



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA OZUBENÝCH KOL ODVALOVACÍM ZPŮSOBEM

PRODUCTION OF GEARS BY HOBGING

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Ivánek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Radim Ivánek</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2016/17

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

## Výroba ozubených kol odvalovacím způsobem

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části bude podrobně rozebrána technologie frézování, výroba ozubených kol a řezné materiály používané pro výrobu odvalovacích frézovacích nástrojů. Praktická část je zaměřena na porovnání výrobních časů a nákladů mezi nástrojem z rychlořezné oceli a nástrojem z VBD při sériové výrobě. Součástí práce bude technicko–ekonomické zhodnocení.

### Cíle bakalářské práce:

1. Charakteristika technologie frézování.
2. Charakteristika výroby ozubených kol.
3. Nástrojové materiály pro výrobu odvalovacích fréz.
4. Experimentální část.
5. Technicko–ekonomické zhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235s. ISBN 978-80-254-2250-2.

FREMUNT, P., KREJČÍK, J., PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003.  
ISBN 80-7204-283-1.

MATTOX, M. Handbook of Physical Vapour Deposition (PVD) Processing. 2. vyd. Albuquerque (USA):  
APR, 2010. 917 s. ISBN: 978-0-8155-2037-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Cílem této práce je porovnání nákladů a výrobních časů při výrobě ozubeného kola odvalovacím způsobem. Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na popis obráběcí metody při výrobě ozubených kol, jejich charakteristiku a materiály používané při tomto způsobu výroby. Praktická část práce porovnává náklady na výrobu ozubeného kola a výrobní čas za použití nástrojů z rychlořezné oceli s nástroji ze slinutých karbidů při sériové výrobě. Závěrem práce je vyhodnocení a zdůvodnění zjištěných a vypočítaných údajů.

### Klíčová slova

Ozubené kolo, frézování, odvalovací fréza, slinuté karbidy, rychlořezná ocel, břitová destička.

## ABSTRACT

The aim of this study is to compare the manufacturing costs and times of a gear hobbing process. The theoretical part of the thesis is aimed to describe the gears hobbing manufacturing process, their characteristics and this way used processing materials. The practical part of the thesis is comparing the manufacturing gear hobbing costs and machining times using high-speed steel tools to sintered carbides tools in line manufacturing. This study evaluates and rationalizes all the found and calculated data.

### Keywords

Gears, milling, hob, sintered carbides, high speed steel, cutting insert.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

IVÁNEK, Radim. *Výroba ozubených kol odvalovacím způsobem*. Brno 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 42 s. Vedoucí práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Výroba ozubených kol odvalovacím způsobem** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Radim Ivánek

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Také bych rád poděkoval firmě Novogear spol. s.r.o. za možnost provedení experimentální části. Dále bych rád poděkoval své rodině a blízkým za podporu, kterou mi po celou dobu studia poskytovali.

---

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ .....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	9
<b>1 CHARAKTERISTIKA FRÉZOVÁNÍ .....</b>	<b>10</b>
1.1 Princip a způsoby frézování .....	10
1.2 Řezné podmínky .....	11
1.2.1 Průřez třísky .....	12
1.2.2 Řezné síly .....	13
1.2.3 Jednotkový strojní čas.....	14
1.3 Nástroje pro frézování .....	15
1.3.1 Typy nástrojů .....	16
1.3.2 Volba nástroje .....	17
1.4 Frézovací stroje .....	17
1.4.1 Konzolové frézky.....	18
1.4.2 Stolové frézky .....	18
1.4.3 Rovinné frézky .....	18
1.5 Frézovací obráběcí centra.....	19
<b>2 CHARAKTERSTIKA OZUBENÝCH KOL .....</b>	<b>20</b>
2.1 Geometrické parametry ozubených kol .....	20
2.2 Základní rozdělení ozubených kol .....	21
2.2.1 Podle průběhu zubů.....	21
2.2.2 Podle vzájemné polohy os .....	21
2.2.3 Podle kinetických poměrů .....	22
2.3 Výroba ozubených kol dělicím způsobem .....	23
2.4 Výroba ozubených kol odvalovacím způsobem.....	24
2.4.1 Loupací odvalovací frézování .....	25
2.4.2 Typy odvalovacích fréz .....	25
2.5 Výroba ozubených kol obrážením .....	26
2.5.1 Obrázení hřebenovým nožem systém MAAG .....	26
2.5.2 Obrázení kotoučovým nožem systém Fellows .....	26
2.6 Protahování a ševingování ozubených kol .....	26
<b>3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU ODVALOVACÍCH FRÉZ .....</b>	<b>28</b>
3.1 Charakteristika rychlořezných ocelí.....	28
3.1.1 Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií .....	28

---

---

3.2 Charakteristika slinutých karbidů.....	29
3.2.1 Výroba slinutých karbidů.....	29
3.2.2 Rozdělení slinutých karbidů.....	30
3.3 Cermety.....	31
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	32
4.1 Výstupní údaje.....	32
4.2 Kalkulace nástrojů.....	35
4.3 Výpočty nákladů.....	36
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYODNOCENÍ.....	37
ZÁVĚR.....	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	41



## ÚVOD

První zmínka o ozubených kolech je známá již od starověku, kdy byla vyráběna ručně, především ze dřeva, např. v mlýnech a na lodích. Ozubená kola mají i v současnosti velký vliv na vývoj a činnost ve strojírenském průmyslu. Slouží především k přenosu mechanické energie z jednoho hřídele na jiný hřídel. Výroba ozubení je velice složitá a náročná na přesnost geometrie. Jeden ze způsobů výroby je odvalovací frézování, které patří k progresivním způsobům výroby. Oproti dělicímu způsobu daleko přesnější. V práci jsou také charakterizovány dokončovací způsoby výroby, které jsou nedílnou součástí výroby.

V práci je popsána obráběcí metoda frézování, nástroje a stroje k tomu určené. V další části jsou charakterizována ozubená kola a způsoby jejich výroby. Součástí práce je popis nástrojových materiálů. Praktická část je zaměřena na porovnávání výrobních časů a nákladů při sériové výrobě ozubených kol odvalovacím způsobem mezi nástrojem s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu a nástroje z rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií. Experiment byl prováděn ve firmě Novogear spol. s.r.o., která se zabývá výrobou ozubených kol.

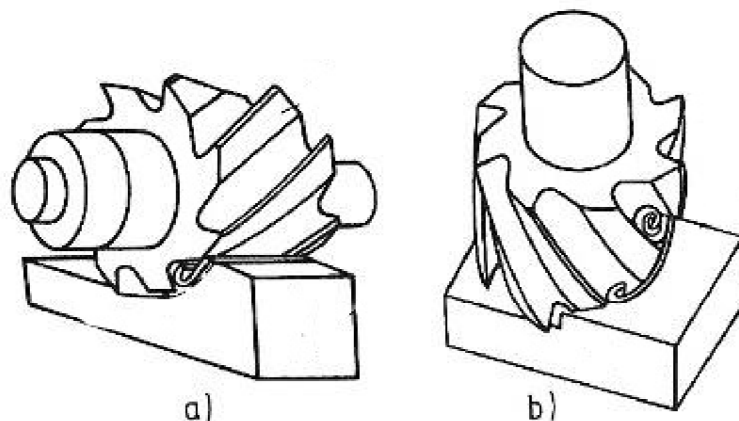
## 1 CHARAKTERISTIKA FRÉZOVÁNÍ

V této oblasti je podrobně rozebráno jedno z nejrozšířenějších obrábění. Autor se zaměřuje na tuto technologii z důvodu pozdější výroby ozubeného kola právě na frézce. Dále jsou rozebrány nástroje a stroje pro tuto metodu obrábění. A nakonec je popisován kinematický rozbor celého procesu.

### 1.1 Princip a způsoby frézování

Frézováním je možno obrábět vnější i vnitřní plochy různých složitějších tvarů jako např. drážky, ozubená kola nebo závity. U tohoto způsobu obrábění koná hlavní pohyb nástroj, který je rotační a vedlejší pohyb koná obrobek, který je přímočarý posuvný. Řezný proces frézy je přerušovaný, každý zub odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. V dnešní době jde o velmi rozšířený způsob obrábění. Nástroj se při obrábění pohybuje po cykloidě. Z hlediska technologie se frézování dělí na válcové a čelní [1,2].

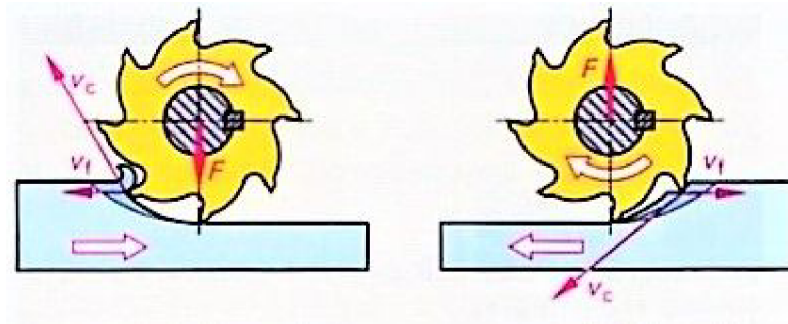
Při **válcovém** frézování jsou zuby vytvořeny pouze na obvodu frézy. Kolmo na osu nástroje a na směr posuvu se nastavuje hloubka řezu. Tato metoda je využívána při práci s tvarovými a válcovými frézami. Schéma válcového i toho frézování je možné vidět na obr. 1.1 [1].



Obr. 1.1 Válcového a čelní frézování [16].

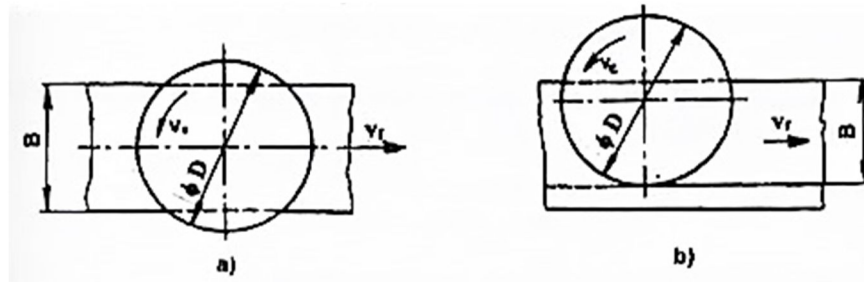
Frézování je možné rozlišit ještě z pohledu pohybu obráběcího procesu, a to na frézování sousledné a nesousledné. U **nesousledného** frézování se nástroj otáčí proti směru otáčení obrobku. Průřez třísky se postupně mění z minimální tloušťky do maximální tloušťky. Tento typ frézování je výhodný při hrubovacím procesu, kdy se tříska obráběného materiálu ubírá ve větší míře. Na začátku řezu břit zubu klouže po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Proto vznikají deformace, které zapříčiní zvýšení opotřebení břitu [1,3].

Z obr. 1.2 je vidět, že při **sousledném** frézování se nástroj otáčí ve směru otáčení obrobku. Při vnikání zubů nástroje do obrobku vzniká maximální tloušťka, která se postupně mění v tloušťku minimální. Na konci záběru se vytvoří obrobená plocha, která má u tohoto typu menší drsnost povrchu. Velká výhoda je v trvanlivosti břitu, přičemž je možnost použít vyšších řezných podmínek. Není zapotřebí aplikovat velké a složité upínací přípravky, jelikož řezná síla přitlačuje obrobek na opěrnou plochu. Ilustrační příklad znázorňuje obr. 1.2 [2,3].



Obr. 1.2 Frézování nesousledné a sousledné [17].

U **čelního** frézování jsou na čelní ploše nástroje i obvodu vytvořeny břity. Při této metodě pracuje nástroj jak sousledně, tak i nesousledně. Oproti frézování válcovými frézami je tato metoda daleko výkonnější, protože při procesu zabírá více zubů současně. To umožňuje větší posuv stolu. Frézování je možné dále rozdělit na symetrické a nesymetrické podle polohy osy frézy vzhledem k ose obrobku. Na obr. 1.3 vlevo je vidět, že u symetrického středem obráběné plochy prochází osa nástroje, zato u nesymetrického je osa nástroje mimo střed obráběné plochy [2,3].



Obr. 1.3 Symetrické a nesymetrické frézování [2].

## 1.2 Řezné podmínky

Řezná rychlost nástroje je definována vztahem (1.1) [8].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.1)$$

Dále je možné určit rychlost, kterou koná obrobek (1.2) [8].

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.2)$$

Ve skalárním vyjádření se udává vektorový součet efektivního výsledného pohybu (1.3) [8].

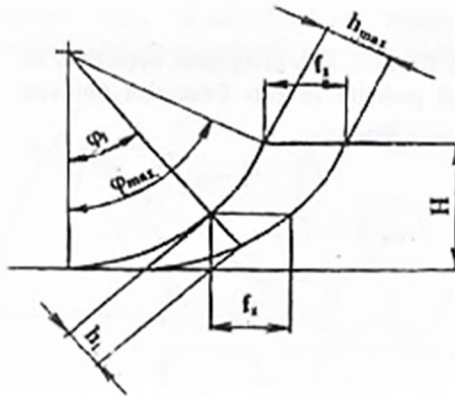
$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.3)$$

kde:  $v_c$  [m · min<sup>-1</sup>] - řezná rychlost,  
 $D$  [mm] - průměr obrobku,  
 $n$  [min<sup>-1</sup>] - otáčky obrobku,

$v_f$ [mm.min <sup>-1</sup> ]	-	posuvová rychlost,
$z$ [-]	-	počet zubů,
$f_z$ [mm]	-	hodnota posuvu na zub.

### 1.2.1 Průřez třísky

Stanovení průřezu třísky závisí na způsobu frézování. Silové zatížení ani průřez třísky není konstantní. Navíc více břitů frézy může být v záběru současně. Tříska je dělená, a proto je záběr břitů periodicky přerušovaný [2,8].



Obr. 1.4 Změna jmenovité tloušťky třísky při průchodu zubu válcové frézy materiálem [2].

Podle obr. 1.4 se jmenovitá tloušťka třísky u válcového frézování určí vztahem (1.4) [2].

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm]} \quad (1.4)$$

V závislosti na poloze řešeného zubu se u fréz s přímými zuby mění úhel posuvového pohybu  $\varphi$ . U nástrojů se zuby šikmými nebo zuby ve šroubovici se mění úhel  $\varphi_i$  také podél příslušného ostří. Maximální hodnotu jmenovité tloušťky třísky lze stanovit vztahem (1.5) [2].

$$h_{\max} = f_z \cdot \sin \varphi_{\max} = f_z \cdot \frac{2}{D} \sqrt{DH - H^2} \text{ [mm]} \quad (1.5)$$

Pro jmenovitý průřez třísky pro  $i$ -tý zub platí vztah (1.6) [2].

$$A_{Di} = h_i \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm]} \quad (1.6)$$

Pro válcovou plochu s přímými zuby je šířka obráběné plochy rovna šířce záběru ostří  $a_p$ , odkud se vyjádří vztah pro maximální hodnotu jmenovitého průřezu třísky (1.7) [2].

$$A_{\max} = h_{\max} \cdot a_p = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{\max} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1.7)$$

Na obr. 1.5 je zobrazen záběr čelní frézy do obrobku. Jmenovitá tloušťka třísky se určí vztahem (1.8) [2].

$$h_i = f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_i \text{ [mm]} \quad (1.8)$$

Pro úhel  $K_r$  je jmenovitá šířka třísky  $b$  pro libovolné  $\varphi$  konstantní, vyjádřeno vztahem (1.9) [2].

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} [\text{mm}] \quad (1.9)$$

Pro  $i$ -tý zub je jmenovitý průřez třísky dán vztahem (1.10) [2].

$$A_{Di} = h_i \cdot b = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_i [\text{mm}] \quad (1.10)$$

Při  $\varphi=0$  je maximální velikost jmenovitého průřezu třísky rovna (1.11) [2].

$$A_{D\max} = f_z \cdot a_p [\text{mm}] \quad (1.11)$$

kde:  $f_z$  [mm] - posuv na zub,  
 $\varphi_i$  [°] - úhel posuvového pohybu,  
 $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří,  
 $K_r$  [°] - úhel nastavení hlavního ostří.

### 1.2.2 Řezné síly

Při specifikaci řezných sil se vychází ze silových poměrů na jednom břitu nacházejícím se v poloze určeném úhlem  $\varphi$ . Na základě měrné řezné síly  $k_{ci}$  a průměru třísky  $A_{Di}$  se řezná síla stanoví jako (1.12) [2,4].

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i [\text{N}] \quad (1.12)$$

Z toho měrnou řeznou sílu je možné stanovit rovnicí (1.13).

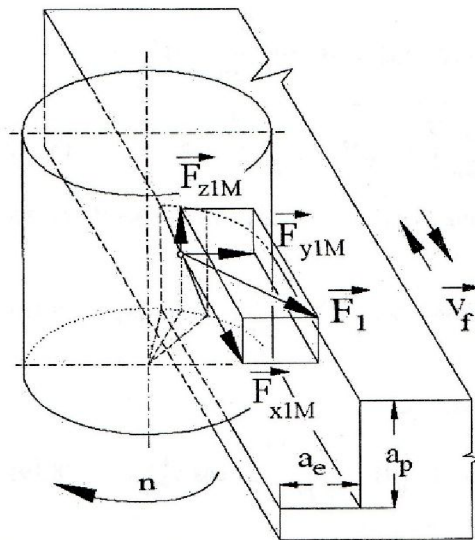
$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} [\text{N/mm}^2] \quad (1.13)$$

Po dosazení do tohoto vzorce a následné úpravě vyjde vzorec (1.14).

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i [\text{N}] \quad (1.14)$$

kde:  $f_z$  [mm] - posuv na zub,  
 $\varphi_i$  [°] - úhel posuvového pohybu,  
 $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří,  
 $x$  [-] - exponent vlivu tloušťky třísky  
 $C_{Fc}$  [-] - konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu.

Obdobně se postupuje u frézování čelního, zobrazeno na obr. 1.5. Ze vzorce (1.12) je nejprve dosažená měrná řezná síla  $k_{ci}$  a poté se vyjádří vztah pro celkovou řeznou sílu. Výsledné síly ovšem závisí na počtu zubů v záběru a také na poloze zubů frézy vzhledem k obrobku, jelikož při obrábění je v záběru několik zubů současně [2,8].



Obr. 1.5 Silové zatížení zubu frézy při čelním frézování [8].

Dle známé celkové řezné síly se stanoví řezný výkon  $P_c$  (1.15) [2].

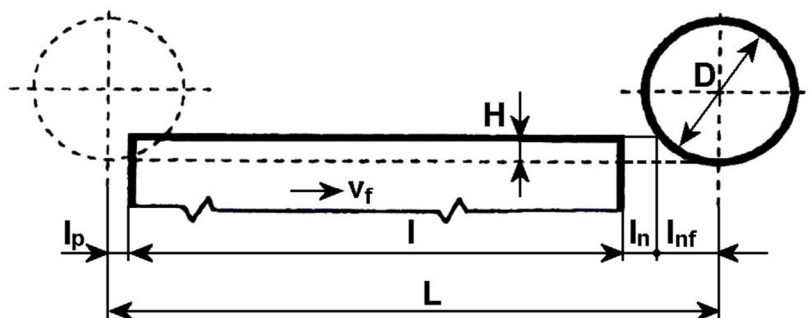
$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 10^6} [\text{W}] \quad (1.15)$$

### 1.2.3 Jednotkový strojní čas

Obecně je z posuvu nástroje získán jednotkový strojní čas, který je zapsán rovnicí (1.16) [2].

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} [\text{min}] \quad (1.16)$$

Hodnoty jednotkové strojního času pro základní případy frézování jsou zobrazeny na obr. 1.6.



Obr. 1.6 Dráha frézy pro válcové frézování [2].

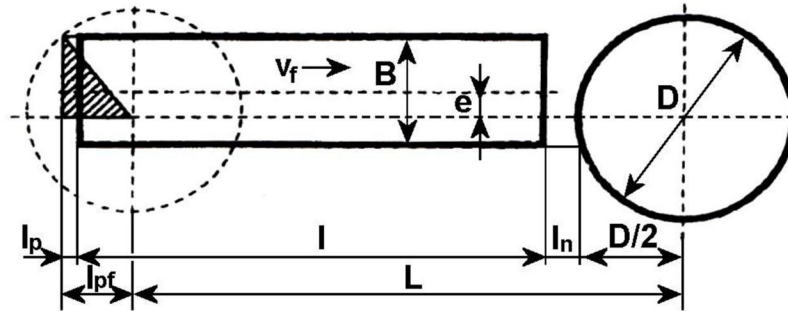
U válcového frézování je celková dráha frézy dána součtem délky obrobku, délky náběhu a přeběhu a také délky  $l_{nf}$  (1.17) [2].

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} \text{ [mm]} \quad (1.17)$$

Hodnota vzdálenosti od osy nástroje po začátek náběhu se získá ze vztahu (1.18).

$$l_{nf} = \sqrt{H(D-H)} \text{ [mm]} \quad (1.18)$$

Dráha u čelního asymetrického obrábění se zapíše obdobně jako u válcového. Jednotlivé členy potřebné ve vztahu (1.19) udává obr. 1.7 [2].



Obr. 1.7 Dráha frézy pro hrubé čelní frézování asymetrické [2].

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} \text{ [mm]} \quad (1.19)$$

Pro čelní asymetrické frézování na čisto platí vztah (1.20) [2].

$$L = l + l_n + l_p + D \text{ [mm]} \quad (1.20)$$

Hodnota  $l_{pf}$  udává délku konce přeběhu od osy nástroje, vyjádřeno rovnicí (1.21) [2].

$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} \text{ [mm]} \quad (1.21)$$

- kde: L [mm] - celková dráha nástroje ve směru posuvu,  
 $l_n$  [mm] - délka náběhu frézy,  
 $l_p$  [mm] - délka přeběhu frézy,  
H [mm] - tloušťka odebrané vrstvy.

### 1.3 Nástroje pro frézování

V současnosti se pro tento druh obrábění používá mnoho typů fréz. Důvodem je rozsáhlá technologie frézování a také víceúčelové uplatnění frézování ve strojírenské výrobě. Nástroje je možné třídit do jednotlivých kategorií podle odlišných technologických uplatnění [2].

### 1.3.1 Typy nástrojů

#### Podle umístění zubů

U umístění na válcové ploše jsou umístěny zuby na tělese nástroje. Dalším typem je umístění čelní, kde jsou zuby umístěny na čelní ploše. Z důvodů rychlejšího procesu obrábění je možné spojit tyto dva způsoby zároveň. Umístění zubů je na válcové i čelní ploše. Tento typ je využíván u kotoučových fréz [1,2].

#### Podle nástrojového materiálu zubů

V současnosti se rozlišují nástroje z rychlořezných ocelí a slinutých karbidů. Dále se také používají nástroje z řezné keramiky, kubického nitridu bóru nebo diamantu. U fréz z rychlořezných ocelí je velkou výhodou snadné ostření nástroje, nízká pořizovací cena a také jednoduchost výroby. Nástroje z HSS se zhotovují z válcovaného nebo kovaného materiálu. Dále se mohou lít metodou vytavitelného modelu [2,11].

#### Podle provedení zubů

Nástroj se rozeznává na frézy s frézovanými zuby a frézy s podsoustruženými zuby. Vyfrézované tvary zubových mezer mají frézy s frézovanými zuby, které se ostří na hřbetě nástroje a tím se mění profil zubů. Rovinné plochy jsou tvořeny čelem i hřbetem zubů. Hřbetní plocha mající podsoustružené zuby je vytvořena jako část Archimedovy spirály. Předností těchto zubů se skoro vůbec nemění profil po ostření na čele. Výroba těchto zubů je velice nákladná, a proto se jich využívá především u tvarových fréz. [1,2,15].



Obr. 1.8 Kotoučová modulová fréza. [18].

#### Podle směru zubů

Frézy s přímými zuby mají osu rotace rovnoběžnou s osou celého nástroje. U uspořádání zubů ve pravé nebo v levé šroubovici je plynulejší záběr díky většímu počtu zubů v záběru. Sklon šroubovice je obvykle 10 až 45°. Další výhodou je postupné vnikání zubu do záběru podél řezné délce frézy [2,15].

#### Podle počtu zubů

Pro klidný chod nástroje je zapotřebí alespoň dvou zubů v záběru současně. Jemnozubé nástroje jsou určeny pro obrábění na čisto. Pro středně velké úběry se využívají polohrubé nástroje a při hrubovacích procesech frézy hrubozubé [1,2].



### Podle konstrukčního uspořádání

Pokud jsou těleso a zuby vyrobeny z jednoho kusu, nazývají se celistvé nebo také monolitní. Ve většině případů jde o materiál z rychlořezné oceli. Frézy skládané jsou určeny pro obrábění složitých tvarových ploch a jsou poskládané z více samostatných fréz. V současnosti se velmi využívají nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami, např. ze slinutého karbidu nazývané také plátkové frézy. Destičky jsou mechanicky upevňovány v nástroji [1, 15].

### Podle způsobu upnutí

Nástrčné frézy jsou upínány za upínací otvor s drážkou pro pero, které přenáší krouticí moment. Nástroj je zobrazen na obr. 1.8. Frézy stopkové mají válcovou nebo kuželovou stopku. U kuželových se využívá nejčastěji Morse kužel a také ISO kužel [2, 15].

#### 1.3.2 Volba nástroje

Jelikož se jedná o poměrně drahé nástroje, je volba nástroje velmi důležitou součástí postupu u frézování. Nástroje jsou také důležité z hlediska jejich výkonnosti. Negativní důsledky na průběh opotřebení břitů je ovlivňováno cyklickým zatěžováním frézovacích hlav. V praxi se musí tento jev potlačovat volbou vhodné geometrie frézovací hlavy. Břity nástroje mohou být podle způsobu frézování s geometrií čela v rovině pozitivně-positivní, pozitivně-negativní nebo negativně-negativní [8].

Další způsob potlačení je volba vhodné rozteče frézovacích hlav. Podle rozteče se rozdělují na nástroje s velkou, malou, a zvláště malou roztečí. Frézy se zuby s nepravidelnou roztečí (obr. 1.9) nachází uplatnění u sklonu vzniku vibrací, kdy je tento jev třeba zastavit [8].



Obr. 1.9 Fréza se zuby s nerovnoměrnou roztečí a se zuby s velmi malou roztečí [19].

### 1.4 Frézovací stroje

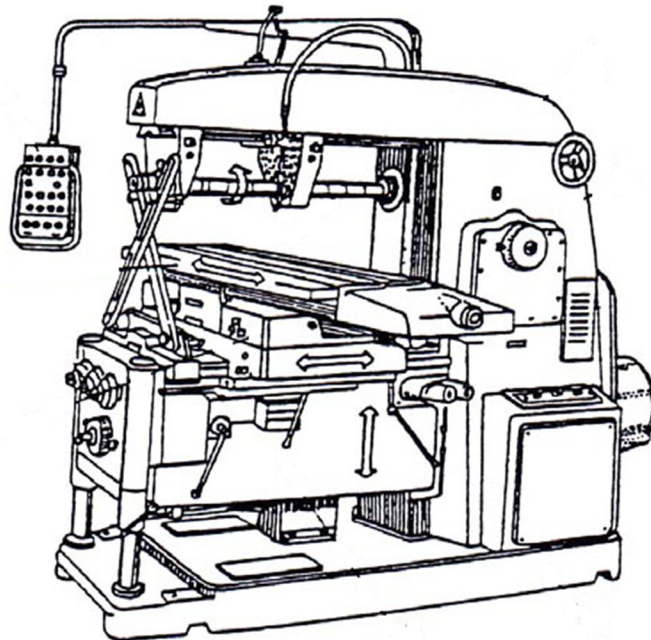
Rozměry frézek jsou určeny velikostí upínací plochy stolu. Vodorovné a svislé stroje jsou určovány podle polohy vřetena. Šířka upínací plochy stolu a velikost kužele ve vřetenu určuje velikost frézky. K nezbytným technickým parametrům patří maximální délka pohybu pracovního stolu nebo vřeteníku, výkon elektromotoru pro otáčení vřetena, rozsah otáček vřetena a posuvů. Rovněž také dosahovaná

kvalitativní kritéria u obrobených ploch. Podle účelu a konstrukce se rozdělují na konzolové, stolové, rovinné a speciální frézky [1,2].

#### 1.4.1 Konzolové frézky

Hlavním znakem těchto strojů je výškově přestavitelná konzola, která vykonává pohyb na stojanu. Příčný stůl ležící podélně na konzole je pohyblivý. Na něm jsou umístěny příčné saně kolmo na vodící plochu stojanu. Vzhledem k nástroji umožňuje frézka kombinaci pohybů ve všech třech osách. Ty se především používají v malosériové výrobě, které se vyrábějí ve třech základních variantách (vodorovné svislé, univerzální) [1,2,3].

**Vodorovné konzolové frézky** obrábějí převážně plochy rovnoběžné s upínací plochou stolu, tvarové plochy a drážky. Z obr. 1.10 je patrné, že osa pracovního vřetena je vodorovná a je rovnoběžná s plochou podélného stolu a také kolmá na směr pohybu stolu. Nejčastěji se na nich obrábí válcovými, kotoučovými a tvarovými nástroji [1,2].



Obr. 1.10 Vodorovná konzolová frézka [1].

**Svislé konzolové frézky** se vyznačují obráběním rovinných ploch rovnoběžných s upínací plochou stolu, frézování drážek a tvarových ploch. Nástroje používané na tomto stroji jsou čelní frézy upnuty na krátkém trnu, frézy s kuželovou stopkou nebo frézy s válcovou stopkou, která je upnuta do sklíčidla. U větších strojů se používají frézovací hlavy [1,2].

#### 1.4.2 Stolové frézky

Stolové frézky mají podélný a příčný stůl. Nemají konzolu a dělí se na vodorovné a svislé. Na strojích se mohou vyrábět velké a těžké součásti [1,2].

#### 1.4.3 Rovinné frézky

Tyto stroje jsou zařazovány mezi nejvýkonnější druhy frézek, masivní konstrukce umožňuje vyrábět nejtěžší obrobky. Využitelnost je především v malosériové

a kusové výrobě, avšak uplatňuje se taktéž v sériové výrobě. Stůl se pohybuje pouze v jednom směru, tudíž má pouze jeden stupeň volnosti. Výhodou je využitelnost většího počtu vřeteníku [1,2,3].

## 1.5 Frézovací obráběcí centra

CNC obráběcí centra jsou číslicově řízené stroje s univerzálním charakterem. Vyznačují se vysokým stupněm automatizace a jsou flexibilní vůči změnám výroby. V řídicím programu se předem připravují potřebná data pro řízení NC stroje ve formě řídicího programu. Jsou zaznamenána buď v paměti počítače nebo na nositeli informací, např. flash disk. Obráběcí centrum umí provést různé úkony při jednom upnutí obrobku, vyměnit a vybrat nástroje a nastavit vzájemnou polohu obrobku a nástroje. Rovněž umí různě měnit otáčky, posuvy a pomocné úkony v průběhu obráběcího procesu [2].

Frézovací obráběcí centrum se vyznačuje obráběním nerotačních součástí. Dělí se na centra s vertikální a horizontální osou vřetena, kde mají 3-5 multiprofesní stroje na obrábění. Předností obráběcích center jsou plynulá regulace rezných a posuvných rychlostí, vysoký rozsah, zakrytované a valivé vedení všech pohybů. Rovněž mají zásobníky nástrojů pro různé typy [2].

Nástroje se seřizují na speciálním seřizovacím stroji mimo obráběcí centrum. Optimální trvanlivost nástroje nepřesahuje, díky vysokým rezným rychlostem hodnotu 15 min. Mají reznou část vyrobenou z vysoce kvalitních nástrojových materiálů. Na obráběcích centrech jsou nástroje umístěny v zásobnících. Ty mohou být revolverové, deskové, bubnové, regálové nebo řetězové. Regulační zařízení umožňuje výměnu nástroje z vřetena do zásobníku a naopak [2].

## 2 CHARAKTERISTIKA OZUBENÝCH KOL

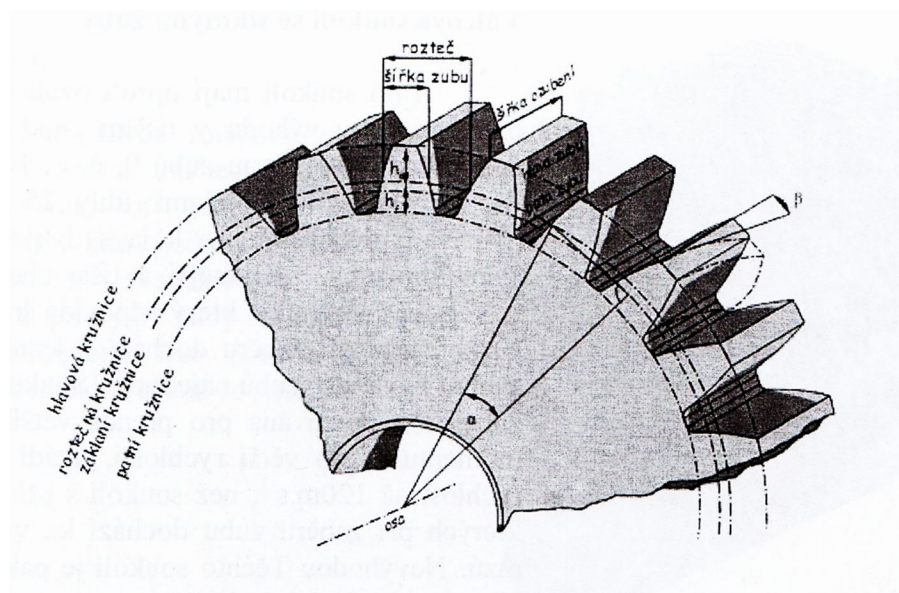
Ozubená kola tvoří soukolí ozubení, které se využívá ve všech odvětvích průmyslu. Zubené převody zajišťují přenos krouticího momentu, rotačního pohybu a rovněž převod rotačního pohybu na přímočarý a naopak. V kapitole jsou podrobně rozebrány způsoby výroby ozubení a jejich rozdělení [4].

### 2.1 Geometrické parametry ozubených kol

Základní mírou všech ozubených kol je modul  $m$ , který se vyznačuje jako poměr průměru roztečné kružnice a počtem zubů, vyjádřeno vztahem (2.1) [4].

$$m = \frac{d}{z} = \frac{p}{\pi} [\text{mm}] \quad (2.1)$$

Roztečná kružnice  $d$  rozděluje stejným dílem zub a mezeru. Na obr. 2.1 jsou zobrazené základní parametry ozubeného kola u evolventního ozubení.



Obr. 2.1 Evolventní ozubené kolo [4].

Ze vztahu pro rozteč (2.2) se stanoví tloušťka zubu, která je rovna polovině rozteče [4].

$$p = \pi \cdot m = \pi \cdot \frac{d}{z} [\text{mm}] \quad (2.2)$$

Délka přímé spojnice hřídelů dvou vzájemně zabírajících kol se nazývá roztečná osová vzdálenost, která je rovna součtu poloměrů roztečných kružnic. Vyjádřena vztahem (2.3) [4, 14].

$$a = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2} [\text{mm}] \quad (2.3)$$

Základní kružnice se vyjádří vztahem (2.4) [4].

$$d_b = d \cdot \cos\alpha = d \cdot r_b \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

Výška hlavy zubu  $h_a$  se rovná modulu a výška paty zubu  $h_f$  je rovna 1,25násobku modulu. Hlavová vůle se vyjádří jako 0,25násobku modulu. Průměr hlavové kružnice se vyjádří rovnicí (2.5) a průměr patní kružnice vztahem (2.6) [13].

$$d_a = d + 2 \cdot h_a \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

$$d_f = d + 2 \cdot h_f \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

kde:	$d$ [mm]	-	průměr roztečné kružnice,
	$p$ [mm]	-	rozteč ozubeného kola,
	$z$ [-]	-	počet zubů,
	$h_a$ [mm]	-	výška hlavy zubu,
	$h_f$ [mm]	-	výška paty zubu,
	$\alpha$ [°]	-	úhel záběru.

K nejčastějším využívaným profilům boku zubu patří evolventní ozubení, u kterého tvar boku odpovídá evolventě. Evolventa je křivka vznikající odvalováním přímky po jiné křivce. Dále jsou ozubení cykloidní, hypoidní, Wildhaber-Novikovo ozubení a žebrové, které se využívalo především v mlýnech [4].

## 2.2 Základní rozdělení ozubených kol

### 2.2.1 Podle průběhu zubů

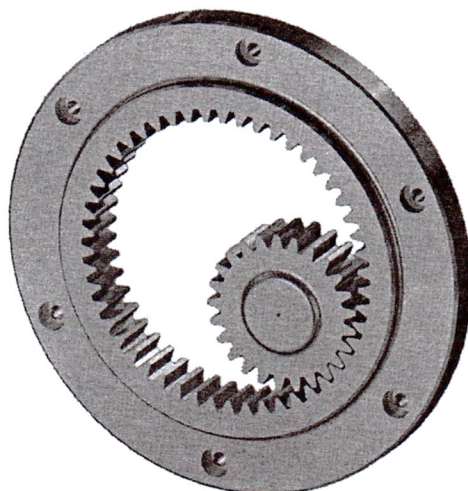
Mezi nejběžnější a nejjednodušší typ patří čelní ozubení s **přímými zuby**. Vzhledem k větším rázům při záběru zubu je doporučena maximální obvodová rychlost  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Přímka odpovídající dotykové oblasti je rovnoběžná s osami ozubených kol [4].

Při tišším chodu se využívá především čelní soukolí se **šikmými zuby**, jelikož tvar styčné křivky odpovídá šroubovici. Při záběru dochází ke kontaktu v jednom bodu. Tento typ soukolí je používán pro větší rychlosti, které činí až  $120 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dále je výhodou přenos větších krouticích momentů. Při problému vzniku osově síly je třeba kompenzace druhým ozubeným kolem s opačným sklonem šroubovice nebo přidáním odpovídajících ložisek [4].

U čelního soukolí se **šípovými zuby** je eliminován vznik nežádoucích osových sil. Kolo se zpravidla skládá ze dvou polovin s opačným koncem sklonem šroubovice, díky složitější výrobě [4].

### 2.2.2 Podle vzájemné polohy os

Ozubená kola s **rovnoběžnými osami** mají pastorek i kolo v rovnoběžných osách. Dále je možné tento typ rozdělit na soukolí s vnitřním a vnějším ozubením, ilustrováno na obr. 2.2. U vnějšího je možné tvar ozubeného kola dále rozdělit na náboj, vnitřní disk a věnec. Převodový poměr i vyjde záporně díky změně směru rotace [4].



Obr. 2.2 Soukolí s vnitřním ozubením [4].

U vnitřního ozubení zabírá menší ozubené kolo (pastorek) do většího. Směr otáčení je u obou kol stejný na rozdíl od uložení s vnějším ozubením. To znamená, že i převodový poměr musí vyjít kladně. Tvaru zubové mezery odpovídá tvar zubu vnitřního kola. Z tohoto důvodu tvar zajišťuje kontakt konkávní plochy zubu s vnitřním ozubením spolu s ozubením s plochou konvexní daného pastorku. Dále je zajištěna menší ztráta třením a také menší tlak v místě kontaktu. Toto soukolí je typické pro planetové mechanismy [4].

U **různoběžných os** je úhel obou kol libovolný, který nejčastěji bývá  $90^\circ$ . Oproti čelním soukolím je účinnost daleko menší. Řídící křivka kuželového kola s přímými zuby je radiální křivka. Směrem ke středu kola se zmenšuje výška zubu [4].

Ozubení s **mimoběžnými osami** se vyskytuje u šnekového soukolí, které je výhodné pro přenos velkého krouticího momentu u vysokých převodových poměrů (5:1 až 100:1), pouze zřídka [4].

### 2.2.3 Podle kinetických poměrů

Soukolí valivá nám zajišťují plynulé odvalování zubů. U soukolí šroubového se zuby o sebe otírají. Obr. 2.3 znázorňuje valivý pohyb a obr. 2.4 znázorňuje šroubovitý pohyb [4].



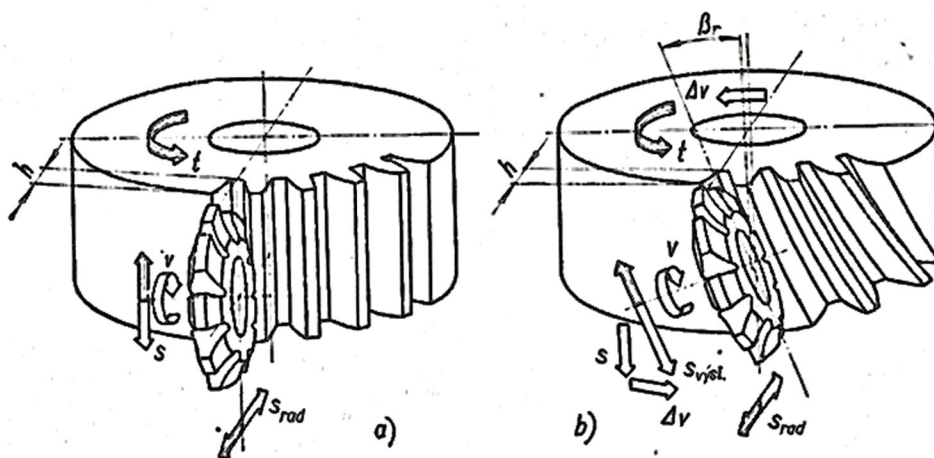
Obr. 2.3 Valivý pohyb ozubených kol [20].



Obr. 2.4 Šroubovitý pohyb ozubených kol [20].

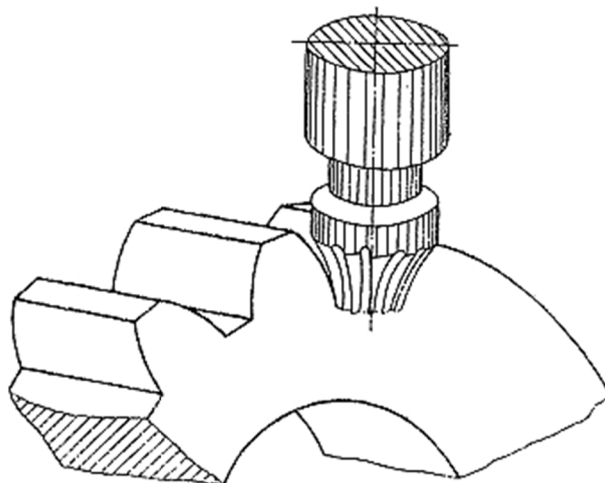
### 2.3 Výroba ozubených kol dělicím způsobem

Tato metoda patří k méně přesným metodám. Její využití je nejčastěji v kusové výrobě. Profilu zubové mezery odpovídá profil frézy. Pro určitý rozsah zubů se používá jeden nástroj, jelikož na počtu zubů obráběného kola závisí profil mezery pro daný modul. Po vyfrézování jedné mezery se obrobek pootočí o jednu rozteč a obrábí se druhá zubová mezera. Výroba zubové mezery kotoučovou frézou je zobrazena na obr. 2.5 [4,6].



Obr. 2.5 Výroba ozubeného kola dělicím způsobem kotoučovou frézou [21].

Profily zubových mezer ozubeného kola se vyrábějí pomocí **čepové** a **kotoučové** frézy, která je zobrazena na obr. 2.6. Výhodou čepových fréz je použití u velkých rozměrů ozubených kol s vysokými hodnotami modulu (až 75 mm). Tímto nástrojem lze vyrobit také šípové ozubení. Naopak u menších ozubení ( $m = 0,2\text{--}16$  mm) je obvyklejší použití fréz kotoučových. Malá přesnost a nízká výrobnost jsou velkou nevýhodou tohoto neplynulého obrábění, avšak jednoduchost a nízká pořizovací cena nástroje patří k přednostem tohoto frézování [2,4].



Obr. 2.6 Čepová modulová fréza [22].

## 2.4 Výroba ozubených kol odvalovacím způsobem

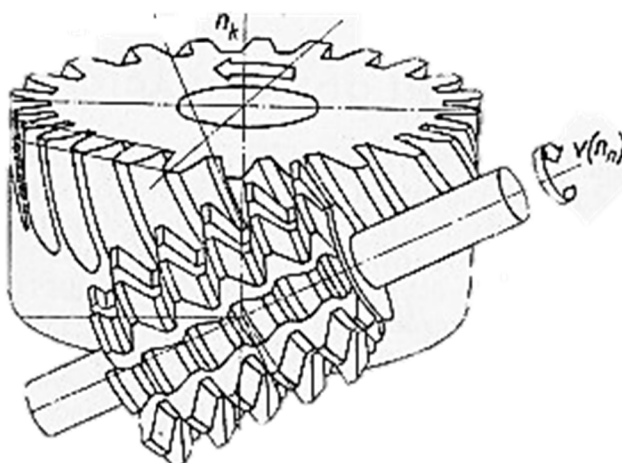
Odvalovací způsob výroby patří do nejdůležitější skupiny, který je používán při sériové výrobě evolventního ozubení. Nástroj, mající tvar evolventního šneku, se odvaluje po obvodě vznikajícího ozubení. Ozubení s libovolným počtem a sklonem zubů stejného modulu lze obrábět jednou frézou. Bok zubu je obalován každým břitem přímkového ostří odvalovací frézy. V sériové výrobě se využívá především axiálního odvalovacího frézování, kdy se odvalovací nástroj přesouvá podél osy vyráběného kola [2,4,10].

Při řezném pohybu se za jednu otáčku nástroje obrobek pootočí o jednu rozteč. Vznikající kolo vykonává při obrábění rotační pohyb kolem své osy, současně nástroj rotuje kolem své osy, a přitom se posouvá ve směru osy obrobku, jelikož je potřeba obrobit celou šířku ozubeného kola. Zubové mezery se u první otáčky vyfrézují částečně. Až po projetí odvalovací frézy celou šířkou ozubeného kola je proces dokončen. Posuv nástroje je závislý na řezné rychlosti frézy [1,4,10].

Boky zubů se tvoří jako obalové plochy jednotlivých poloh nástroje. Otáčení obrobku a nástroje odpovídá počtu zubů ozubeného kola a stoupání šneku nástroje. Na jednu otáčku vznikajícího kola vykoná nástroj tolik otáček, kolik má mít ozubené kolo zubů. Pokud má být ozubení vytvořeno po celém obvodu kola, musí se fréza pohybovat současně ve směru obráběných zubů. Sousedný způsob frézování je náročný na konstrukci stroje, ale umožňuje vyšší posuv a řeznou rychlost. Nástroj se posouvá zdola nahoru. Je používán také i nesousedný způsob frézování, při kterém se nástroj posouvá do záběru shora dolů [4,5,10].

Řízení těchto obráběcích procesů je velmi složité, a tak je zapotřebí mít potřebné znalosti a dovednosti v tomto oboru. Odvalovací způsob výroby zajišťuje stejnoměrnější rozteče a pravidelnější tvar boku zubů. Tím je zajištěna mnohem větší produktivita výroby než u dělicího způsobu. Tímto způsobem lze obrábět přímé a šikmé ozubení čelních kol, rovněž kola šneková. Ilustrační příklad odvalovacího frézování znázorňuje obr. 2.7 u výroby přímého a šikmého ozubení [4,10].





Obr. 2.7 Odvalovací způsob výroby šikmého ozubeného kola [23].

Stroje pro odvalovací způsob výroby umožňují obrábět vysokými řeznými podmínkami. U nástroje se řezná rychlost dosahuje až  $500 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Frézky zajišťují tepelnou stabilitu i při obrábění za sucha. [10].

#### 2.4.1 Loupací odvalovací frézování

Tento obrábění je dokončovací metoda odvalovacího frézování pro obrobení kalených boků zubů ozubení. Odlišnost této metody od dokončovacího odvalovacího frézování je v materiálu nástroje, geometrii zubů a technologickými podmínkami. Řezná rychlost se rovná obvodové rychlosti nástroje. Používá se především pro vyšší kvalitu u obrábění pastorkových hřídelí, ozubení spojek a kol pro stavební a zemědělské stroje. Využití nalézá také při broušení u dělicího způsobu a ševingování menších modulů při hrubovacích procesech [7, 10].

#### 2.4.2 Typy odvalovacích fréz

##### Monolitní ocelové frézy

Nástroje nazývané též celistvé jsou vyráběny z polotovarů. U rychlořezné oceli je to do průměru 500 mm a u SK je to do průměru 140 mm. V současnosti se monolitní nástroje povlakuji tvrdými materiály. Povlaky zajišťují lepší kvalitu ozubení, vyšší počet drážek pro obvod třísky a vysokou trvanlivost. Dále umožňují malé zatížení ostří díky dobrému utváření třísky [4, 10].

##### Odvalovací frézy s vyměnitelnými hřebeny

Jejich těleso je vyrobeno z konstrukčního materiálu a ozubené hřebeny z drahého a výkonného nástrojového materiálu. Důležitými vlastnostmi jsou vyšší délka frézovacích zubů a tím vyšší počet řezů, velký úhel hřbetu na bocích zubů z důvodu velkého úhlu hřbetu na hlavě. Dále potom velká tloušťka třísek na hlavě a vyšší posuvy. Do ohřátého základního tělesa jsou vlisovány hřebeny, které jsou uchopeny z obou stran kroužky [4, 10].

## Odvalovací frézy s vyměnitelnými destičkami

Stejně jako u hřebenových fréz je základní těleso nástroje cenově přijatelné. Konstrukce nástroje je mezi hodnotou 200–500 mm. Modul se většinou používá nad 15 mm. Destičky ze slinutých karbidů, které jsou přišroubované, je možné použít až 4x a přitom nepřeostřovat. Také u odvalovacích fréz ze SK a HSS-PM je možné obrábění za sucha [4,10].

## 2.5 Výroba ozubených kol obrážením

### 2.5.1 Obrázení hřebenovým nožem systém MAAG

Principem tohoto obrábění je souvislý záběr ozubeného hřebene s vznikajícím ozubeným kolem. Hřebenový nůž vykonává přímočarý vratný řezný pohyb, a zároveň je prováděn otáčivý a posuvný pohyb obrobku. Při procesu se nůž nastaví na hloubku zubu a postupně se vřezává do obrobku. Podle délky hřebenového nože se stanoví počet vyfrézovaných zubových mezer. Z hlediska tvaru, geometrie, výroby i ostření jsou hřebenové obrážecí nože nejjednodušší, avšak nejpřesnější. Také patří k poměrně levným nástrojům, i když má vysoké náklady na obrážecí stroj a dlouhý výrobní čas. Nástroj s jedním modulem je možné použít na výrobu kol s libovolným počtem zubů, s přímými i šikmými zuby [2].

### 2.5.2 Obrázení kotoučovým nožem systém Fellows

Obrobek se odvaluje s nástrojem současně, který má tvar stejný jako obráběné ozubené kolo. V horní úvrati dochází k pootočení kol. U tohoto způsobu obrázení odpadá nezbytnost příčného vratného posuvu, tzn. že tato metoda je jednodušší než metoda typu MAAG. Naopak z hlediska typu nástroje je přesnost relativně nízká. Tvar vodících ploch smýkadla u výroby šikmého ozubení je velkou nevýhodou, oproti vysoké produktivitě výroby.

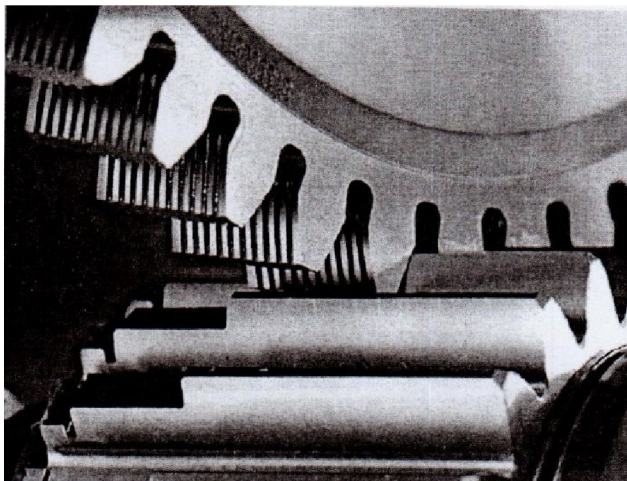
## 2.6 Protahování a švingování ozubených kol

**Protahováním** je možné vyrábět kola s přímými i šikmými zuby s vysokou produktivitou. Jestliže délka nepřesáhne 2,5x průměr kola, mohou se protahovat vnější i vnitřní tvary. U vnitřního ozubení je tento způsob výroby možný do velikosti o průměru 100 mm a velikostí modulu do 3 mm. Nástroj je vysoce nákladný, a proto bývá upřednostňován ve velkosériové a hromadné výrobě [1,2,10].

Princip této metody je obrábění profilu na jeden záběr. U větších profilů se musí protahovat ozubení po segmentech, oproti menším profilům, kde je možné protahovat na jeden záběr celé ozubení [1,2,10].

**Švingování** je dokončovací metoda výroby čelních ozubených kol. Zlepšování povrchu zubu je dosaženo odebíráním jemných třísek na bocích kola a tím se zlepšuje profil zubu a také jakost povrchu ozubení. Dále se při tomto procesu dosahuje menších úchylek v zubových roztečích. Švingovací kolo je nástroj hnací, zatímco hnaným kolem je vznikající kolo. U hnaného kola je využit brzdny efekt. Princip švingování je ilustrován na obr. 2.8. Proces je možné rozdělit na švingování: [1,2,10].

- a) Podélné – posuvový pohyb je rovnoběžný s osou pohybu kola,
- b) Diagonální – osa obráběného kola svírá se směrem posuvového pohybu úhel  $\delta$  ( $0^\circ < \delta < 90^\circ$ ),
- c) diagonálně příčné - ( $45^\circ < \delta < 90^\circ$ ),
- d) příčné ( $\delta = 90^\circ$ ),
- e) Zapichovací – nástroj koná radiální posuv).



Obr. 2.8 Princip ševingování ozubeného kola [4].

Obvodová rychlost nástroje i obrobku se pohybuje rychlostí 80–120 m.min<sup>-1</sup>. Obráběním se dosahuje hodnoty řezné rychlosti až 30 m.min<sup>-1</sup>. V současnosti se ševingování stále více nahrazuje broušením, kterým se odstraňují nedostatky po předchozím obrábění a vzniklé deformace po tepelném zpracování ozubení [1,2,10].

### 3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY PRO VÝROBU ODVALOVACÍCH FRÉZ

Nástrojové materiály se vybírají zejména podle provozních podmínek daných ozubených kol. Z důvodů svých výjimečných vlastností patří k nejčastěji zatíženým materiálům kovové materiály. Vyznačují se schopností tvořit slitiny, dobrou tažností, pevností a tepelnou vodivostí. U odvalovacího způsobu výroby ozubení patří stále k nejčastěji používaným materiálům nástroje z povlakovaných rychlořezných ocelí [1,2].

#### 3.1 Charakteristika rychlořezných ocelí

Samostatnou skupinou nástrojových ocelí jsou oceli rychlořezné. Vyznačující se především vysokou houževnatostí spojenou s dobrou tvrdostí. Ve své struktuře obsahují karbidové prvky W, Cr, V a nekarbidotvorný Co a obsah uhlíku obsahují zpravidla méně než 1 %. Z důvodu nízké pořizovací ceny jsou v dnešní době rychlořezné oceli stále velmi využívány. Řezná rychlost se pohybuje kolem  $30 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a nástroje z tohoto materiálu snesou teplotu břitu mezi 500 až 700 °C [1,2,11].

##### 3.1.1 Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií

Při výrobě rychlořezných ocelí práškovou metalurgií se tekutá ocel rozprašuje tryskami a následně se lisuje do polotovarů. K dobrým vlastnostem patří vylepšená houževnatost a stálost. Ve srovnání s klasickou rychlořeznou ocelí obsahují vyšší počet legur. Jemnost zrna a vyšší stupeň čistoty je další předností této metody výroby, stejně tak jako volnost usazování a rovnoměrné rozdělení karbidů. [2,5].

Tyto nástroje se většinou povlakuji metodou PVD pod 600 °C. Principem metody PVD je fyzikální napařování čistého kovu (Ti) za pomoci elektrického oblouku. Jejím předností je povlakování ostrých hran. Proces také může probíhat za nízkých teplot. Nevýhodou je nutnost pohybu předmětů z důvodů dokonalého povlakování celého povrchu. Povlak rychlořezné oceli ovlivňuje zvýšení trvanlivosti nástroje. Chemické složení rychlořezných ocelí je znázorněno v tab. 3.1 [1].

Tab. 3.1 Chemické složení rychlořezných ocelí [5].

Číslo mater.	Obchodní označení	Podíl jednotlivých prvků v %					
		C	Co	W	Mo	V	Cr
<b>Konvenčně taveno</b>							
1.3202	19858 (S23-1-4-5)	1,37	4,8	12	0,8	3,8	4,3
1.3207	19861 (S10-4-3-10)	1,27	10	9,5	3,5	3,5	4,3
1.3243	19852 (S6-5-2-5)	0,92	4,8	6,4	5	1,9	4,2
<b>Vyrobeno práškovou metalurgií</b>							
1.3344	ASP2023 (S6-5-3)	1,3	8	6,4	5	3,1	4,1
	ASP2030 (S6-5-3-9)	1,3	8,5	6,4	5	3,1	4,2
1.3241	S390PM (S11-2-5-8)	1,6	8	10,8	2	5	4,8
	ASP2080 (S11-5-6-16)	2,5	15,8	11,5	5,1	6,4	4,2

Nástroje do označení 19 830 se označují jako výkonné. Jejich hlavní předností je vysoká houževnatost, odolnost proti opotřebení a dobrá obrusitelnost. Využitelnost má u jemného obrábění a abrazivních materiálů. Nástroje od 19 850 jsou vysoce výkonné a vyznačují se vysokou tvrdostí, odolností proti popouštění a opotřebení. Houževnatost a obrusitelnost je o něco nižší než u předchozí řady. Používá se u pevných a těžkoobrobitelných materiálů za vysokých řezných rychlostí [8].

### 3.2 Charakteristika slinutých karbidů

Tyto materiály jsou produktem práškové metalurgie a vyrábějí se z různých karbidů a kovového pojiva. Slinuté karbidy se nemohou již dále tepelně zpracovávat. Díky velmi tvrdé struktuře se mohou tvarově a rozměrově upravovat pouze broušením, lapováním a elektroerozivním obráběním. Tyto materiály mají většinou tvar malých destiček, které mají normalizovaný tvar a rozměr. Pájí se a velmi často se mechanicky upínají na řeznou část nástroje. Takto upínané destičky mají několik ostří využívaných postupně. Nástroje velmi malých rozměrů se vyrábějí z jednoho kusu a jsou monolitické. Rozlišení vlastností od rychlořezných ocelí znázorňuje tab. 3.2 [2].

Tab. 3.2 Vlastnosti rychlořezných ocelí a slinutých karbidů [5].

		HSS	SK	
Vlastnost			zrno < 2 μm	zrno < 0,7 μm
Tvrdost	HV10	800 – 900	1200–1600	1600–2100
Ohybová pevnost	MPa	5000	1700–2500	2500–4000
Modul pružnosti	kN/mm <sup>2</sup>	217	480–560	560–650
Součinitel tepelné roztažnosti	μm/m°C	10–13	5–7	5–7
Součinitel tepelné vodivosti	W/m°C	19	30–100	30–100
Hustota	g/cm <sup>3</sup>	8–8,3	11–15	11–15
Mezní teplota použití	°C	500	1000	1000

Tyto materiály mohou být povlakovány, zejména karbidem titanu TiC, nitridem titanu TiN nebo oxidem hlinitým Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Tento proces je velmi důležitý k získání co největší tvrdý otěruvzdorný povrch destičky a současně mít houževnaté jádro [2].

#### 3.2.1 Výroba slinutých karbidů

Typickou metodu pro výrobu SK představuje prášková metalurgie. Jednou ze základních operací při přípravě je příprava směsi s pojícím kovem, u kterých je důležité získat jemnozrnnou, homogenní práškovou směs. Tato operace se nazývá mletí směsi za sucha nebo v kapalném prostředí. Následuje formování směsi a vysokoteplotní izostatické lisování. Za vysokých teplot se v slinovací peci uskutečňuje slinování směsi za působení tlakového plynu, který zajišťuje rovnoměrný tlak na výrobek ze všech stran. Tímto postupem výroby je dosažena vysoká hustota s minimálním objemem pórů a jiných vad. Při použití u obrábění mají nejvyšší hodnoty trvanlivosti. Nakonec se povrch výrobku dodatečně upravuje broušením a povlakováním [1, 12].

U povlakovaných slinutých karbidů je na podkladový materiál (SK typu P, M, K) nanášena tenká vrstva s vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení. Toto je způsobeno tím, že nanesená vrstva neobsahuje žádné pojivo a má jemnější zrnitost spolu s menšími strukturními defekty [1].

### 3.2.2 Rozdělení slinutých karbidů

#### Skupina P

Slinuté karbidy skupiny P mají vysoký podíl směsných karbidů a jsou určeny k obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, např. uhlíkové oceli, slitinové oceli, feritické korozivzdorné oceli. Při obrábění dochází ke značnému opotřebení na čele nástroje v důsledku velkých řezných sil. Zárukou vysoké odolnosti proti difuzi za vysokých teplot je přísada TiC, která je hlavní příčinou výmolu na čele nástroje. Vyšší křehkost a nižší odolnost proti abrazi jsou hlavní nevýhody vlastností TiN [1,8].

#### Skupina M

Tato skupina je určena k obrábění materiálů, které tvoří střední a delší třísku, mezi které patří lité oceli, nerezavějící austenitické, austeniticko-feritické oceli a tvárné oceli. Využití je možné nalézt u těžkých hrubovacích prací a přerušovaných řezů [1,8].

#### Skupina K

Skupina je určena pro obrábění litin, neželezných slitin a nekovových materiálů. Tvoří krátkou a drobnou třísku. Jedinou tvrdou strukturní složkou je WC, který má při pokojové teplotě přibližně stejnou tvrdost jako TiC. S rostoucí teplotou WC ztrácí tvrdost rychleji než TiC. Chemické složení slinutých karbidů a oblasti jejich použití je zobrazeno v tab. 3.3 [1,8].

#### Skupina N, S, H

Skupina N slouží k obrábění materiálů z neželezných kovů jako je hliník a jeho slitin. Skupina S se využívá na obrábění neželezných kovů, tepelně odolných slitin na bázi železa, niklu a kobaltu, titanu a titanových těžce obrobitelných slitin. Na obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí je vhodná skupina H [1,8].

Tab. 3.3 Chemické složení a oblast použití slinutých karbidů [5].

Druh	Chemické složení		Oblast použití
K (zrno <0,7 μm)		WC (%)	Obrábění litiny (stále více pro ozubená kola)
	K10	92,5	
	K20	92,0	
	K30	89,5	
	K40	86,5	12,0
M	WC, TiC, TaC, NbC, Co		austenitická ocel
P	WC, TiC, TaC, NbC, Co (P20 = 69,5 % WC + 10 % Co)		obrábění oceli a litiny
	Tvrdost (HV30)	Pevnost v ohybu (MPa)	Modul pružnosti (kN/mm <sup>2</sup> )
K10	1850	3300	650
K20	1720	3500	620
K30	1550	3600	590
K40	1460	3700	580

### 3.3 Cermety

Cermety jsou směsi skládající se z kovu a vložených keramických částic. Jsou to materiály, které v hojné míře obsahují titankarbonitrid. Pojivová fáze cermetu je složena z niklu a kobaltu s podílem titanu, wolframu, molybdenu a jiných kovů v tuhém roztoku. Výhodou použití tohoto materiálu je vysoká tvrdost, otěruvzdornost a vysoká stabilita řezné hrany. Avšak oproti nástrojům ze slinutých karbidů nejsou tak houževnaté [5].

Využití je především pro dokončovací obrábění, u kterých dosahuje řezná rychlost hodnot přibližně  $360 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Nástrojem je možné obrábět především oceli, litiny, lité oceli, neželezné kovy a snadno obrobitelné slitiny. Z ekonomického hlediska jsou cermety málo produktivní z důvodů nízké trvanlivosti. [2,5].

## 4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Praktická část je zaměřena na porovnávání finančních nákladů a výrobních časů mezi nástrojem z rychlořezné oceli a nástrojem s VBD ze slinutých karbidů. Experiment byl proveden ve firmě **Novogear spol. s.r.o.**, která se zabývá výrobou ozubených kol a převodů. Společnost sídlí ve Frýdku-Místku a je dceřinou společností skupiny **Humbel Gears**. Tato strojírenská firma vyrábí ozubená kola různých druhů jak v sériové výrobě, tak i jednotlivých kusů.



Obr. 4.1 Firma Novogear spol s.r.o. [25].

Jelikož firma většinu své produkce exportuje do zahraničí, a především mateřská společnost sídlí ve Švýcarsku, uvedené finanční náklady a výpočty jsou stanoveny v eurech. Většina vstupních dat byla poskytnuta společností, která zaznamenávala údaje po dobu 18ti měsíců. Pro srovnání byl vybrán jeden typ výrobku, který má velkou produkci nejen v ČR, ale i ve světě.

### 4.1 Vstupní údaje

Vyráběné čelní ozubené kolo se šikmými zuby je z materiálu 18CrNiMo7-6, což je středně legovaná ušlechtilá ocel k cementování. Využívá se na velmi namáhané strojní součásti s cementovaným povrchem, např. u vlaků Stadler Dosto. Modul tohoto kola je 7 mm a jeho průměr činí 526,4 mm. Vyráběné ozubené kolo, zobrazeno na obr. 4.2, bylo obráběno na 5ti osém CNC frézovacím centru Gleason P600/800, které je možné vidět na obr. 4.3 a je určeno především pro odvalovací způsob výroby. Novou technologií představuje nástroj CoroMill 176 a původní prezentuje monolitní fréza z rychlořezné oceli PM S390. U frézy CM 176 s vyměnitelnými břitovými destičky se počítá doba znehodnocení nástroje 3 roky [26].



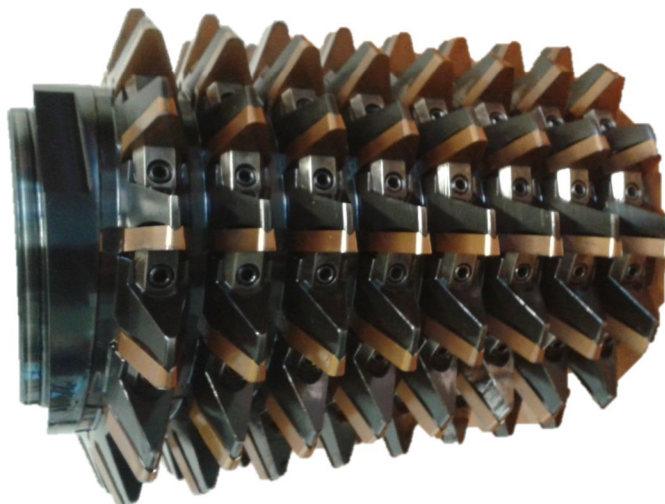


Obr. 4.2 Vyrobené ozubené kolo pro experiment.



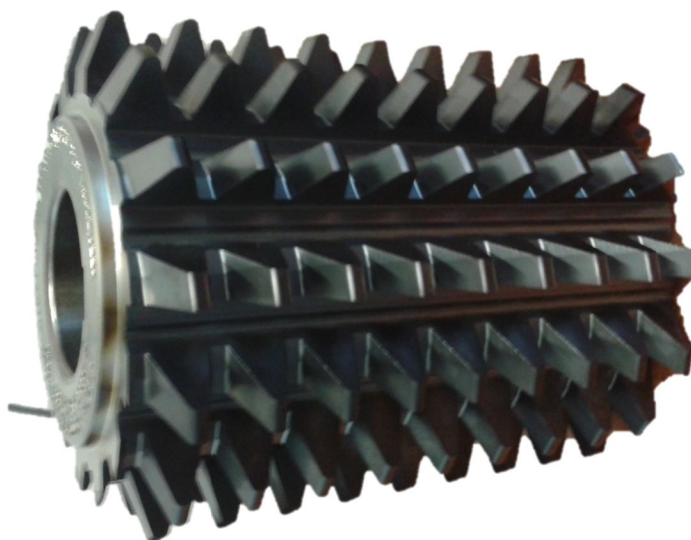
Obr. 4.3 CNC obráběcí centrum, na kterém byl prováděn experiment.

Nástroj od firmy Sandvik CoroMill 176, zobrazen na obr. 4.4, se využívá v hrubovacích, polodokončovacích i dokončovacích procesech. Destičky nástroje jsou z povlakovaného (TiAlN) slinutého karbidu a slouží pro obrábění ocelí a litin typu P. Počet destiček na těle nástroje 112 kusů. Moduly vyrobených kol se mohou pohybovat v rozmezí 4–10 mm. Obrábění se provádělo na dva řezy. U obou řezů byla velikost axiálního posuvu nástroje 7,5 mm. Řezná rychlost při obou řezech obrábění byla  $225 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . U prvního řezu byla zubová hloubka nástroje 7,87 mm a u druhého řezu 15,75 mm. Tento nástroj je ideální formou pro výrobu ozubení z důvodů použití vyšších řezných rychlostí a zkracování prostojů z důvodu delší životnosti nástroje [24].



Obr. 4.4 Odvalovací fréza CM 176 ze sliutého karbidu.

Nástroj od firmy Saacke PM S390 je vyroben práškovou metalurgií, která je ilustrován na obr. 4.5. Povlak frézy je z AlTiN. Po každém přeastřování je nutné opět znovu povlakovat. Tyto procesy se provádějí ve firmě. Vstupní náklady nástroje jsou uvedeny v tabulce 4.1.



Obr. 4.5 Odvalovací fréza PM S390 z rychlořezné oceli.

Tab. 4.1 Vstupní náklady nástroje

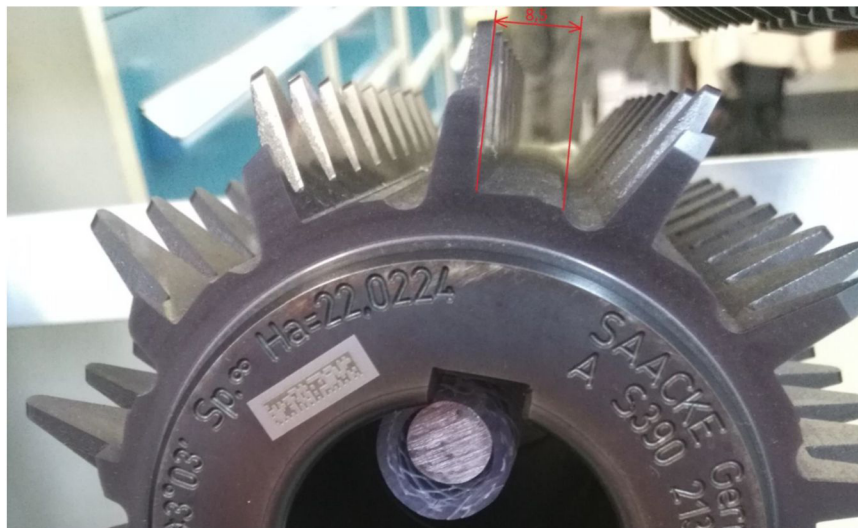
Náklady nástroje	Proměnná	Cena
Cena za tělo frézy CM 176 (na dobu 3 let)	M	9320 €
Cena nástroje HSS-PM	N	3315 €
Cena břitové destičky	K	19,30 €
Přeastření u 1 frézy	E	37 €
Povlakování u 1 frézy	F	111 €

Další náklady při výpočtech a hodnoty pozorovaných dat, které byly zaznamenány po dobu 1,5 let, jsou zapsány v tabulce 4.2.

Tab. 4.2 Údaje potřebné k výpočtu

Údaje pro výpočet	Proměnná	Hodnota
Náklady na stroj	C	51,44 €/h
Počet přeostrění 1 frézy z HSS-PM	W	17
Vyrobené metry kola za 18 měsíců	V	6225 m
Trvanlivost jednoho cyklu nástroje z HSS-PM	Z	225 m
Počet vyrobených kusů	P	834
Počet použitých destiček	Q	495
Doba obrábění jednoho kusu nástrojem z CM 176	$t_1$	11 min
Doba obrábění jednoho kusu nástrojem z HSS-PM	$t_2$	35 min

Nástroj z HSS je možné opětovně ostřit do doby, kdy je šířka ostření rovna velikosti 8,5 mm. Hodnota je zobrazena na obr. 4.6



Obr. 4.6 Maximální hodnota znovu ostření frézy.

## 4.2 Kalkulace nástrojů

U Nástroje CM 176 je třeba znát, kolik metrů vyrobí za 3 roky, jelikož pořizovací cena těla je dána délkou životnosti, která je 3 roky. To činí 12 448 m. Cena frézy za 1 m je vyjádřena rovnicí (4.1):

$$e = \frac{\text{cena}}{\text{metry}} = \frac{9320}{12450} = 0,749\text{€} \quad (4.1)$$

Celková hodnota vyrobených metrů jednoho nástroje z HSS-PM je dána součinem přeostrění a trvanlivostí jednoho cyklu nástroje vztahem (4.2):

$$W \cdot Z = 17 \cdot 225 + 225 = 4050\text{m} \quad (4.2)$$

Cena frézy z HSS-PM za 1 m je dán rovnicí (4.3):

$$f = \frac{\text{cena}}{\text{metry}} = \frac{3315}{3825} = 0,82 \text{ €} \quad (4.3)$$

### 4.3 Výpočty nákladů

Celková doba obrábění  $T_1$  a  $T_2$  se u obou nástrojů vyjádří rovnicí (4.4) a (4.5):

$$T_1 = t_1 \cdot P = 11 \cdot 834 = 9174 \text{ min} = 152,9 \text{ h} \quad (4.4)$$

$$T_2 = t_2 \cdot P = 35 \cdot 834 = 29190 \text{ min} = 486,5 \text{ h} \quad (4.5)$$

Celkové výdaje stroje  $S_1$  a  $S_2$  se vypočítají ze vztahu (4.6) a (4.7):

$$S_1 = C \cdot T_1 = 51,44 \cdot 152,9 = 7865 \text{ €} \quad (4.6)$$

$$S_2 = C \cdot T_2 = 51,44 \cdot 486,5 = 25026 \text{ €} \quad (4.7)$$

Cena za břitové destičky  $R$  se stanoví vzorcem (4.8):

$$R = Q \cdot K = 495 \cdot 19,30 = 9553 \text{ €} \quad (4.8)$$

Cena  $G$  za přeastření a povlakování u nástroje z HSS-PM je dána vztahem (4.9):

$$G = \frac{V}{Z} \cdot (E + F) = \frac{6225}{225} \cdot (37 + 111) = 4095 \text{ €} \quad (4.9)$$

Celková cena  $H_1$  a  $H_2$  za odvalovací frézy je stanovena podle rovnice (4.10) a (4.11):

$$H_1 = V \cdot e = 6225 \cdot 0,75 = 4662 \text{ €} \quad (4.10)$$

$$H_2 = V \cdot f = 6225 \cdot 0,82 = 5104,5 \text{ €} \quad (4.11)$$

## 5. TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Tab. 5.1 Výsledné vypočítané hodnoty

Typ nástroje	CM176	HSS
Doba obrábění [hod]	152,9	486,5
Výdaje stroje [€]	7865	25 026
Cena za destičky [€]	9553	-
Cena za přestřeni a povlakování [€]	-	4038
Cena za nástroj [€]	4662,5	5104,5
<b>Celkové náklady [€]</b>	<b>22 080</b>	<b>34 655</b>

Požizovací cena těla nástroje CM 176 je 3x vyšší než samotný nástroj z HSS-PM. Na druhou stranu z výpočtů vyplývá, že u nástroje CM 176 (SK) jsou finanční náklady výrazně nižší. Z tab. 5.1 je patrná rozdílová hodnota zhruba 12 500 €. Z toho zjištění plyne, že nástroj u tohoto výrobu má plné využití ve výrobě. V úvahu je třeba vzít také značnou produkci tohoto kola do různých strojírenských firem. U jiných typu výrobků není produkce tak vysoká, a proto je nevýhodné použití nástroje z SK, jelikož pořizovací cena nástroje převyšuje cenu nákladů na obrábění. Problém nastává také v momentě, kdy tímto nástrojem nelze vyrábět všechna ozubená kola.

Výpočty nezahrnovaly finanční ohodnocení pro obsluhu stroje. Při využití nástroje z SK byl výrobní čas výrazně nižší než u nástroje z HSS-PM, tzn. náklady na obsluhu budou také daleko méně nákladné u tohoto nástroje. Zde by nastal vyšší rozdíl celkových nákladů. Experiment byl prováděn ze získaných údajů po dobu 18ti měsíců, avšak v delším časovém období by údaje byly přesnější.

Z technického hlediska je určitě výhodnější používat nástroj ze SK, jelikož je tím ovlivněna i jakost povrchu, díky rychlejším rezným podmínkám. Pro přesnější výsledky bylo namísto vyrobených kusů ozubených kol počítáno s uraženými metry nástroje. Pokud by pokus namísto metrů zahrnoval vyrobené kusy, které nástroj vyrobí, vypočítané náklady by vyšly zcela odlišně, jelikož trvanlivost frézy není stanovená na vyrobené kusy, ale uražené metry.

---

## ZÁVĚR

U této práce měl být záměr zviditelnění odvalovacího způsobu výroby ozubeného kola. V práci bylo charakterizováno frézování, popis nástrojů a strojů určených k tomuto obrábění. Následně byla charakterizována ozubená kola, jejich rozdělení a také způsoby výroby. Nakonec v teoretické části byly podrobně rozebrány nástrojové materiály pro výrobu odvalovacích fréz.

Praktická část se zabývala porovnáváním výrobních časů a nákladů mezi dvěma typy nástrojů při sériové výrobě. Pro přesnější hodnoty byl použit jeden druh výrobků, který má uplatnění v dalších strojírenských průmyslech. Ze vstupních údajů se vypočítaly celkové výdaje při obrábění. Ve vyhodnocení je ilustrována tabulka, na které je patrný ekonomický rozdíl nástroje ze slinutého karbidu a nástroje z rychlořezné oceli. Pod tabulkou jsou vysvětleny možné příčiny tohoto rozdílu.

Je nutné uvést, že náklady jsou uvažovány čistě na obrábění a nejsou do toho započítány mzdy dělníkům pracujícím u obráběcích strojů. Je ovšem patrné, že rozdíl by byl o něco vyšší, jelikož firma by ušetřila u nástroje ze SK. Nástroje byly vybírány podle možností firmy, která dlouhodobě využívá nástroj z HSS vyrobený práškovou metalurgií, u kterého je pořizovací cena 3x nižší než u nástroje ze SK.

Povlakování a přeastřování destiček bylo prováděno ve firmě. Vývoz fréz na přeastřování by bylo opět velice nákladné. Uvedené náklady byly brány v ujetých metrech nástroje, díky kterým byly získány přesnější hodnoty, než pokud by byly brány v úvahu vyrobené kusy.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část* [online]. VUT v Brně: Fakulta strojního inženýrství, 2003 [vid. 2017-03-26]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
3. L., NĚMEC, Dobroslav. *Strojírenská technologie 3: Strojní obrábění*. Vyd. 2. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1982.
4. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
5. MRKVICA, Ivan. *Inovace odvalovacího frézování využitím progresivních nástrojových materiálů*. Ústí nad Labem: UJEP, FVTM, 2010. Knižnice strojírenské technologie. ISBN 978-80-7414-294-9.
6. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 2. část* [online]. VUT v Brně: Fakulta strojního inženýrství, 2004 [vid. 2017-03-26]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf)
7. MRKVICA, Ivan. *Speciální technologie: výroba ozubených kol I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-1931-0.
8. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
9. MRKVICA, Ivan. *Speciální technologie: výroba ozubených kol II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2134-4.
10. MRKVICA, Ivan. *Současné trendy v obrábění ozubených kol: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2724-7.
11. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
12. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha. MM Publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
13. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
14. Ozubené kolo. Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Ozuben%C3%A9\\_kolo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Ozuben%C3%A9_kolo)
15. *Frézování*. Dostupné také z: [http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/STT/STT2-10\\_Frezovani\\_RAJ.pdf](http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/STT/STT2-10_Frezovani_RAJ.pdf)
16. Základní kovoobráběčské práce. *Prohloubení profesní kvalifikace* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://kvalifikace.sosasource.cz/2-2-4-1-zakladnimi-obrabecimi-pracemi-na-frezkach-jsou/>
17. Frézování rovinných ploch. *Za odbornými znalostmi evropsky a interaktivně* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://zozei.sssebrno.cz/frezovani-rovinnych-ploch/>

18. Výroba ozubených kol frézováním dělicím způsobem. *M.L. Geardesigns* [online]. 2013 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1310/vyroba-ozubenych-kol-frezovanim-delicim-zpusobem>
19. Nové čelní frézy pomáhají snížit náklady na obrobenou součást. *Průmyslové spektrum* [online]. 2016, 122 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-celni-frezy-pomahaji-snizit-naklady-na-obrobenou-soucast.html>
20. Verzahnen. *Kmt* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.kmt.co.at/leistungsspektrum/verzahnen>
21. Princip výroby ozubených kol dělicím způsobem. *Tumilkovo* [online]. 2010 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/princip-vyroby-ozubenych-kol-delicim-zpusobem/>
22. Výroba ozubených kol frézováním dělicím způsobem. *M.L. Geardesigns* [online]. 2013 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1310/vyroba-ozubenych-kol-frezovanim-delicim-zpusobem>
23. Výroba ozubení odvalováním. *Tumilkovo* [online]. 2010 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/procesy/ozubeni/odvalovanim/odvalovaci-frezou/>
24. CoroMill 176. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromill\\_176/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromill_176/pages/default.aspx)
25. In: *Humbel Gear Technology* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.humbel-gears.com/cz/company/locations/frydek-mistek-czech-republic>
26. ČSN EN 10084. Oceli k cementování – Technické dodací podmínky



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
$A_{Di}$	mm	jmenovitý průřez třísky
B	mm	šířka obrobku
C	€/h	náklady na nástroj
$C_{Fc}$	-	konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu
CNC	-	Computer Numerical Control – počítačem řízené obráběcí centrum
ČSN	-	Československá státní norma
D	mm	průměr obrobku
E	€	přeoštění u 1 frézy
F	€	povlakování u 1 frézy
$F_{ci}$	N	řezná síla
G	€	Cena za přeoštění a povlakování u nástroje z HSS-PM
H	mm	tloušťka odebrané vrstvy
$H_1$	€	celková cena za nástroj CM 176
$H_2$	€	celková cena za nástroj z HSS-PM
HSS	-	High Speed Steel – rychlořezná ocel
ISO	-	International organization for standardization
K	€	cena břitové destičky
L	mm	celková dráha frézy ve směru posuvu
M	€	cena za tělo frézy CM 176
N	€	cena nástroje HSS-PM
P	-	počet vyrobených kusů
$P_c$	W	řezný výkon
PVD	-	Physical vapour deposition
Q	-	počet použitých destiček
R	€	Cena za břitové destičky
SK	-	Slinuté karbidy
$S_1$	€	celkové výdaje stroje u nástroje CM 176
$S_2$	€	Celkové výdaje stroje u nástroje z HSS-PM
$T_1$	h	celková doba obrábění u frézy CM 176
$T_2$	h	celková doba obrábění
V	m	vyrobené metry kola za 18 měsíců
W	-	počet přeoštění 1 frézy z HSS-PM
Z	m	trvanlivost jednoho cyklu nástroje z HSS-PM
a	mm	roztečná osová vzdálenost
$a_p$	mm	šířka záběru ostří
b	mm	jmenovitá šířka třísky
d	mm	průměr roztečné kružnice
$d_b$	mm	základní kružnice
e	€	cena frézy CM 176 za 1 m
f	€	cena frézy z HSS-PM za 1 m
$f_z$	mm	hodnota posuvu na zub
$h_i$	mm	jmenovitá tloušťka třísky
$h_a$	mm	výška hlavy zubu

---

$h_f$	mm	výška paty zubu
$K_{ci}$	$N/mm^2$	měrná řezná síla
$l$	mm	délka obrubku
$l_n$	mm	délka náběhu frézy
$l_p$	mm	délka přeběhu frézy
$l_{nf}$	mm	vzdálenost od osy nástroje po začátek náběhu
$l_{pf}$	mm	délka konce přeběhu od osy nástroje
$m$	mm	modul
$n$	$min^{-1}$	otáčky obrobku
$p$	mm	rozteč ozubeného kola
$r_b$	mm	poloměr základní kružnice
$t_{AS}$	min	jednotkový strojní čas
$t_1$	min	Doba obrábění jednoho kusu nástroje z CM 176
$t_2$	min	Doba obrábění jednoho kusu nástroje z HSS-PM
$v_c$	$m \cdot min^{-1}$	řezná rychlost
$v_f$	$mm \cdot min^{-1}$	posuvová rychlost
$v_e$	$m \cdot min^{-1}$	efektivní výsledný pohyb
$x$	-	exponent vlivu tloušťky třísky
$z$	-	počet zubů frézy
$\alpha$	°	úhel záběru
$K_r$	°	úhel nastavení hlavního ostří
$\varphi_i$	°	úhel posuvového pohybu