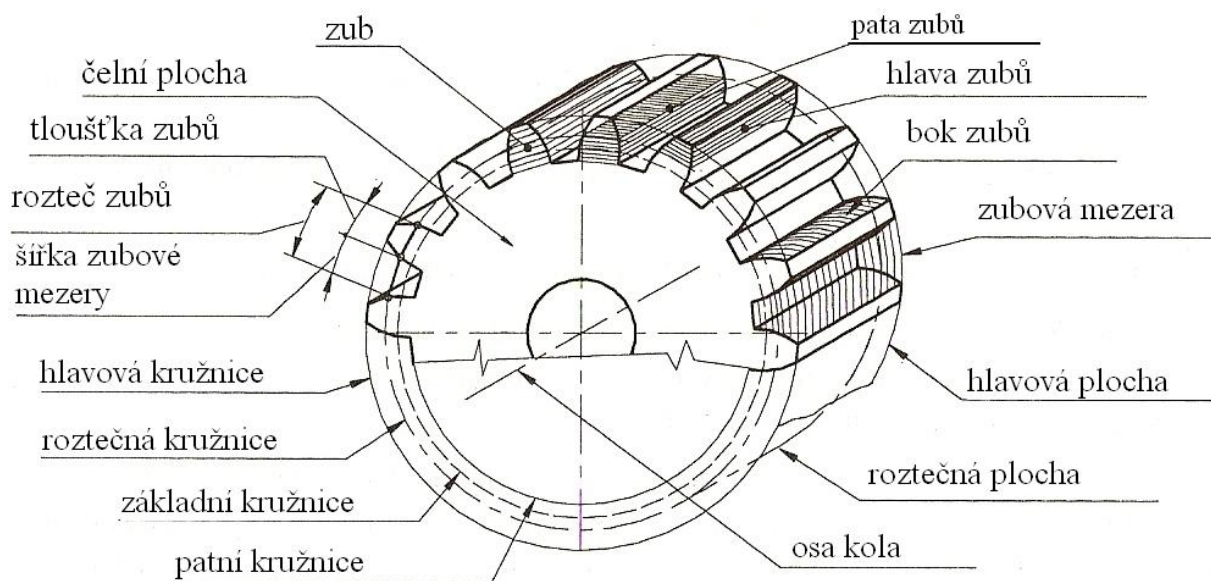
Bok zubu – plocha, která ohraničuje zub ze strany zubové mezery. Její součástí je pracovní plocha zubu, kterou se zub dotýká zubu spoluzabírajícího kola. Je tvořen evolventní plochou (v čelní rovině evolventou), která vzniká jako obálka polohy tvořící roviny (v čelní rovině přímka) při jejím valení po základní ploše (v čelní rovině základní kružnice). Průsečnice plochy boku zubu a roztečné plochy se nazývá **roztečná boční křivka zubů**.

Základní plocha – souosá plocha, po které se odvaluje tvořící rovina při vytváření evolventní plochy boku zubů. U čelních kol je válcová plocha, u kuželových kuželová.

Základní kružnice – zobrazení základní plochy v čelní rovině. Kružnice, po které se odvaluje tvořící přímka při vytváření evolventy boku zubů.

Čelní plocha ozubení – jedná z ploch ohraničující šířku ozubení.

Profil boku zubů – průsečnice boku zubů s jinou plochou, např. čelní profil odpovídá čelnímu řezu plochou boku zubů.



Obr. 6.4 Ozubené kolo – základní pojmy [6]

Tloušťka zubů – vzdálenost mezi nerovnoběžnými profily boku zubů na oblouku soustředné kružnice ozubeného kola, např. **roztečná tloušťka zubu** je délka oblouku na roztečné kružnici mezi dvěma body, ve kterých roztečná kružnice protíná protilehlé profily boku zubů.

Šířka zubové mezery – vzdálenost mezi nejbližšími nerovnoběžnými profily boku sousedních zubů na oblouku soustředné kružnice ozubeného kola, např. **roztečná šířka zubové mezery** je délka oblouku roztečné kružnice mezi dvěma body, ve kterých roztečná kružnice protíná nejbližší protilehlé profily boku dvou sousedních zubů [6].

6.3 Geometrické parametry čelního nekorigovaného ozubení s přímými zuby

U čelního nekorigovaného ozubení s přímými zuby se všechny geometrické parametry určují a měří v čelní rovině, resp. v libovolné rovině rovnoběžné s čelní plochou ozubení. Základní parametry a rozměry ozubení - **obr. 6.5** se určují následujícími definicemi a vztahy:

Počet zubů – určuje se podle funkce stroje výpočtem převodového poměru. Minimální počet zubů je $z_{\min} = 17$, menší počet zubů je možný jen tehdy, když se pro méně náročné aplikace připustí jisté podřezání zubů, potom $z'_{\min} = 14$, nebo se použije korigované ozubení.

Modul ozubení m (mm) – charakteristické číslo určující velikost profilu zubů, určuje se pevnostními výpočty. Z modulu se určuje většina ostatních rozměrů ozubení. Hodnoty modulu jsou normalizovaná v ČSN 01 4608 – **Ozubená kola. Moduly**. Normalizované hodnoty modulu jsou odstupňovány – **tab. 6.1**, přičemž moduly tučně vytištěné jsou přednostní.

Tab. 6.1 Přehled doporučených velikostí modulů podle ČSN 01 4608[12]

0,1	0,11	0,12	0,14	0,15	0,18	0,2	0,22	0,25	0,28	0,3	0,35	0,4
0,45	0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,125	1,25	1,375	1,5	1,75
2	2,25	2,5	2,75	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8
9	10	11	12	14	16	18	20	22	...			

Rozteč zubů p (mm) – vzdálenost dvou rovnoběžných sousedních zubů měřená na oblouku roztečné kružnice. Rozteč zubů spoluzabírajících kol musí být stejná

$$p_1 = p_2 = p = \pi \cdot m \quad (\text{mm}) \quad (6.1)$$

Poté můžeme vyjádřit obvod roztečné kružnice

$$O = \pi \cdot d = p \cdot z \quad (\text{mm}) \quad (6.2)$$

a odtud napsat pro **průměr roztečných kružnic** vztah

$$d = \frac{p \cdot z}{\pi} = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{\pi} = m \cdot z \quad (\text{mm}) \quad (6.3)$$

Výška hlavy zubu závisí na hodnotě modulu ozubení a jednotkové výšce hlavy zubu

$$h_a = h_a^* \cdot m \quad (\text{mm}) \quad (6.4)$$

Jednotková výška hlavy zubů je poměr výšky hlavy zubů a modulu ozubení

$$h_a^* = 1,0 \quad (6.5)$$

Výška paty zubů závisí na hodnotě modulu ozubení a jednotkové výšce paty zubů

$$h_f = h_f^* \cdot m \quad (\text{mm}) \quad (6.6)$$

Jednotková výška paty zubů je poměr výšky paty zubu a modulu ozubení

$$h_f^* = 1,25 \quad (6.7)$$

Průměr hlavové kružnice

$$d_a = d + 2 \cdot h_a = d + 2 \cdot (h_a^* \cdot m) = d + 2 \cdot (1,0 \cdot m) \quad (\text{mm}) \quad (6.8)$$

Průměr patní kružnice

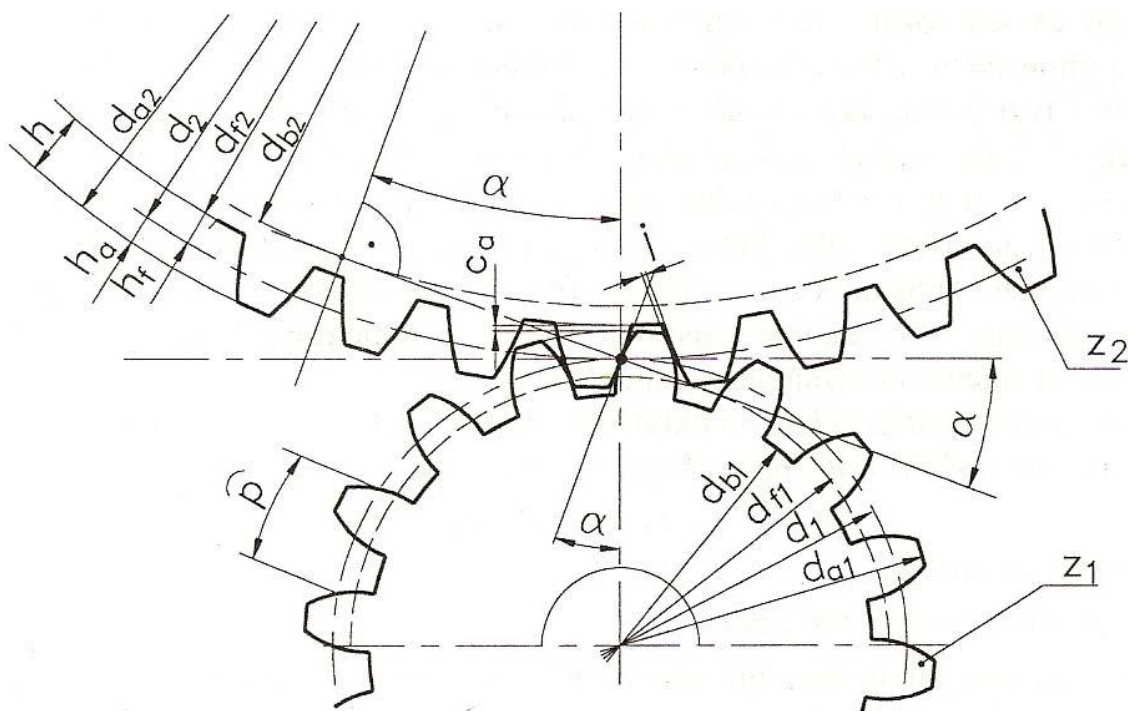
$$d_f = d - 2 \cdot h_f = d - 2 \cdot (h_f^* \cdot m) = d - 2 \cdot (1,25 \cdot m) \quad (\text{mm}) \quad (6.9)$$

Hlavová vůle – vzdálenost mezi hlavovou plochou jednoho ozubeného kola a patní plochou druhého ozubeného kola

$$c_a = c^* \cdot m \quad [\text{mm}] \quad (\text{mm}) \quad (6.10)$$

Jednotková hlavová vůle – poměr hlavové vůle a hodnota modulu ozubení

$$c^* = 0,25 \quad (6.11)$$



Obr. 6.5 Základní geometrické parametry ozubeného soukolí [6]

Úhel profilu zubů (úhel záběru) – ostrý úhel mezi dotykovou plochou profilu zubů v bodě na roztečné kružnici a spojnicí tohoto bodu s osou ozubeného kola. Hodnota úhlu je normalizovaná ($\alpha = 20^\circ$, příp. $\alpha = 15^\circ$).

Boční vůle j – mezera mezi nezátěžujícími boky spoluzabírajících kol, je nutná kvůli výrobním a montážním nepřesnostem a teplotním dilatacím.

Vzdálenost os ozubeného převodu a – nejmenší vzdálenost os kol ozubeného soukolí

$$a = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) = 0,5 \cdot (z_1 + z_2) \cdot m \quad (\text{mm}) \quad (6.12)$$



Shrnutí pojmů

V této kapitole jste se dozvěděli, podle jakých hledisek můžeme rozdělovat ozubené převody. Jedná se o rozdělení, která zohledňují vzájemnou polohu spoluzabírajících kol a profil zubu a jeho umístění na tělesech jednotlivých kol.

V kapitole jste se dále dověděli základní pojmy, které souvisejí s evolventním ozubením podle normy ČSN 01 4602-3. Tyto pojmy jsou důležité především s ohledem na jejich aplikaci v následujících kapitolách.

Závěr kapitoly je věnován základním geometrickým parametrům čelního ozubení s přímými zuby, které budou v dalších kapitolách využívány pro výpočet speciálních nástrojů pro výrobu ozubení.



Kontrolní otázky

1. Podle jakých hledisek rozdělujeme ozubené převody?
2. Z jakých částí se skládá čelní ozubené kolo a jak tyto části definujeme v souladu s normou ČSN?
3. Které parametry jsou pro charakteristiku ozubeného kola nejdůležitější z pohledu jeho konstrukce?



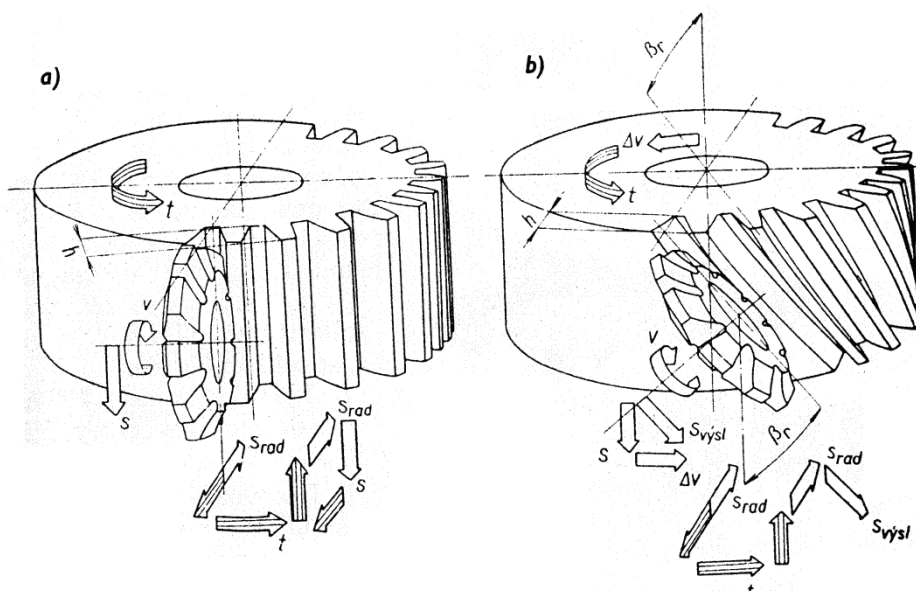
Úlohy k řešení

1. Jaká může být vzájemná poloha os spoluzabírajících kol pro různé typy ozubených soukolí?
2. Jaké kružnice můžeme definovat na čelním ozubeném kole a co je pro ně charakteristické?
3. Jak můžeme využít znalosti modulu, počtu zubů a úhlu záběru k definování velikosti jednotlivých kružnic ozubeného kola?

7 TVAROVÉ FRÉZY NA EVOLVENTNÍ OZUBENÍ

Výroba ozubených kol tvarovými frézami na evolventní ozubení (dále jen kotoučové nebo čepové frézy) je jedním z nejstarších způsobů výroby ozubení. Nazýváme ji též metodou dělicí, neboť frézujeme jednu zubovou mezeru za druhou nástrojem, jehož břity mají v radiální rovině tvar zubové mezery vyráběného ozubeného kola (u kol se šikmými zuby je tato shoda přibližná).

Fréza vykonává otáčivý řezný pohyb v (**obr. 7.1a**) a podélný posuv s (tento posuvový pohyb může často vykonávat i obrobek). Fréza se nastaví na hloubku zubové mezery h a po jejím dokončení se nástroj vrací do své původní polohy. Pak je kolo pootočeno dělicím mechanismem o rozteč t a stejným způsobem je frézována následující zubová mezera. Při výrobě ozubených kol se šikmými zuby musí obráběné kolo vykonávat během frézování ještě přídatný pohyb Δv (**obr. 7.1b**) pro vytvoření sklonu zubu. Postup výroby ozubení je jinak stejný jako u kol s přímými zuby.



Obr. 7.1 Kinematika frézování ozubení tvarovou kotoučovou frézou

Kotoučových fréz se využívá k výrobě ozubených kol 7. a 8. třídy přesnosti (dle ČSN 01 4682) [13], k hrubování ozubení před obrážením, broušením, nebo jinou dokončovací metodou. Hlavní oblastí využití je zejména při výrobě malého počtu kol včetně ozubených hřebenů. Přesnost zhotoveného ozubení závisí hlavně na přesném nastavení hloubky frézování vzhledem k ose profilu kola.

Kotoučovými frézami můžeme obrábět kola nekorigovaná i korigovaná (upravenými frézami), s ozubením vnějším i vnitřním. Pro daný modul m , úhel záběru α a počet zubů z obráběného kola je nutná samostatná fréza, neboť s počtem zubů se mění velikost základní kružnice a tím i tvar evolventy boku zubu.

Z hlediska konstrukčního rozeznáváme dva typy fréz pro úhly záběru $\alpha = 20^\circ$ a $\alpha = 15^\circ$. Jsou to:

1. Kotoučové frézy (požívané hlavně pro výrobu kol s přímými zuby a menšími moduly), **obr. 7.2**.
2. Čepové frézy (pro výrobu kol velkých modulů a kol se šikmým a šípovým ozubením), **obr. 7.3**.



Obr. 7.2 Tvarová fréza kotoučová



Obr. 7.3 Tvarová fréza čepová

7.1 Výpočet kotoučových fréz pro vnější ozubení s přímými zuby



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- ✚ Určit souřadnice evolventního profilu zubu kotoučové frézy včetně souřadnic zaoblení hlavy zubu tohoto nástroje.
- ✚ Stanovit další konstrukční parametry nástroje pro jeho nakreslení.
- ✚ Provést kontrolu geometrie břitu kotoučové tvarové frézy.



Výklad

Při výpočtu frézy nás na prvním místě zajímá profil zubu. U kotoučových fréz odpovídá profilu zubové mezery obráběného ozubeného kola. Tvar zubové mezery závisí pro daný modul a úhel záběru na počtu zubů. U kol s malým počtem zubů leží základní kružnice nad kružnicí patní. Profil tedy bude omezen evolventou k základní kružnici a dále k patní kružnici přechodovou křivkou. U většího počtu zubů je celý profil ohraničen evolventou,

neboť základní kružnice je pod kružnicí patní. Přechodová křivka z prvního případu musí respektovat podřezání paty zubu zejména u fréz pro malý počet zubů, odstranit nebezpečí interference s přechodovými křivkami v celém rozsahu spoluzabírajících kol a zaručit minimální úhel hřbetu na boku zubu u hlavové kružnice nástroje. Tyto podmínky splňuje použití prodloužené evolventy, kterou vytvoří hřeben při záběru s ozubených kolem. Z hlediska odlišné kinematiky při frézování kotoučovou frézou a při odvalu kola s ozubeným hřebenem není výroba ozubených kol s malým počtem zubů ($z < 17$) kotoučovou frézou doporučována.

7.1.1 Určení souřadnic evolventního profilu

Počátek souřadnic zvolíme ve středu ozubeného kola O_k (obr. 7.4), osu y jako osu zubové mezery a osu x' kolmou na osu y . Pro obecný bod X určíme souřadnice x_X a y'_X z trojúhelníků O_kXY takto:

$$x_X = r_X \sin \vartheta_X \quad (7.1)$$

$$y'_X = r_X \cos \vartheta_X \quad (7.2)$$

$$\text{Středový úhel } \vartheta_X \text{ je} \quad \vartheta_X = \vartheta_o + \text{inv} \alpha_X, \quad (7.3)$$

$$\text{kde} \quad \vartheta_o = \vartheta_r - \text{inv} \alpha. \quad (7.4)$$

Úhel ϑ_r pro oblouk roztečné kružnice odvodíme ze známého pravidla

$$2\vartheta_r \cdot r = S_r, \text{ odkud vychází } \vartheta_r = \frac{S_r}{2r}. \quad (7.5)$$

$$\text{Z teorie ozubení víme, že } r = \frac{mz}{2}, \quad S_r = \frac{p}{2} = \frac{\pi m}{2} = \frac{\pi r}{z}, \text{ takže pro teoretický případ ozubení bez boční vůle platí} \quad \vartheta_r = \frac{\pi r}{z2r} = \frac{\pi}{2z}. \quad (7.6)$$

Abychom vyrobili ozubené kolo s menší tloušťkou zubu o ΔS_r (např. s boční vůlí $c_b = \Delta S_r$), je nutné, aby úhel ϑ_r byl na obou stranách zubu o tuto míru větší. Pro nekorigovaná kola bude výsledný vzorec

$$\vartheta_r = \frac{\pi}{2z} + \frac{2\Delta S_r}{2mz} = \frac{\pi}{2z} + \frac{\Delta S_r}{mz} \quad (7.7)$$

U nástrojů pro výrobu korigovaných kol je nutné uvažovat změnu tloušťky zubu ΔS_{rx} vlivem změny polohy základního hřebene, kterou vypočteme z rovnice

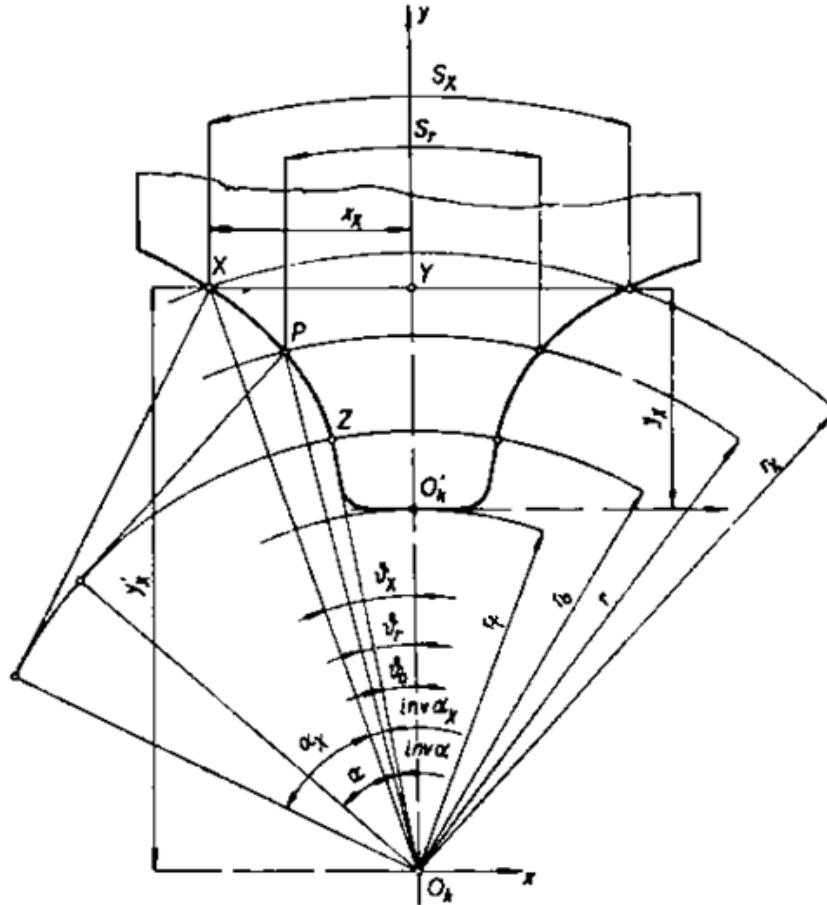
$$\Delta S_{rx} = x m \tan \alpha, \quad (7.8)$$

$$\text{takže středový úhel se určí z rovnice } \vartheta_r = \frac{\pi}{2z} + \frac{\Delta S_r}{mz} \mp \frac{2x \tan \alpha}{z}. \quad (7.9)$$

Znaménko mínus platí pro korekci kladnou, při které se tloušťka zubu zvětšuje, znaménko plus pro korekci, která naopak tloušťku zubu zmenšuje.

Úhly ϑ ve výše uvedených rovnicích vyjdou v radiánech. Na stupně se přepočtou ze vztahu

$$\vartheta_x^\circ = \frac{\vartheta_{xrad.}}{0,01745} \quad (7.10)$$



Obr. 7.4 Souřadnice pro výpočet profilu tvarových fréz [8]

V rovnicích značí x součinitel posunutí základního profilu a S_r tloušťku mezery na oblouku roztečné kružnice. Poloměr kružnice r_x je poloměr bodu, jehož souřadnice hledáme, jeho úhel záběru označujeme α_x a vypočteme jej z rovnice

$$\cos \alpha_x = \frac{r_b}{r_x} , \quad (7.11)$$

r je poloměr roztečné kružnice kola

$$r = \frac{r_b}{\cos \alpha} = \frac{mz}{2} \quad (7.12)$$

r_b je poloměr základní kružnice kola

$$r_b = \frac{mz}{2} \cos \alpha = r \cos \alpha , \quad (7.13)$$

kde m je modul, α úhel záběru a z počet zubů kola. V dalších vztazích se budou ještě využívat průměry patní kružnice d_f a hlavové kružnice d_a .

Pro prokreslení profilu nože, případně kontrolní šablony, je výhodnější přeložit počátek souřadnic O_k do bodu O'_k . Pak se souřadnice y_x určí ze vztahu

$$y_x = y'_x - r_f . \quad (7.14)$$

Při výpočtu souřadnic se volí řada hodnot r_x , a to v rozmezí o něco větším, než je poloměr hlavové kružnice, a počítají se souřadnice x a y z uvedených rovnic. Nejlépe je vepisovat vypočtené hodnoty do tabulky – viz **kapitola 8**.

Z uvedeného výpočtu vyplývá, že k dosažení teoreticky správného profilu potřebujeme pro každý případ určený modulem, počtem zubů obrobku, korekcí a úhlem záběru zvláštní frézu. Výroba, organizace, použití, uskladňování a další jsou u tak velkého množství nástrojů ekonomicky neúnosné. Proto pro obrábění nekorigovaných kol sdružujeme frézy do sad. Nejčastěji používané jsou sady 8- členné a 15- členné, kdy jedna fréza obrábí určitý rozsah počtu zubů daného modulu a úhlu záběru, jak ukazují **tabulky 7.1** a **7.2**.

Tab. 7.1 Čísla fréz osmičlenné sady pro moduly $m = 0,3$ až 8 mm podle dřívější ČSN 22 2502

Číslo frézy	1	2	3	4	5	6	7	8
Počet zubů kola z	12-13	14-16	17-20	21-25	26-34	35-54	55-134	135-∞

Tab. 7.2 Čísla fréz patnáctičlenné sady podle dřívější ČSN 22 2502

Číslo frézy	1	1 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{1}{2}$	3	3 $\frac{1}{2}$	4	4 $\frac{1}{2}$
Počet zubů kola z	12	13	14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-25

Číslo frézy	5	5 $\frac{1}{2}$	6	6 $\frac{1}{2}$	7	7 $\frac{1}{2}$	8
Počet zubů kola z	26-29	30-34	35-41	42-54	55-80	81-134	135-∞

7.1.2 Souřadnice zaoblení hlavy zubu nástroje

Tvar hlavy zubu kotoučové frézy musí odpovídat obrysu paty zubu ozubeného kola. Zaoblení při konstrukci ozubení volíme tak, aby nevznikla interference s přechodovými křivkami a bylo dosaženo maximální možné pevnosti zubu. Z pevnostního výpočtu víme, že tyto požadavky jsou protichůdné. Se zmenšujícím se poloměrem paty r_p klesá nebezpečí křížení ozubení, ale roste napětí na patě zubu zatíženého kola. Při návrhu fréz pro určitý rozsah počtu zubů spoluzabírajících kol proto volíme r_p z **tabulky 7.3**, která uvádí koeficient k_{rp} , který respektuje výše uvedené důvody. Pro určení hodnot zaoblení r_p musíme koeficient k_{rp} vynásobit příslušným modulem.

Pro stanovení zaoblení hlavy zubu nástroje je nutné spočítat souřadnice významných bodů oblouku o poloměru r_p viz **obr. 7.5**.

Tab. 7.3 Koeficienty k_{rp} poloměru zaoblení paty zubu

Počet zubů z	12	13-20	21-29	30-34	35-79	80-∞
Koeficient k_{rp}	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30

Přímku DO_k hlavy zubu nástroje můžeme volit jako tečnu nebo tětivu patní kružnice. Nejčastěji používáme prvního způsobu vzhledem k jednoduššímu výpočtu a konstrukci, i když druhé řešení umožňuje volit větší poloměr zaoblení r_p . U nástrojů určených pro střední rozsah počtu zubů ozubených kol odvodíme souřadnice důležitých bodů pro konstrukci takto (**obr. 7.5**):

Bod C: $y_C = 0$, $x_C = r_f \operatorname{tg} \vartheta_C$, $\vartheta_C = \vartheta_r - \operatorname{inv} \alpha$, $\vartheta_r = \frac{\pi}{2z}$

Bod T: souřadnici y_T určíme pomocí ΔO_ZGT , kde $O_Z = r_p \sin \vartheta_C$, a proto

$$y_T = r_p - r_p \sin \vartheta_C = r_p (1 - \sin \vartheta_C) .$$

Souřadnici x_T určíme z rovnice $x_T = x_C + c = x_C + y_T \operatorname{tg} \vartheta_C$ podle **obr. 7.5**, detail a,

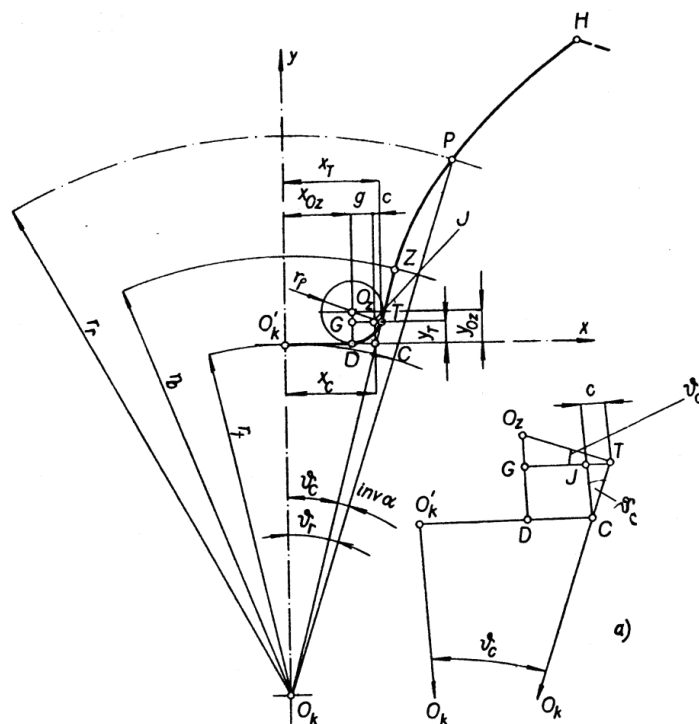
po úpravě $x_T = r_f \operatorname{tg} \vartheta_C + r_p (1 - \sin \vartheta_C) \operatorname{tg} \vartheta_C$.

Bod D: $y_D = 0$, $x_D = x_{Oz} = x_T - (g + c) = x_T - r_p \cos \vartheta_C$,

a po úpravě $x_D = r_f \operatorname{tg} \vartheta_C + r_p (1 - \sin \vartheta_C) \operatorname{tg} \vartheta_C - r_p \cos \vartheta_C$.

Bod O_Z : $x_{Oz} = r_f \operatorname{tg} \vartheta_C + r_p [(1 - \sin \vartheta_C) \operatorname{tg} \vartheta_C - \cos \vartheta_C]$

$$y_{Oz} = r_p \quad .$$



7.5 Souřadnice významných bodů zaoblení hlavy zubu nástroje

Pro případ, kdy základní kružnice je pod kružnicí patní, můžeme výpočet souřadnic důležitých bodů provést obdobně. Zde bude bod C představovat průsečík evolventy s patní kružnicí. Dod T může představovat některý z bodů evolventy, jehož y-nová souřadnice nepřekročí hodnotu poloměru r_p .

7.1.3 Šířka a výška profilu frézy

Šířku profilu frézy S_{Fn} určíme podle šířky zubové mezery S_h hlavové kružnice obráběného ozubeného kola, která odpovídá hloubce frézování h . Pomocí levé části **obr. 7.6** se vypočte S_h následujícím způsobem:

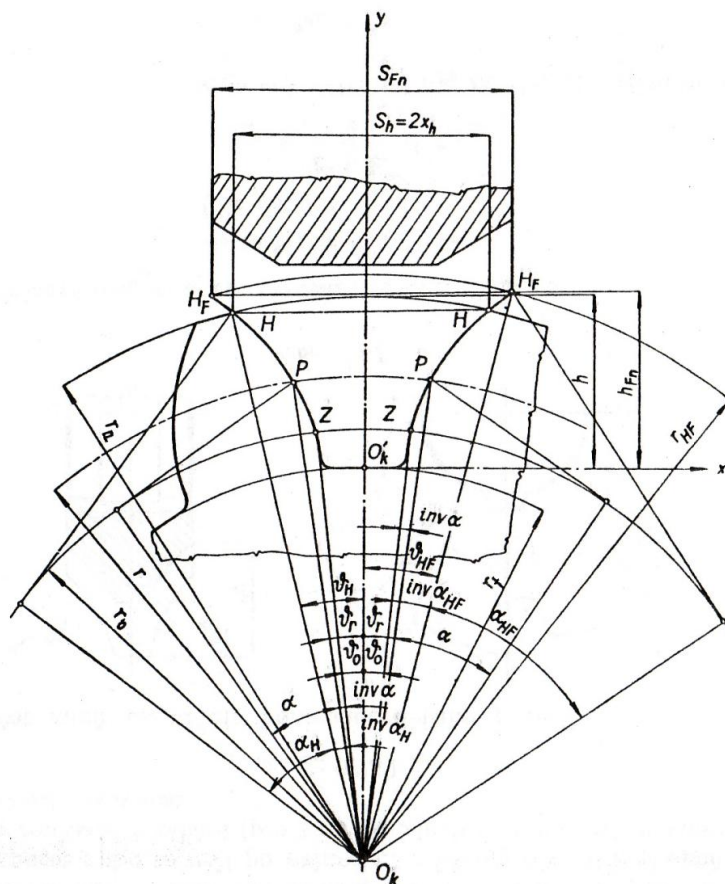
$$S_h = 2x_h = 2r_a \sin \vartheta_H \quad (7.15)$$

$$\text{kde } \vartheta_H = \vartheta_o + \text{inv} \alpha_H, \quad \vartheta_o = \vartheta_r - \text{inv} \alpha, \quad \vartheta_r = \frac{2\pi}{4z}, \quad \cos \alpha_H = \frac{r_b}{r_a} \quad \text{a} \quad \cos \alpha = \frac{r_b}{r}.$$

Pro stanovení S_{Fn} je nutné připočítat 10-35% šířky S_h , takže šířka frézy bude

$$S_{Fn} = (1,10 \text{ až } 1,35) S_h. \quad (7.16)$$

Rozšíření frézy je nutné z důvodů konstrukčních (různé frézy stejně široké), výrobních (se zřetelem na šířku podtáčecího nože a šablony i ostření) a technologických (odvod tepla, možnost frézovat hlubší mezery).



Obr. 7.6 Údaje potřebné pro výpočet šířky a výšky profilu frézy

Výšku profilu frézy h_{Fn} stanovíme řešením pravé části **obr. 7.6**. Odtud pak můžeme odvodit:

$$h_{Fn} = r_{HF} \cos \vartheta_{HF} - r_f \quad \text{kde} \quad \vartheta_{HF} = \vartheta_o + inv \alpha_{HF}$$

$$S_{Fn} = 2r_{HF} \sin \vartheta_{HF} \quad \cos \alpha_{HF} = \frac{r_b}{r_{HF}} \quad (7.17)$$

Praktický výpočet h_{Fn} provedeme tak, že pro zvolené r_{HF} určíme ϑ_{HF} a tyto číselné hodnoty dosadíme do rovnice pro S_{Fn} . To děláme tak dlouho, až jsou si pravá a levá strana rovny. Hodnota h_{Fn} je čistě konstrukční rozměr, který se při podtáčení vytvoří automaticky.

Hloubka frézování h je rovna výšce zubu kola. Pro výrobu je základní hodnotou, a proto se musí na nástroji vyznačit. Pro daný modul a druh kola ($h=2,2$ m, $h=2,167$ m apod.) je konstantní pro libovolný počet zubů.

7.1.4 Stanovení ostatních konstrukčních parametrů – obr. 7.7

Vnější průměr frézy d_{hn} , průměr upínacího otvoru d_n a rozměr upínací drážky b_{dn} , e_{dn} (vybrání podle dřívější ČSN 24 1435 d_{1n} , l_{1n}), počet zubů z_n a šířka frézy S_{Fn} (v normě označení **S**) volíme podle původní normy ČSN 22 2510 ($\alpha = 20^\circ$) a ČSN 22 2511 ($\alpha = 15^\circ$). Při navrhování nástrojů pro speciální případy je výhodnější volit větší upínací průměr, čímž se zvýší tuhost systému stroj-nástroj. S tím souvisí nutnost zvětšení vnějšího průměru, a tedy

$$z_n = (1,8 \text{ až } 2,8) \frac{d_{hn}}{h_n}, \quad (7.18)$$

$$z_n = (1,8 \text{ až } 2,8) \frac{d_{hn}}{h_n}, \quad (7.18)$$

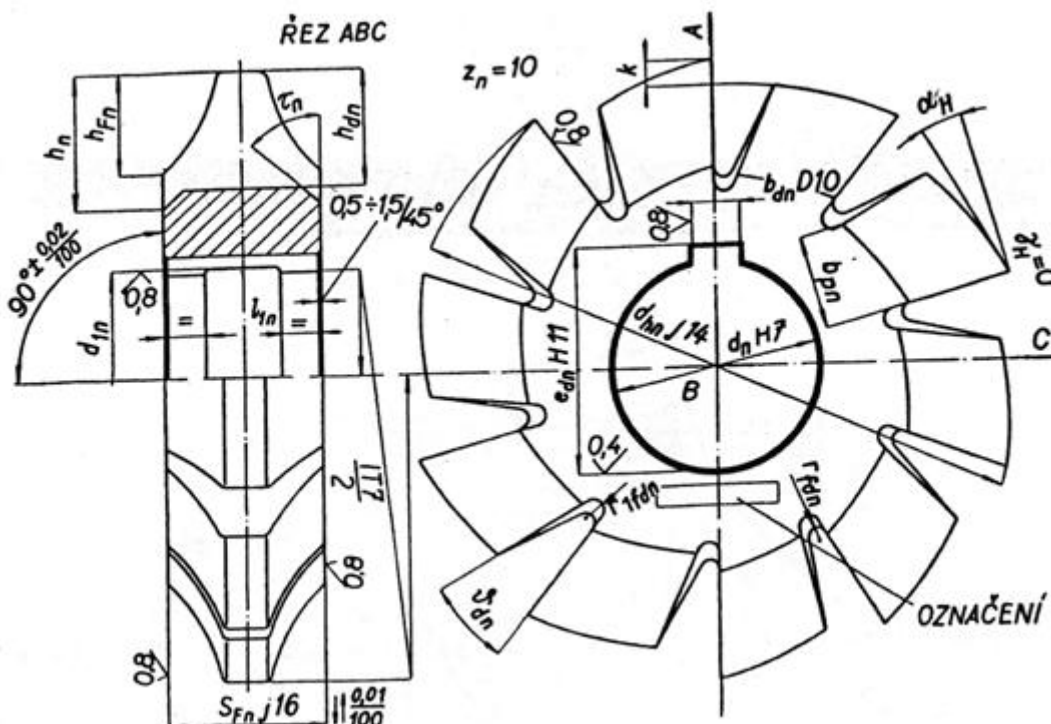
Hloubka frézování h_n se určí z rovnice
$$h_n = h_{Fn} + k + r_{1fdn} . \quad (7.19)$$

Rozměr $\mathbf{h}_{dn}$ se volí pokud možno větší než $\mathbf{h}_{Fn}$ za účelem ostření nástroje $h_{dn} \geq h_{Fn}$.

$$\text{rovnić} \quad r_{1fdn} = \frac{\pi(d_{hn}-2h_n)}{10z_n} \quad , \quad r_{fdn} = \frac{\pi(d_{hn}-2h_{dn})}{10z_n} \quad . \quad (7.20)$$

$$r_{1fdn} = \frac{\pi(d_{hn}-2h_n)}{10z_n} \quad , \quad r_{fdn} = \frac{\pi(d_{hn}-2h_{dn})}{10z_n} \quad . \quad (7.20)$$

Čím je výška zubu menší, tím musí být tento úhel větší, aby byl dostatek místa pro odvod třísky a odskočení nástroje při podtáčení. Tento způsob úpravy zubové mezery se sraženými stranami je nejpoužívanější. Mají-li zuby na patě a těleso frézy dostatečnou tloušťku, lze navrhnout drážku bez sražení oblouků.



Obr. 7.7 Konstrukční parametry tvarové kotoučové frézy

7.1.5 Geometrie břitu kotoučových fréz

Kotoučové frézy pro výrobu evolventního ozubení se podsoustruží podle Archimédovy spirály, aby se přeastřováním neměnil profil nástroje a tím vyráběného ozubeného kola. Tvar Archimédovy spirály určujeme velikostí zdvihu vačky k , který vypočteme ze známé rovnice:

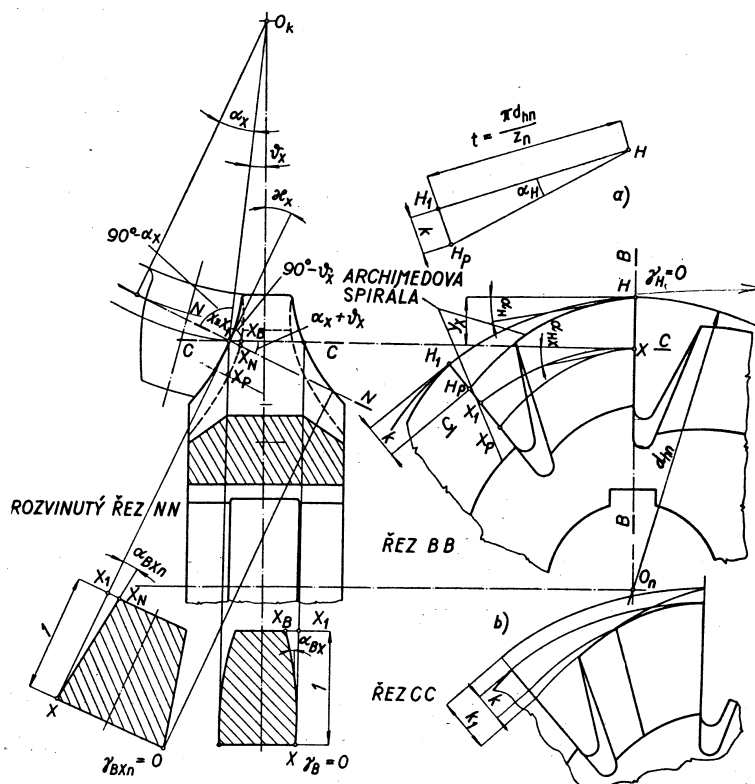
$$k = \frac{\pi d_{hn}}{z_n} \operatorname{tg} \alpha_H, \quad (7.21)$$

kteou lze odvodit z pravoúhlého trojúhelníka (**obr. 7.8, detail a**) rozvinuté části HH_1H_p . Frézy s broušeným profilem se brousí na $2/3$ délky zubu. Proto pro usnadnění broušení podsoustružíme poslední třetinu se zdvihem $k_1 = (1,2 \text{ až } 1,35) k$.

Úhel hřbetu na hlavě zubu α_H (boční, radiální úhel hřbetu) musíme volit tak, abychom měli dostatečně velký normální (normálový) úhel hřbetu na bocích zubu α_{BXn} . Velikost tohoto úhlu se mění od minimální hodnoty na hlavové kružnici k maximální na patě zubu frézy. Na základě konstantního zdvihu Archimédovy spirály podél profilu zubu nástroje se mění boční úhel čela v kterémkoliv bodě profilu α_{HX} podle rovnice

$$\operatorname{tg} \alpha_{HX} = \frac{d_{hn}}{d_{hn} - 2y_x} \operatorname{tg} \alpha_H. \quad (7.22)$$

Vyčíslíme-li tento podíl, zjistíme, že příznivě ovlivňuje velikost úhlu α_{HX} , neboť velikost tohoto úhlu podél profilu roste.



7.8 Řezná geometrie tvarové kotoučové frézy

Mezi úhlem α_H a α_{BXn} pak platí vztah

$$tg\alpha_{BXn} = tg\alpha_{HX} \sin\kappa_X = \frac{d_{hn}}{d_{hn}-2y_X} tg\alpha_H \sin\kappa_X, \quad (7.23)$$

když úhel nastavení κ_X v bodě X je dán součinem

$$\kappa_X = \alpha_X + \vartheta_X. \quad (7.24)$$

Úhel α_{BXn} nesmí být menší než 1,5 až 2°. Proto hodnota κ_X nesmí klesnout pod 5°. Úhel hřbetu na hlavě zubu α_H se volí okolo 15°.

Zadní (příčný) úhel hřbetu α_{BX} (**obr. 7.8, řez C-C**) nemá pro práci ani konstrukci nástroje význam. Pro úplnost uvádím vztah pro jeho výpočet:

$$tg\alpha_{BX} = \frac{tg\alpha_{BXn}}{\cos(\alpha_X + \kappa_X)}. \quad (7.25)$$

Boční úhel čela na hlavě zubu u dokončovacích fréz volíme $\gamma_H = 0$, abychom zaručili správnost evolventního profilu. V tomto případě jsou i normálový úhel čela γ_{BXn} , zadní (příčný) úhel čela γ_B a úhel sklonu ostří λ_{BX} rovny nule. Nulový úhel čela je nevýhodný. Proto pro hrubovací frézy vyostřujeme γ_H až 20° (dochází ke zkreslení profilu), nebo konstruujeme speciální frézy s kladným úhlem čela a s přepočteným profilem [8].



Shrnutí pojmů

V této kapitole jste se dozvěděli, jakým způsobem lze vypočítat profil boku zubu a zaoblení hlavy zubu kotoučové tvarové frézy pro výrobu čelního ozubeného kola s přímými zuby.

V kapitole jste se dále dověděli, jak volíme šířku a výšku profilu frézy a jakými pravidly se řídíme při stanovování dalších konstrukčních parametrů frézy, které potřebujeme pro realizaci jejího výkresu.

Nedílnou součástí návrhu každého speciálního nástroje je kontrola jeho řezné geometrie. Realizaci této kontroly je věnován závěr této kapitoly.



Kontrolní otázky

1. Jaký musí mít profil (tvar) bok zubu tvarová kotoučová fréza pro dokončovací obrábění čelního ozubeného kola s přímými zuby?
2. Z jakého důvodu se kotoučové tvarové frézy vyrábějí a dodávají v sadách?
3. Co je typické pro úhly čela u tvarových kotoučových fréz?



Úlohy k řešení

1. Schematicky znázorni kinematiku frézování ozubeného kola tvarovou kotoučovou frézou a vysvětli rozdíl při obrábění kol s přímými a šikmými zuby.
2. Naskicuj zub frézy a zakótuj na něm nejdůležitější úhly řezné geometrie.
3. Jak se bude měnit úhel hřbetu, pokud se budeme pohybovat po ostří tvarové kotoučové frézy od hlavy zubu po patu. Vyjádři matematicky.

7.2 Výpočet čepových fréz pro vnější ozubení s přímými zuby



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- ✚ Popsat odlišnosti při výpočtu profilu zubu nástroje ve srovnání s frézou kotoučovou.
- ✚ Definovat základní parametry pro konstrukci čepových fréz
- ✚ Popsat základní možnosti podtáčení čepových fréz pro vytvoření řezné geometrie.



Výklad

Čepové frézy nejsou ošetřeny v normách. Ve výrobních podnicích u nás i v zahraničí se používají 8-mi, 18-ti i 26-tičlenné sady sestavené podle podobných zásad jako frézy kotoučové. Jejich profil v radiální rovině se shoduje s tvarem zubové mezery vyráběného ozubeného kola. Proto bude výpočet souřadnic x_X , y_X a zaoblení na hlavě zubu frézy stejný jako v předešlých kapitolách. Pouze souřadnice x_X přepočítáme na průměry d_{Xn} (**obr. 7.9**) a výšku h_{Fn} volíme o 5-12% větší se zřetelem na velikost čelních zubů a možnost radiálního přísuvu frézy po přeastření, neboť ostřením dochází ke zmenšení průměrů jednotlivých bodů profilu břitů. Výška profilu h_{Fn} pak určí průměr frézy d_{Fn} , který zaokrouhlíme na nejbližší vyšší číslo 5 nebo 10.

Tab. 7.4 Rozměry čelní části čepových fréz v mm

m	D_2	D_3	D_4	D_5	d_4	l_2	l_3	l_4	h_{dn}
10	4-5	-	5	-	0,7	1	4,7	-	4-8
12	4-6	-	5	-	0,7	1	4,7	-	5-8
14	5-7	-	5	-	0,7	1	4,7	-	6-9
16	5-7	-	5	-	0,7	1	4,7	-	6-10
18	6-7	-	5	-	0,7	1	4,7	-	7-10
18	7-8	4	2,5	9	1	1,2	2,5	4	7-10
20	7-8	3-5	2,5	8-10	1	1,2	2,5	4	7-10
22	8-12	3-7	2,5	8-13	1	1,2	2,5	4	8-10
24	8-12	3-6	2,5	8-13	1	1,2	2,5	4	8-11
26	8-14	4-9	2,5	9-15	1	1,2	2,5	4	8-12
30	10-18	5-10	4	10-18	1,5	1,8	4	4	9-12
36	13-22	6-14	4	13-22	1,5	1,8	4	5	9-14
42	16-25	8-14	4	15-22	1,5	1,8	4	5	10-14
45	21-29	9-15	4	17-24	1,5	1,8	4	6	10-15
50	25-33	11-16	4	19-26	1,5	1,8	4	6	11-16

Čelní část frézy se vyrábí podle **obr. 7.9, 7.9a, 7.9b**. První případy jsou určeny pro modul $m = 10$ až 16 mm, třetí pro nástroje s modulem větším než 18 mm. Drážky se frézují s vrcholovým úhlem 18 až 20°, s poloměrem zaoblení $r_{fdn} = 0,5$ až 1 mm. Informativní rozměry této části uvádí **tab. 7.4**. Při konstrukci je třeba se přizpůsobit šířce profilu frézy na hlavě. Tím máme vyřešeny základní parametry pro řeznou část L_{zn} .

Upínací část L_{un} konstruujeme co nejkratší, aby vyložení frézy bylo minimální, a tak se snížil nepříznivý účinek ohybového momentu při řezání, který způsobuje chvění nástroje. Proto lze pro upínání doporučit pouze ustředění za část o průměru d_nH4 a upnutí opřením o čelo **A** vnitřním závitem d_{In} . Upnutí za stopku nebo za vnější závit je nevýhodné, neboť vzniká větší vyložení frézy. Průměr závitu volíme podle **tab. 7.5** dle vnějšího průměru frézy d_{Fn} . Závit musí být tolerován s vůlí proto, aby fréza nedosedla na závit, ale na úložném

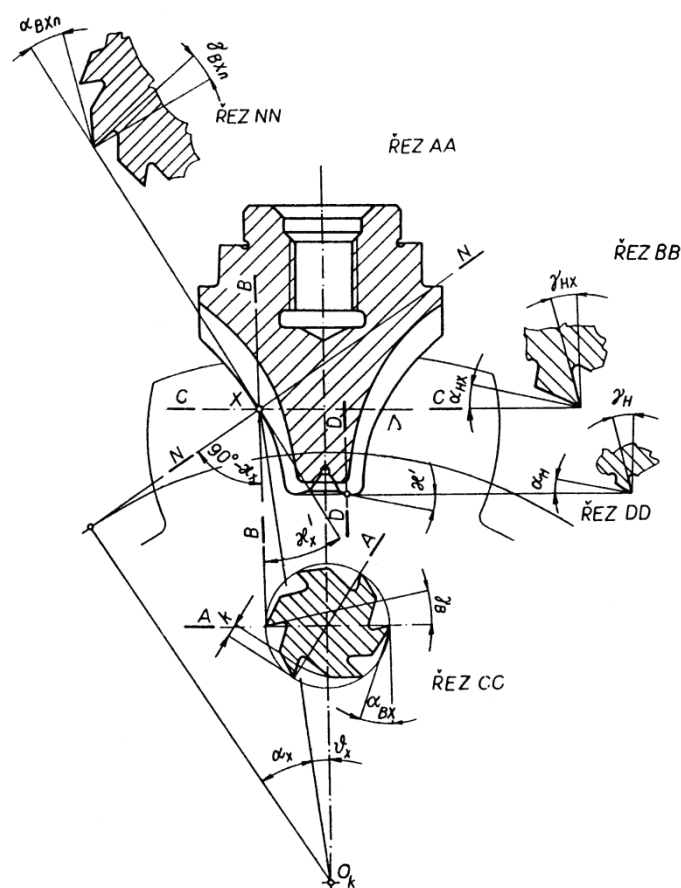
otvoru $d_n H4$. V tabulce jsou uvedeny i ostatní konstrukční rozměry (výška středící plochy b_{un} , závitu l_{un} , výběhu b_{3n} , b_{2n} atd.) podle tvaru nástroje. Míru l volíme co nejmenší, aby byla zajištěna minimální spotřeby materiálu a co nejmenší vyložení nástroje. Výška l_s a míra pro klíč S se navrhuje podle normy šroubů, např. ČSN 02 1101. Je přitom třeba kontrolovat, zda je dostatečně velká opěrná plocha A i plocha pro klíč. Všechny hrany musí být sraženy nebo zaobleny poloměrem r_{tn} .

Tab. 7.5 Rozměry upínacích částí čepových fréz v mm

d_{Fn}	38-40	42-52	55-62	65-72	75-85	90-105	110-125	130-150	155-175
S	30-32	36-41	46-50	55-60	65-70	75-95	95-110	120	130
l_s	15	16-18	21	23	30	33	42	42	42
d_{1n}	16	20	24	30	36	42	48	64	72
d_{2n}	17	21	26	32	38	45	51	67	75
d_n	20	25	30	40	50	55	62	75	90
d_{3n}	21	26	32	42	52	57	65	78	95
l_{un}	22	31	36	42	52	58	68	72	78
b_{2n}	3	4	5	6	8	8	9	10	10
b_{3n}	1	1	1,5	1,5	2	2	2	2	2
b_{un}	6	6	8	12	15	16	16	17	18

7.2.2 Geometrie břitu čepové frézy

Geometrie břitu čepových fréz se shoduje s geometrií fréz kotoučových. Dokazuje to srovnání **obr. 7.8** a **7.10**. Rovnice odvozené pro výpočet úhlů na břitu kotoučové frézy platí téměř úplně i pro frézu čepovou. Uvedu proto pouze odlišnosti geometrie čepových fréz.



Obr. 7.10 Řezná geometrie tvarové čepové frézy

U kotoučových fréz byly základními úhly α_H a γ_H . U čepových fréz vycházíme při konstrukci od úhlů α_{BX} a γ_B v příčném směru (v boční rovině). Úhel hřbetu v rovině boční α_{BX} (α_{FX}) na boku zubu je možné vytvořit radiálním, osovým (axiálním) nebo šikmým podsoustružením. První dva způsoby nejsou nejvhodnější z následujících důvodů.

Při radiálním podtáčení se posouvá nůž kolmo k ose nástroje podle **obr. 7.11**. Pak se úhel α_{BX} (v libovolném bodě X na průměru d_{Xn}) vypočte ze známé rovnice pro zdvih vačky

$$\operatorname{tg} \alpha_{BX} = \frac{k z_n}{\pi d_{Xn}} \quad , \quad (7.26)$$

kde k je zdvih vačky a z_n počet zubů frézy. Úhel α_{BX} se proto mění se změnou průměru d_{Xn} . Na největším průměru je dvakrát až třikrát menší než na poloměru malém, což je z technologického hlediska nevhodné. Tvar profilu nástroje se během přestřování nemění, neboť tloušťka zubu se ve všech bodech profilu zmenšuje přibližně stejně. Avšak větším přísuvem nástroje k ose kola se vytváří chybná evolventa (s jinou základní kružnicí). Radiálního podtáčení se používá pro jeho jednoduchost u hrubovacích fréz.

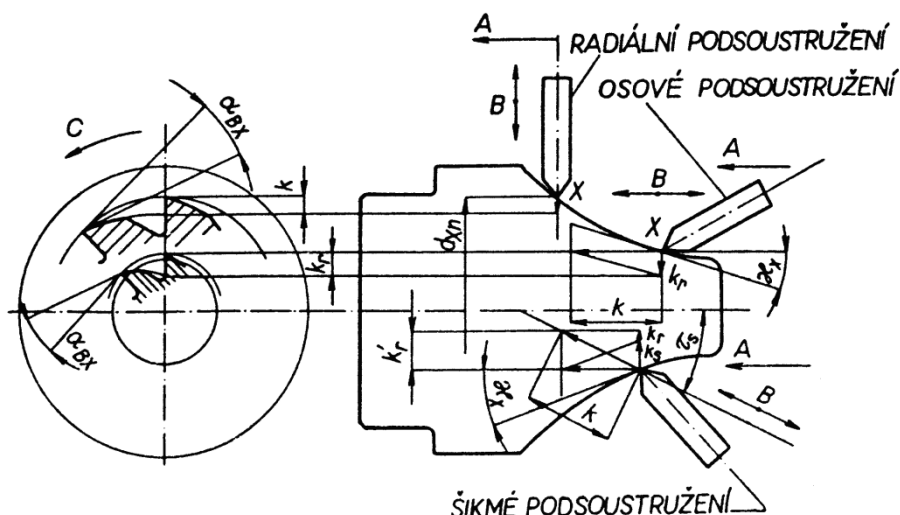
Při osovém (axiálním) podtáčení vychází v radiálním směru úhel α_{BX} daný rovnicí

$$\operatorname{tg} \alpha_{BX} = \frac{k_r z_n}{\pi d_{Xn}} \quad , \quad (7.27)$$

neboť k_r je radiální složka osového podsoustružení k . Vypočteme ji ze vztahu (**obr. 7.11**)

$$k_r = k \operatorname{tg} \kappa_r . \quad (7.28)$$

Vypočítáme-li praktický příklad, zjistíme, že i zde dochází k menším změnám v úhlu α_{BX} . Proto je osově podtáčení vhodné pouze pro zuby na hlavě frézy. Ostřením vzniká velká chyba v profilu evolventy, protože na hlavě zubu, kde je malé podsoustružení, odebíráme menší přídavek než na patě zubu, kde vzniká velké radiální podtočení.



Obr. 7.11 Možnosti podtáčení čepových fréz

Nejllepší výsledky získáme šikmým podsoustružením, které je kompromisem mezi dvěma předešlými případy. Při něm se suport posouvá podle šipky **A** (**obr. 7.11**) a nůž vykonává podsoustružovací pohyb v určitém úhlu τ_s k ose frézy (šipka **B**). Velikost úhlu hřbetu α_{BX} je proto dána součtem radiálních složek podtáčení od pohybu A a B,

$$\operatorname{tg} \alpha_{BX} = \frac{k'_r z_n}{\pi d_{Xn}} , \quad (7.29)$$

$$k'_r = k_r + k_s = k \sin \tau_s + k \operatorname{tg} \tau_s \cos \kappa_X , \quad (7.30)$$

pak

$$\operatorname{tg} \alpha_{BX} = \frac{k z_n (\sin \tau_s + \operatorname{tg} \tau_s \cos \kappa_X)}{\pi d_{Xn}} , \quad (7.31)$$

k je excentricita – zdvih použité podtáčecí vačky. Velikost hodnoty k volíme tak, aby na maximálním průměru byl úhel $\alpha_{BX} = 3$ až 6° .

Úhel τ_s volíme podle tvaru profilu frézy tak, aby vznikla minimální deformace a aby se úhel α_{BX} měnil v průměru o 2 až 5° . Nejčastěji je předepisován v rozmezí $\tau_s = 10$ až 15° .

Pro zjištění nejmenšího úhlu hřbetu v daném bodě profilu čepové frézy a tedy k provedení kontroly řezné geometrie tohoto nástroje určujeme podobně jako u frézy kotoučové hodnoty úhlu α_{BXn} , který vypočteme z rovnice

$$\operatorname{tg} \alpha_{BXn} = \operatorname{tg} \alpha_{BX} \cos \kappa_X , \quad (7.32)$$

kde úhel $\kappa_X = \alpha_X + \vartheta_X$ jako v rovnici (7.24).

Úhel čela γ_B navrhujeme u dokončovacích fréz zpravidla $\gamma_B = 0^\circ$. U hrubovacích fréz se doporučuje vybrušovat čelo pod úhlem $\gamma_B = 5$ až 10° .



Shrnutí pojmů

V této kapitole jste se dozvěděli, že profil čepové frézy se vypočítá podle stejných pravidel i vztahů jako profil frézy kotoučové.

Vzhledem k tomu, že čepové frézy nepodléhají normě, jsou v kapitole uvedeny základní parametry, které jsou pro konstrukci čepové frézy doporučené na základě dlouhodobých zkušeností.

Kontrola řezné geometrie se bude na rozdíl od frézy kotoučové lišit v závislosti na odlišné geometrii a podle způsobu podsoustružení čepové frézy.



Kontrolní otázky

1. Pro jaké typy ozubených kol se používají tvarové frézy čepové přednostně?
2. Proč potřebujeme pro výrobu každého jednotlivého ozubeného kola speciální čepovou frézu?
3. Jaké jsou možnosti realizace úhlů hřbetu u tvarových fréz čepových?



Úlohy k řešení

1. Jaké výchozí parametry ozubeného kola musíme znát pro výpočet profilu tvarové frézy čepové?
2. Jak se provede kontrola řezné geometrie u čepové frézy? Naznač matematický postup.
3. Čím se liší výpočet minimálního úhlu hřbetu na boku zubu u tvarové frézy čepové od výpočtu u frézy kotoučové?

8 NÁVRH KOTOUČOVÉ FRÉZY PRO KONKRÉTNÍ OZUBENÉ KOLO

Následující kapitola je věnována ukázce návrhu tvarové kotoučové frézy pro obrábění konkrétního čelního ozubeného kola. Může být chápána i jako průvodce programem, který je možno studentům zadat v rámci týmového cvičení z předmětu Speciální technologie. Studenti mohou pracovat společně na celém programu, nebo si mohou jednotlivé body programu rozdělit a pracovat samostatně. V závěru pak svou část projektu spojí s ostatními.



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Navrhnout tvarovou kotoučovou frézu a zpracovat příslušnou výkresovou dokumentaci.
-  Provést kontrolu geometrie břitu kotoučové tvarové frézy.
-  Stanovit jednotlivé kroky technologického postupu výroby této frézy včetně jejího ostření.



Výklad

Zadání programu může mít například tuto podobu:

Navrhněte a prokreslete kotoučovou pro zhotovení čelního ozubeného kola $m = xxx$, $z = xxx$, $\alpha = xxx$, $x = xxx$ dle výkresu xxxxxxxx. (každé zadání obsahuje výkres ozubeného kola, ze kterého jsou patrné všechny parametry potřebné pro realizaci programu)

Vypracujte:

1. Vypočtete profil nástroje.
2. Stanovte konstrukční parametry nástroje.
3. Proveďte kontrolu řezné geometrie.
4. Nakreslete úplný výkres nástroje.
5. Vypracujte výrobní postup daného nástroje.
6. Stanovte postup tepelného zpracování nástroje včetně diagramu.
7. Určete postup ostření nástroje.

Doporučená literatura: xxx

Provedení výkresů musí odpovídat platným normám ČSN.

Termín odevzdání: xxx

8.1 Výpočet profilu nástroje

8.1.1 Zadané hodnoty ozubeného kola

modul	$m = 6$
počet zubů ozubeného kola	$z = 61$
úhel záběru	$\alpha = 20^\circ$
jednotkové posunutí základního profilu	$x = -0,3 \text{ mm}$

8.1.2 Výpočet základních bodů profilu

Pro výpočet základních bodů profilu použijeme obr. 7.4.

Úhel ν_r :
$$\mathcal{G}_r = \frac{\pi}{2 \cdot z} = \frac{\pi}{2 \cdot 61} = 0,0257 \text{ rad}$$

Poloměr roztečné kružnice:

Poloměr hlavové kružnice:

$$r = \frac{m \cdot z}{2} = \frac{6 \cdot 61}{2} = 183 \text{ mm} \quad r_a = r + m + x \cdot m = 183 + 6 - 0,3 \cdot 6 = 187 \text{ mm}$$

Poloměr patní kružnice: $r_f = r - 1,25 \cdot m - x \cdot m = 183 - 1,25 \cdot 6 - 0,3 \cdot 6 = 173,7 \text{ mm}$

Poloměr základní kružnice: $r_b = r \cdot \cos \alpha = 183 \cdot \cos 20^\circ = 171,96 \text{ mm}$

Involuta úhlu α :
$$\text{inv} \alpha = \text{tg} \alpha - \hat{\alpha} = \text{tg} 20 - \frac{1}{9} \cdot \pi = 0,0149 \text{ rad}$$

Úhel ν_o :
$$\mathcal{G}_o = \mathcal{G}_r - \text{inv} \alpha = 0,0257 - 0,0149 = 0,0109 \text{ rad}$$

Korekce:
$$\hat{x} = \frac{2 \cdot x \cdot \text{tg} \alpha}{z} = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot \text{tg} 20}{61} = 0,00358 \text{ rad}$$

Výpočet jednotlivých bodů profilu je realizován v **tab. 8.1**. V následujícím textu je uveden výpočet pro poloměr $r_x = 180 \text{ mm}$ [9].

Úhel záběru α_x :
$$\cos \alpha_x = \frac{r_b}{r_x} = \frac{171,964}{180}; \quad \alpha_x = 17,185^\circ \Rightarrow \hat{\alpha}_x = 0,2999 \text{ rad}$$

Involuta úhlu α_x :
$$\text{inv} \alpha_x = \text{tg} \alpha_x - \hat{\alpha}_x = \text{tg} 17,185 - 0,2999 = 0,009331 \text{ rad}$$

Úhel ν_x :
$$\mathcal{G}_x = \mathcal{G}_o + \text{inv} \alpha_x + \hat{x} = 0,0109 + 0,009331 + 0,00358; \quad \mathcal{G}_x = 0,0238 \text{ rad} \Rightarrow 1,3612^\circ$$

Souřadnice daného bodu:
$$x_x = r_x \cdot \sin \mathcal{G}_x = 180 \cdot \sin 1,3612 = 4,2758 \text{ mm}$$

$$y_x = (r_x \cdot \cos \mathcal{G}_x) - r_f = (180 \cdot \cos 1,3612) - 173,7 = 6,2492 \text{ mm}$$

8.2 Konstrukční parametry nástroje

Vedle výpočtu profilu je pro konstrukci nástroje nezbytné stanovit další parametry. Podle modulu s přihlédnutím k doporučeným hodnotám dle normy ČSN 22 2510 můžeme stanovit:

- vnější průměr frézy $D_A = 95j14 \Rightarrow R_A = 47,5 \text{ mm}$
- upínací průměr frézy $d_u = 32H7 \Rightarrow$ šířka drážky na pero $b = 10e7$
- počet zubů frézy $z_n = 12$ (volil jsem z tabulek podle modulu)

Z tabulek doporučených hodnot pro úhly hřbetu volíme úhel hřbetu na hlavě zubu $\alpha_H = 13^\circ$. Vzhledem k dokončovacímu charakteru frézování volíme pro úhel čela hodnotu $\gamma_H = 0^\circ$. Úhel sklonu ostří pak bude rovněž $\lambda_{BX} = 0^\circ$ (viz **obr. 7.8**).

8.2.1 Šířka S_{Fn} a výška h_{Fn} profilu nástroje

Úhel ϑ_r :
$$\vartheta_r = \frac{\pi}{2 \cdot z} = \frac{\pi}{2 \cdot 61} = 0,0257 \text{ rad}$$

Úhel záběru na hlavové kružnici kola α_a :

$$\cos \alpha_a = \frac{r_b}{r_a} = \frac{171,964}{187,2}; \quad \alpha_a = 23,29^\circ \Rightarrow \hat{\alpha} = 0,4066 \text{ rad}$$

Involuta úhlu α_a :
$$\text{inv} \alpha_a = \text{tg} \alpha_a - \hat{\alpha}_a = \text{tg} 23,29 - 0,4066 = 0,0239 \text{ rad}$$

Involuta úhlu α :
$$\text{inv} \alpha = \text{tg} \alpha - \hat{\alpha} = \text{tg} 20 - \frac{1}{9} \cdot \pi = 0,0149 \text{ rad}$$

Úhel ϑ_o :
$$\vartheta_o = \vartheta_r - \text{inv} \alpha = 0,0257 - 0,0149 = 0,0109 \text{ rad}$$

Úhel ϑ_a :
$$\vartheta_a = \vartheta_b + \text{inv} \alpha_a + \hat{\alpha} = 0,0109 + 0,0239 + 0,00358; \quad \vartheta_a = 0,03828 \text{ rad} \Rightarrow 2,19^\circ$$

Šířka zubové mezery S_h :
$$S_h = 2 \cdot r_a \cdot \sin \vartheta_a = 2 \cdot 187,2 \cdot \sin 2,19 = 14,3 \text{ mm}$$

Šířka zubové mezery S_{Fn} :
$$S_{Fn} = (1,1 \div 1,35) \cdot S_h = 1,26 \cdot 14,3 = 17,8 \text{ mm} \Rightarrow 18 \text{ mm}$$

Úhel záběru α_{Hf} :
$$\cos \alpha_{Hf} = \frac{r_b}{r_{Hf}} = \frac{171,964}{190,64}; \quad \alpha_{Hf} = 25,57^\circ \Rightarrow \hat{\alpha}_{Hf} = 0,446 \text{ rad}$$

Involuta úhlu α_{Hf} :
$$\text{inv} \alpha_{Hf} = \text{tg} \alpha_{Hf} - \hat{\alpha}_{Hf} = \text{tg} 25,57 - 0,446 = 0,033 \text{ rad}$$

Poloměr $r_{Hf} = Y'_x$, 22. řádek v tabulce 8.1.

Úhel ϑ_{Hf} :
$$\vartheta_{Hf} = \vartheta_o + \text{inv} \alpha_{Hf} + \hat{\alpha} = 0,0109 + 0,033 + 0,00358 = 0,04743 \text{ rad} \Rightarrow 2,7^\circ$$

Výška profilu frézy h_{Fn} :
$$h_{Fn} = (r_{Hf} \cdot \cos \vartheta_{Hf}) - r_f = (190,64 \cdot \cos 2,7) - 173,7 = 16,9 \text{ mm}$$

8.2.2 Velikost a tvar zubové mezery

Poloměr zaoblení paty zubu r_p : $r_p = k_{rp} \cdot m = 0,35 \cdot 6 = 2,1mm$

Úhlová rozteč zubů φ_z : $\varphi_z = \frac{360}{z_n} = \frac{360}{12} = 30^\circ$

Poloměr zaoblení přechodu zubu r_{fdn} :

$$r_{fdn} = \frac{\pi \cdot (d_{hn} - 2 \cdot 2,25 \cdot m)}{10 \cdot z_n} = \frac{\pi \cdot (95 - 2 \cdot 2,25 \cdot 6)}{10 \cdot 12} = 1,78mm \Rightarrow 2mm$$

Zdvih vačky pro podtáčecí soustruh k : $k = \frac{\pi \cdot d_{hn}}{z_n} \cdot \operatorname{tg} \alpha_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot 47,5}{12} \cdot \operatorname{tg} 13^\circ = 5,74 \approx 6mm$

Maximální hloubka zubové mezery – hloubka frézování:

$$h_n = h_{Fn} + k + r_{fdn} = 16,9 + 6 + 2 = 24,9mm \Rightarrow 25mm$$

Úhel rozevření zubové mezery lze volit podle použité vačky $\nu_{dn} = 22^\circ$. Úhel frézování na bocích zubů volíme $\tau_n = 30^\circ$. Souřadnice poloměru zaoblení paty zubu r_p lze zjistit graficky: $x_{Oz} = 0,937mm$, $y_{Oz} = 2,1mm$.

8.3 Kontrola řezné geometrie

Kontrola řezné geometrie pro jednotlivé body profilu boku zubu kotoučové frézy je provedena v tabulce 8.1. V následujícím textu uvádím postup výpočtu pro bod na poloměru $r_x = 180mm$.

Poloměr daného bodu na nástroji R_x : $R_x = R_A - y_x = \frac{d_h}{2} - y_x = 47,5 - 6,2492 = 41,2508mm$.

Poloměr kotoučové frézy můžeme označovat R_x jako v tabulce 8.1. V předchozím textu a také v obr. 7.7 byl označován průměr frézy d_{hn} .

Úhel hřbetu v rovině boční v uvažovaném bodě profilu nástroje α_{HX} :

$$\operatorname{tg} \alpha_{HX} = \frac{R_A}{R_x} \cdot \operatorname{tg} \alpha_H = \frac{47,5}{41,2508} \cdot \operatorname{tg} 13^\circ = 14,8874^\circ$$

Úhel nastavení κ_x : $\kappa_x = \alpha_x + \vartheta_x = 17,1853 + 1,3612 = 18,5465^\circ$

Úhel hřbetu v rovině normálové α_{BXn} :

$$\operatorname{tg} \alpha_{BXn} = \operatorname{tg} \alpha_{HX} \cdot \sin \kappa_x = \operatorname{tg} 14,8874^\circ \cdot \sin 18,5465^\circ = 4,8333^\circ$$

$$\alpha_{nx} \geq \alpha_{nxmin}$$

$$4,8333^\circ \geq 2^\circ \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

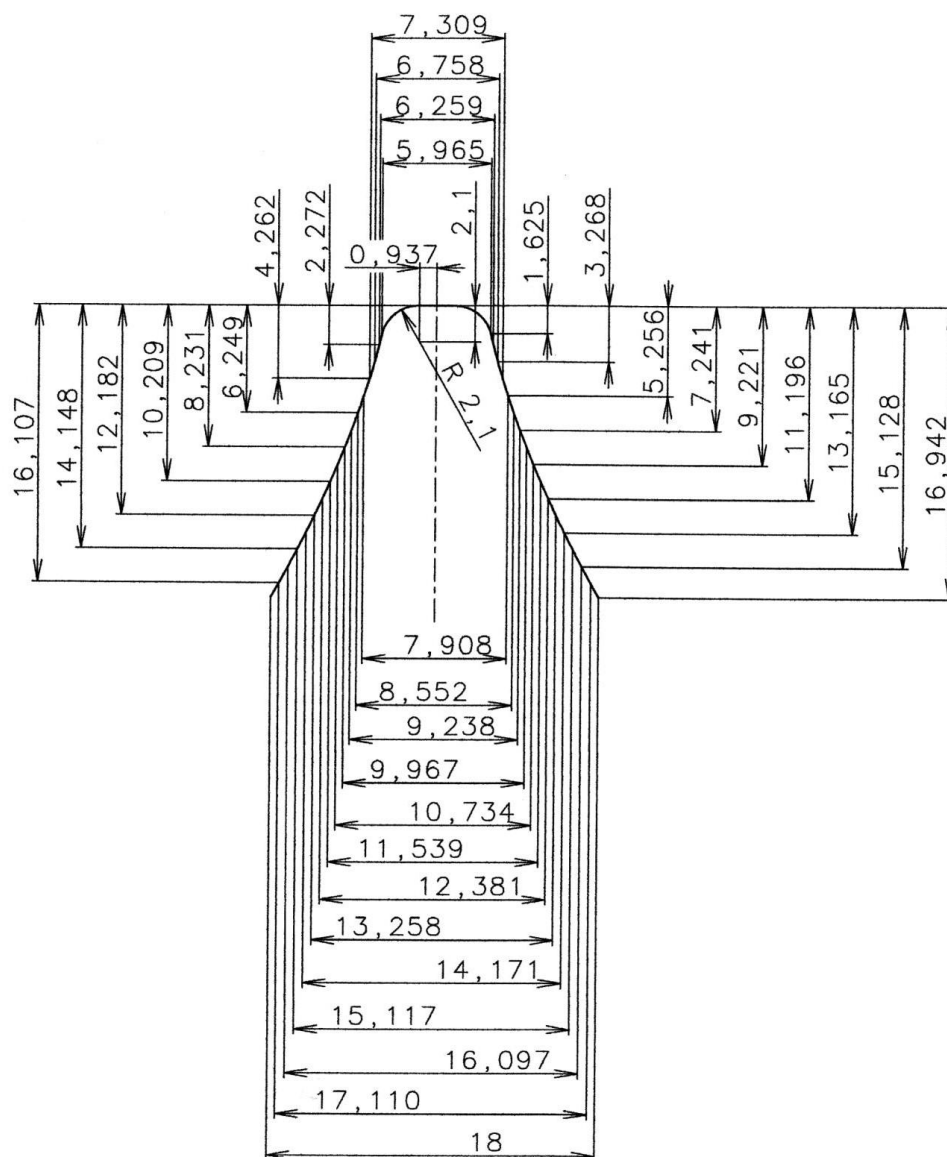
Tab. 8.1 Tabulka vypočtených hodnot souřadnic bodů profilu a úhlů pro kontrolu řezné geometrie

	r_x [mm]	α_x [°]	$\text{inv}\alpha_x$ [rad]	α_x [rad]	α_x [°]	x_x [mm]	y'_x [mm]	y_x [mm]	R_x [mm]	α_{HX} [°]	κ_x [°]	α_{BXn} [°]
1	171,9637	0	0	0,0144	0,8266	2,4807	171,9459	-1,7541	49,2541	12,5519	0,8266	0,1840
2	172,0	1,17635	0,000003	0,0144	0,8267	2,4818	171,9821	-1,7179	49,2179	12,5609	2,0031	0,4462
3	173,0	6,27428	0,000440	0,0149	0,8518	2,5718	172,9809	-0,7191	48,2191	12,8126	7,1261	1,6160
4	173,7206	8,15541	0,000969	0,0154	0,8821	2,6744	173,7000	0,0000	47,5000	13,0000	9,0375	2,0769
5	174,0	8,77411	0,001208	0,0156	0,8958	2,7203	173,9787	0,2787	47,2213	13,0741	9,6699	2,2339
6	175,0	10,6885	0,002195	0,0166	0,9523	2,9085	174,9758	1,2758	46,2242	13,3461	11,6408	2,7406
7	176,0	12,2943	0,003355	0,0178	1,0188	3,1294	175,9722	2,2722	45,2278	13,6293	13,3131	3,1957
8	177,0	13,7006	0,004664	0,0191	1,0938	3,3788	176,9677	3,2677	44,2323	13,9242	14,7944	3,6224
9	178,0	14,964	0,006105	0,0205	1,1763	3,6543	177,9625	4,2625	43,2375	14,2317	16,1403	4,0330
10	179,0	16,1181	0,007664	0,0221	1,2657	3,9538	178,9563	5,2563	42,2437	14,5525	17,3838	4,4349
11	180,0	17,1853	0,009331	0,0238	1,3612	4,2758	179,9492	6,2492	41,2508	14,8874	18,5465	4,8333
12	181,0	18,1809	0,011097	0,0255	1,4624	4,6193	180,9410	7,2410	40,2590	15,2373	19,6433	5,2319
13	182,0	19,1163	0,012957	0,0274	1,5690	4,9832	181,9318	8,2318	39,2682	15,6032	20,6853	5,6338
14	183,0	20	0,014904	0,0293	1,6805	5,3668	182,9213	9,2213	38,2787	15,9862	21,6805	6,0415
15	184,0	20,8387	0,016934	0,0314	1,7968	5,7693	183,9095	10,2095	37,2905	16,3874	22,6355	6,4573
16	185,0	21,6377	0,019040	0,0335	1,9175	6,1902	184,8964	11,1964	36,3036	16,8080	23,5552	6,8833
17	186,0	22,4015	0,021221	0,0356	2,0424	6,6290	185,8818	12,1818	5,3182	17,2495	24,4439	7,3215
18	187,0	23,1335	0,023471	0,0379	2,1714	7,0852	186,8657	13,1657	34,3343	17,7133	25,3048	7,7740
19	188,0	23,8367	0,025789	0,0402	2,3042	7,5585	187,8480	14,1480	33,3520	18,2010	26,1409	8,2428
20	189,0	24,5138	0,028171	0,0426	2,4406	8,0484	188,8286	15,1286	32,3714	18,7145	26,9545	8,7299
21	190,0	25,167	0,030614	0,0450	2,5806	8,5548	189,8073	16,1073	31,3927	19,2556	27,7476	9,2376
22	190,8542	25,7073	0,032748	0,0472	2,7029	9,0000	190,6419	16,9419	30,5581	19,7413	28,4102	9,6893

Na **obr. 8.1** je znázorněn vypočtený profil zubu kotoučové frézy, který je možno v příslušném měřítku vložit do výkresu celého nástroje – viz kapitola 8.4.

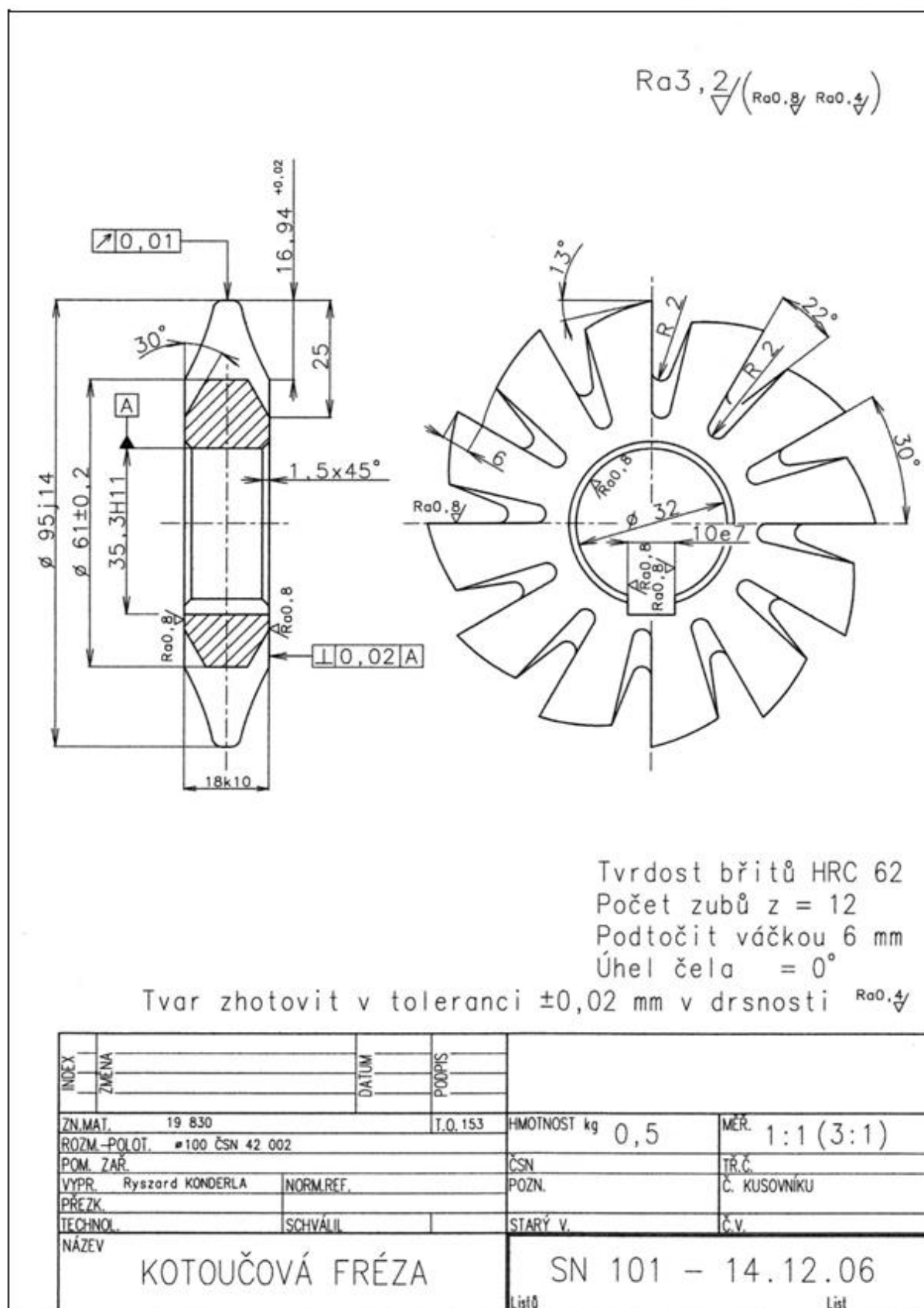
Profil nástroje

M 3:1



Obr. 8.1 Souřadnice profilu zubu frézy v jeho jednotlivých bodech

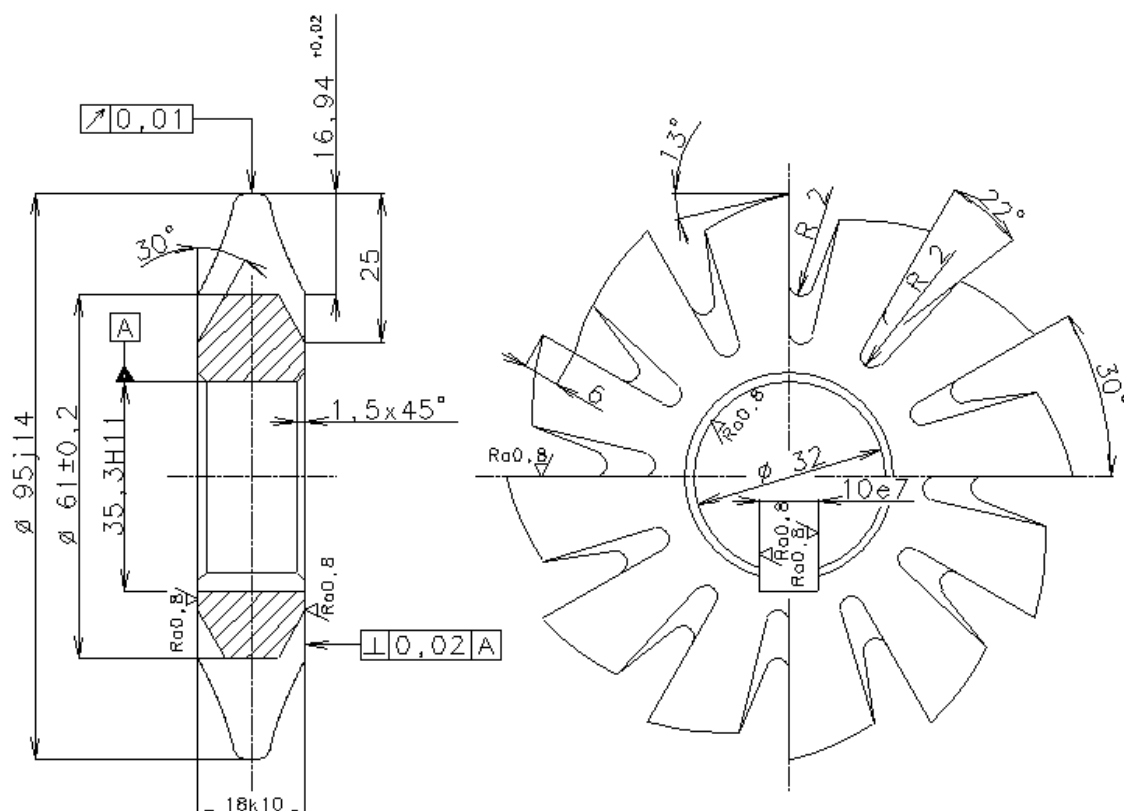
8.4 Výrobní výkres navržené tvarové kotoučové frézy



Obr. 8.2 Výkres kotoučové frézy

8.5 Technologický postup výroby tvarové kotoučové frézy

TECHNOLOGICKÝ POSTUP					Listů/List
					1/1
Sestava		č. sestavy	č. výkresu		
			SN 101-14.12.06		
Výrobek			Série	K/výr	Počet kusů
KOTOUČOVÁ TVAROVÁ FRÉZA				1	1
pos.	ks	Hmotn.	Rozměr polotovaru	Jakost materiálu	ČSN
	1		Ø 100 x 22	19830	



čís. oper.	Pracoviště	Popis práce:	Stroj, nástroj, měřidlo	Poznámka (v, f, a _p)
1	5963	Řezání	Pila kotoučová PK13A	
1.1		Řezat na délku l = 22 mm	Pilový kotouč s polohr. ozubením na kovy ČSN 22 2913	v=25 m/min

čís. oper.	Pracoviště	Popis práce:	Stroj, nástroj, měřidlo	Poznámka (v, f, a _p)
2	4129	Soustružení	SE 520 NUMERIC	
2.1		Upnout do sklíčidla za Ø100, zarovnat čelo	PCLNR/L 2525M12 CNMG 120416E-M posuvné měřítko	v=95 m/min f=0,2mm/ot a _p =1 mm
2.2		Soustružit Ø100 na Ø95 na délce 15mm	PCLNR/L 2525M12 CNMG 120416E-M posuvné měřítko	v=95 m/min f=0,2mm/ot a _p =2,5 mm
2.3		Otočit, upnout do sklíčidla za Ø95, zarovnat čelo	PCLNR/L 2525M12 CNMG 120416E-M posuvné měřítko	v=95 m/min f=0,2mm/ot a _p =1 mm
2.4		Soustružit Ø100 na Ø95 na délce 4 mm	PCLNR/L 2525 12 CNMG 120416E-M posuvné měřítko	v=95 m/min f=0,2mm/ot a _p =2,5 mm
3	4644	Vrtání	VR 4	
3.1		Vrtat průchozí díru Ø10	vrták 10 ČSN 22 11 40	v=25m/min f=0,1mm/ot
3.2		Vrtat průchozí díru Ø 30	vrták 30 ČSN 22 11 40	v=19m/min f=0,2mm/ot
3.3		Vystružit na Ø 32 H7	výstružník ČSN 22 14 02 kalibr A32 H7	v=5,5m/min f=0,01mm/ot
4	4129	Soustružení	SE 520 NUMERIC	
4.1		Upnout do sklíčidla za Ø95, srazit hranu 2x45° na Ø 32H7	PCLNR/L 2525M12 CNMG 120416E-M	v=95 m/min ručně
4.2		Srazit hranu na Ø 95 pod úhlem 18° na délce 16 mm	PCLNR/L 2525M12 CNMG 120416E-M	v=50 m/min f=0,2mm/ot
4.3		Otočit, upnout do sklíčidla za Ø 95, srazit hranu 2x45° na Ø32H7	PCLNR/L 2525M12 CNMG 120416E-M	v=95 m/min ručně
4.4		Srazit hranu na Ø 95 pod úhlem 18° na délce 16 mm	PCLNR/L 2525M12 CNMG 120416E-M	v=50 m/min f=0,2mm/ot
5	5860	Frézování	FA 2 H	
5.1		Upnout za otvor, frézovat 12 drážek do hloubky 16,94 mm	úhlová fréza D = 90 mm ČSN 22 22 40 dělička	v=24m/min f=0,1 mm/zub
5.2		Srazit hrany na obou stranách pod úhlem 30° do hloubky 25mm	úhlová fréza D = 90 mm ČSN 22 22 40 dělička	v=24m/min f=0,2 mm/zub

čís. oper.	Pracoviště	Popis práce:	Stroj, nástroj, měřidlo	Poznámka (v, f, a _p)
6	4129	Soustružení	DHU 225	
5.1		Podsoustružit zuby, zdvih váčky 6 mm	tvarový nůž vačka 90°	v=25m/min f=0,02mm/ot
7	4912	Obrázení	HOV 25	
7.1		Zhotovit drážku na pero na rozměr 35,3H11	obrážecí nůž ČSN 22 35 35 posuvné měřítko	v=25m/min f=0,3mm na zdvih
8	4129	Soustružení	SE 520NUMERIC	
8.1		Soustružit profil zubů	tvarový nůž	v=60m/min f=0,1mm/ot
9	1716	Kalení		
9.1		Kalit na tvrdost 62 HRC, kalit na teplotě (1190÷1230)°C		
9.2		Ochlazovat v solné lázni teplota (500÷550)°C		
9		Popouštění		
9.3		popouštět dvakrát na teplotě (550÷560)°C, mezi ochlazování na vzduchu		
9.4		popouštět na teplotě (530÷540)°C, ochladit na vzduchu		
9		Nitridování		
9.5		Nitridovat při teplotě 510 ÷ 530 °C		
10	5613	Broušení	BPH 20	
10.1		Brousit profil zubů frézy	tvarový brusný kotouč	v=15 m/s f=0,003mm/ot a _p =0,1 mm
10.2		Brousit čela zubů do hloubky 16,94 mm	brousící kotouč kuželový 541 51-1234.09	v=15 m/s f=0,003mm/ot a _p =0,1 mm

8.6 Postup tepelného zpracování frézy včetně diagramů

Kalení:

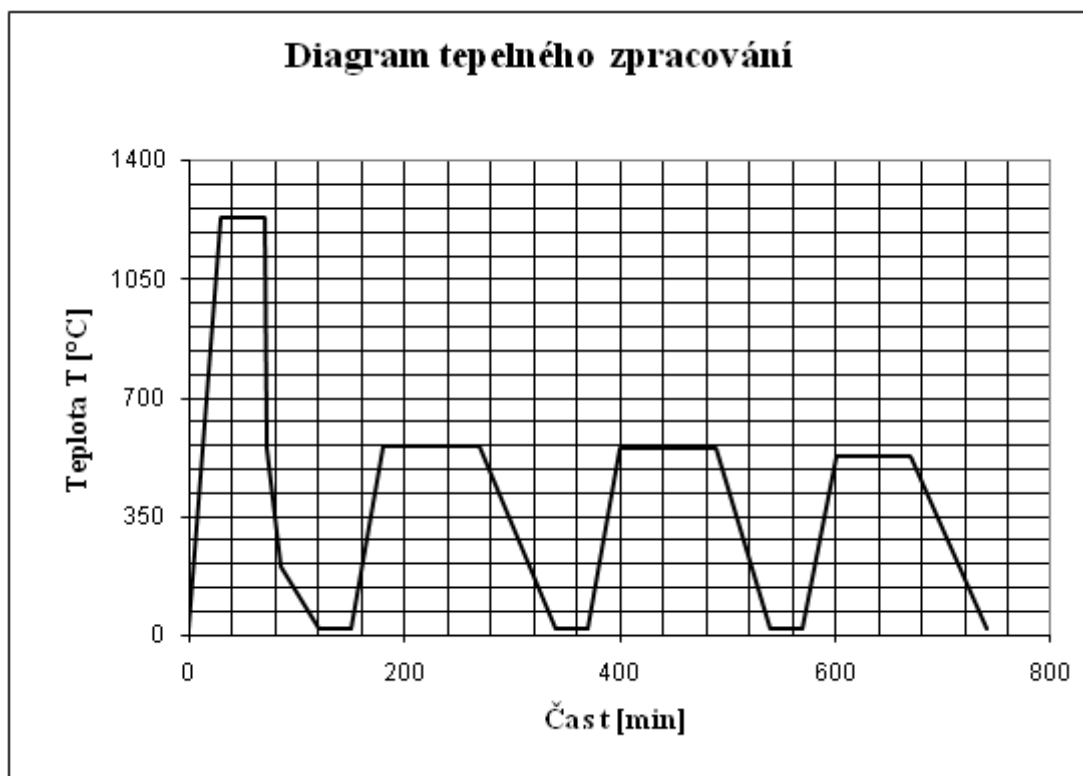
Protože jde o kotoučovou frézu na ozubení doporučuji ohřev při kalení na teplotu (1190÷1230)°C a pozvolné ochlazování v solné lázni, jejíž teplota bude 550°C. Následuje dochlazení na vzduchu. Popřípadě se může ochlazovat v oleji nebo na vzduchu.

Popouštění:

Popouštět se bude nejméně dvakrát. Při první popouštění bude ohřev na $(550 \div 560)^\circ\text{C}$ po dobu $(0,5 \div 2)$ hodin. Teplota druhého popouštění se volí o 10°C nižší než při prvním popouštění $\Rightarrow$ druhé popouštění bude za teplot $(540 \div 550)^\circ\text{C}$ po dobu $(0,5 \div 2)$ hodin.

Nitridování:

Pro zvýšení tvrdosti zubu frézy doporučuji nitridování. Teplota nitridování se volí o $(10 \div 20)^\circ\text{C}$ nižší než byla poslední popouštěcí teplota.



Obr. 8.3 Průběh tepelného zpracování rychlořezné oceli 19830 – kalení, 1. a 2. popouštění, nitridování

8.7 Postup ostření nástroje

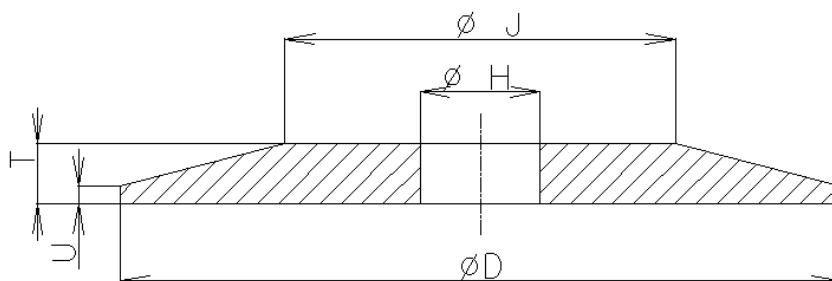
Fréza se bude ostřit pouze na čele, protože jsem zvolil úhel čela $\gamma_H = 0^\circ \Rightarrow$ při ostření se nebude měnit profil zubu frézy. Doporučuji použít brousící kotouč kuželový 541 od výrobce Karborundum Electaite a.s. Tento typ kotouče se používá pro broušení ozubení, závitů a nástrojů. Lze jím brousit ocelolitinu, oceli třídy 11 $\div$ 19 tepelně i jinak upravované, nástrojové oceli, HSS, tvrdokov a nerez.

Vyráběné rozměry tohoto typu kotouče:

$$\varnothing D = (60 \div 300) \text{ mm}$$

$$T = (5 \div 20) \text{ mm}$$

$$H = (10 \div 32) \text{ mm}$$



Obr. 8.4 Volba typu kotouče pro ostření frézy

Vyráběné kvality tohoto kotouče:

Druh brousícího materiálu 99BA, 99A, 98A, 96A, 99SA3, 98RA, 48C, 49C

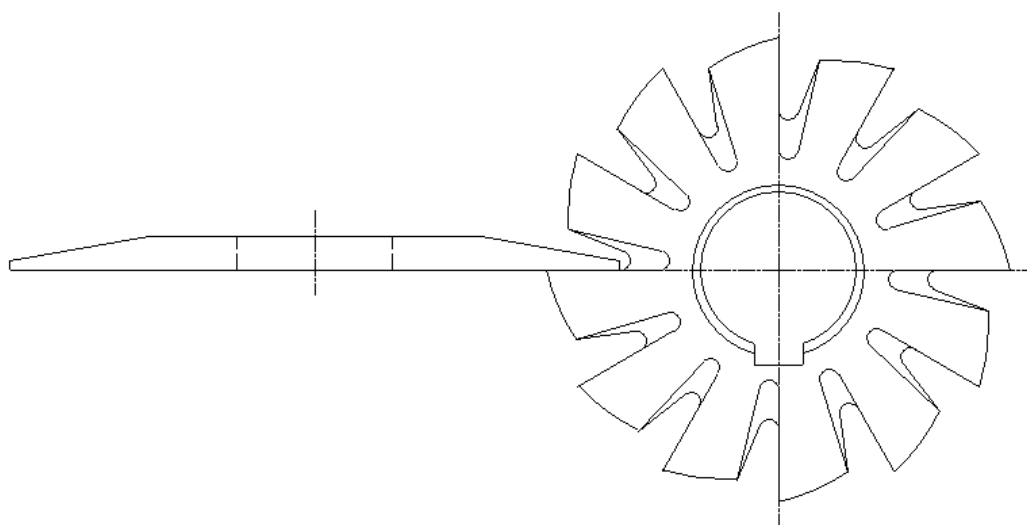
Zrnitost F 20 ÷ F 120

Tvrdost H ÷ P

Pojivo P, R

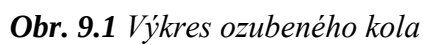
Struktura 4 ÷ 9

Pracovní rychlost do 40 m·s⁻¹



Obr. 8.5 Schéma ostření nástroje

1/2c/91/80/521





Další zdroje (Použitá a doporučená literatura k dalšímu studiu)

- [1] ADAMEC, J., TICHÁ, Š. *Návody k programování výukového systému EMCOTRONIC TM02-Frézování*. VŠB-TU Ostrava 1996, 64 s. ISBN 80-7078-301-X.
- [2] ADAMEC, J., TICHÁ, Š. *Programování CNC systému EMCOTRONIC TM02-Soustružení*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 105 s. ISBN 978-80-248-1915-0.
- [3] ADAMEC, J., SMOLKOVÁ, H. *Příklady programů pro číslicově řízené obráběcí stroje*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004, 72 s. ISBN 80-248-0250-3.
- [4] ADAMEC, J. *Programování CNC systému SINUMERIK 810D/840D – Frézování*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006, 148 s. ISBN 80-248-1136-7.
- [5] POPPEOVÁ,V., ČUBOŇOVÁ,N. *Programovanie CNC strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2000, 111 s. ISBN 80-7100-777-3,
- [6] MEDVECKÝ, Š., ČILLÍK, L., BARYSZ, I., ŽARNAY, M., HRČEKOVÁ? A., BRONČEK, J., KUČERA, L. *Základy konštruovania*. Žilina: EDIS Žilina, 1999, 599 s. ISBN 80-7100-547-9.
- [7] RŮŽIČKA, V. *Kontrola ozubených kol s úvodem do geometrického výpočtu ozubení*. Praha: SNTL Praha, 1957, 408 s.
- [8] ŠVEC, S. *Konstrukce nástrojů pro výrobu čelních ozubených kol*. Praha: SNTL Praha, 1965, 364 s.
- [9] KONDERLA, R. *Konstrukce a výroba nástrojů*. Seminární práce, VŠB-TU Ostrava, 2006, 18 s.
- [10] ČSN 01 4602-2 (014602). *Názvosloví ozubených převodů. Převody s čelními koly*. 1985.
- [11] ČSN 01 4602-3 (014602). *Názvosloví ozubených převodů. Převody s kuželovými koly*. 1989.
- [12] ČSN 01 4608 (014608). *Ozubená kola. Moduly*. 1980.
- [13] ČSN 014682 (014682). *Ozubené převody čelní. Lícování*. 1982.