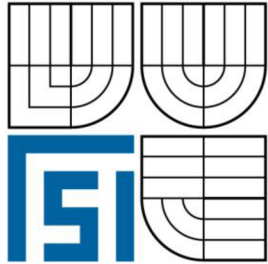


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH**  
**OZUBENÝCH KOL**  
TECHNOLOGY OF COGWHEEL CUTTING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Libor Rybka**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Doc.Ing.Jaroslav Prokop,CSc.**

BRNO 2009

Zadání

Licenční smlouva

**ABSTRAKT**

Ve své bakalářské práci se zabývám technologií výroby čelních ozubených kol. V první části jsem popsal metody výroby ozubených kol obráběním. V druhé části pojednávám o nástrojích, které potřebujeme pro tuto výrobu. V posledním, třetí části jsem provedl technologické doporučení podle dosahované přesnosti a drsnosti povrchu čelních ozubených kol při výrobě.

**Klíčová slova**

Ozubené kolo  
Fréza  
Frézka  
Ozubení  
Metody

**ABSTRACT**

In my bachelor thesis I deal with technology of the production of cogwheel cutting. In the first part I describe the methods of the production of cogwheels by cutting. In the second part I deal with the instruments we need for this production. In the last, the third part I made the technological recommendation according to the attained precision and harshness of the surface of the cogwheels during the production.

**Key words**

Cogwheel  
Cutter  
Milling machina  
Gearing  
Methods

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Rybka, Libor. *Název: Technologie obrábění čelních ozubených kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. s., příloh. Doc.Ing.Jaroslav Prokop,CSc.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technologie obrábění čelních ozubených kol vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....  
Jméno a příjmení bakaláře

## **Poděkování**

Děkuji tímto Doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc., za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

Abstrakt .....	3
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah .....	6
Úvod .....	7
1. Metody obrábění čelních ozubených kol.....	8
1.1 Frézování .....	8
1.1.1 Frézování dělicím způsobem .....	8
1.1.2 Frézování odvalovacím způsobem.....	9
1.2 Obrázení.....	11
1.2.1 Obrázení hřebenovým nožem (systém Maag) .....	11
1.2.2 Obrázení kotoučovým nožem (systém Fellows).....	12
1.3 Protahování.....	12
1.4 Dokončování ozubených kol .....	14
1.4.1 Švingování.....	14
1.4.2 Broušení .....	15
1.4.2.1 Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči .....	15
1.4.2.2 Broušení odvalovacím způsobem, systém Maag, Niles, Reishauer .....	16
1.4.3 Lapování .....	18
1.4.4 Zaběhávání .....	19
2 Řezné nástroje pro obrábění čelních ozubených kol.....	19
2.1 Nástroje pro frézování .....	20
2.1.1 Čepová modulová fréza .....	20
2.1.2 Kotoučová modulová fréza .....	21
2.1.3 Odvalovací frézy .....	21
2.2 Nástroje pro obrázení.....	22
2.2.1 Obrážecí nože hřebenové .....	22
2.2.2 Obrážecí nože kotoučové .....	22
2.3 Protahovací nástroje.....	23
3 Technologická doporučení pro obrábění čelních ozubených kol.....	23
Závěr .....	26
Seznam použitých zdrojů .....	27
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	28

## ÚVOD

Obrábění ozubení představuje velmi složitý obráběcí proces, který souvisí s požadavkem spolehlivého odvalu hotového soukolí při jeho funkci. Při obrábění ozubení ovlivňuje jeho dosahovanou přesnost zejména kinematika obráběcího procesu, nástroj, technologické základny, způsob upnutí obrobku a řezné prostředí. [4]

Ve strojírenských provozech je nejfrekventovanější technologie obrábění čelních kol, v menším rozsahu se uplatňuje technologie obrábění kuželových kol s přímými a šikmými zuby a využívání technologií obrábění kuželových kol se zakřivenými zuby. Ve stejném pořadí roste technologická náročnost obrábění jednotlivých druhů ozubení. [4]



## 1. METODY OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL

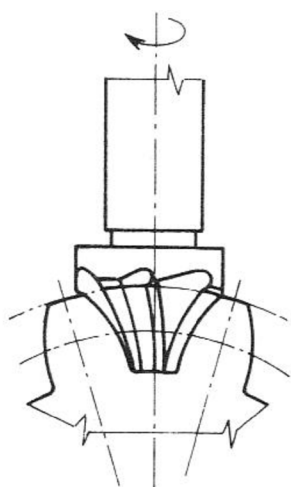
Čelní ozubení s přímými nebo šikmými zuby se vyrábí pomocí několika metod obrábění: frézování, obrážení, protahování. Po některých metodách může následovat dokončovací operace jako je broušení, ševingování, lapování, zaběhávání.

### 1.1 Frézování

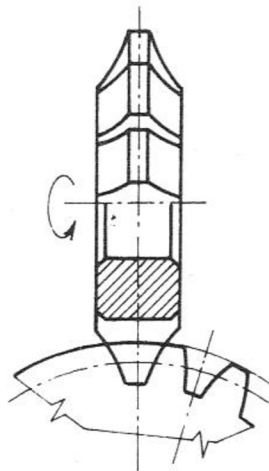
Výroba ozubených kol frézováním se provádí pomocí dvou základních způsobů obrábění, a to dělicím a nebo odvalovacím způsobem. Dají se tak vyrábět ozubená kola od kusové výroby až po velkosériovou výrobu. Jedná se o nejpoužívanější metody obrábění ozubených kol.

#### 1.1.1 Frézování dělicím způsobem

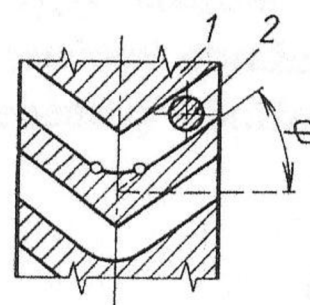
Tento způsob obrábění ozubených kol se provádí za pomoci čepové modulové frézy (obr. 1.1) anebo kotoučové modulové frézy (obr. 1.2). Frézy mají tvar zubové mezery po vyfrézování jedné zubové mezery se kolo pootočí o danou rozteč a následně se vyfrézuje další zubová mezera. Za pomoci stopkové frézy můžeme vyrábět i šípové ozubení (obr. 1.3).



Obr. 1.1 Čepová modulová fréza [3]



Obr. 1.2 Kotoučová modulová fréza [3]



ozubené kolo  
fréza  
 $\varphi$ - úhel sklonu zubu

Obr. 1.3 Frézování kola se šípovým ozubením [1]

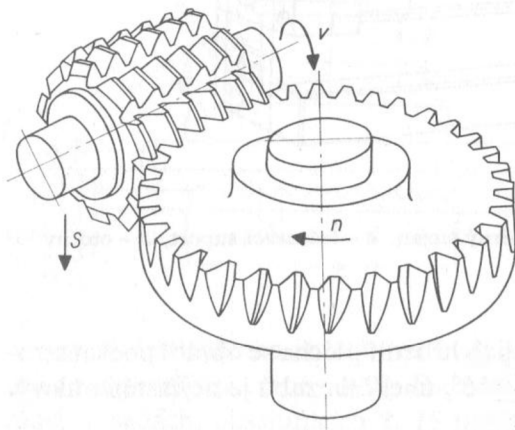
Základním nedostatkem dělicího způsobu frézování ozubených kol je malá přesnost. Teoreticky tvar zubové mezery závisí totiž kromě modulu i na počtu zubů kola. Modulové frézky se však vyrábějí pro určitý rozsah počtu zubů kola. Tím se vnáší do tvaru boku zubu určitá nepřesnost.[1]

Velkou výhodou je možnost použití běžných univerzálních frézek vybavených dělicími přístroji, nebo otočných stolů s dělicím zařízením. Proto se tento způsob používá v menších závodech a opravárnách, kde se používá při

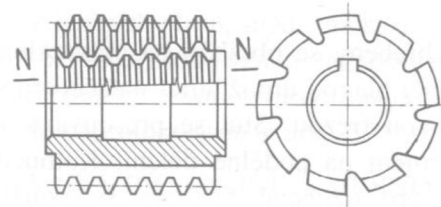
výrobě ozubení čelních kol velkých průměrů a modulu, pro něž se nevyrábějí odvalovací frézky.[2]

### 1.1.2 Frézování odvalovacím způsobem

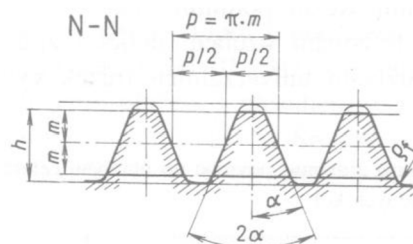
Odvalovací frézování je založeno na principu záběru válcového šneku s ozubeným kolem (obr. 1.4). Nástrojem je odvalovací fréza (obr. 1.5), která má tvar evolventního šneku a jejíž profil je v normální rovině tvořen základním hřebenem (obr. 1.6). řezný pohyb vzniká otáčením frézy o obrobku, čímž se plynule frézují všechny zuby. Za jednu otáčku frézy se obrobek pootočí o jednu rozteč. Boky zubů se vytvářejí jako obalové plochy jednotlivých poloh nástroje (obr. 1.7). Fréza se nastavuje buď na plnou hloubku zubové mezery a vřezává se v axiálním směru, nebo se na plnou hloubku radiálně zařizne a potom s posouvá axiálně. Druhý způsob zkracuje strojní časy. [3]



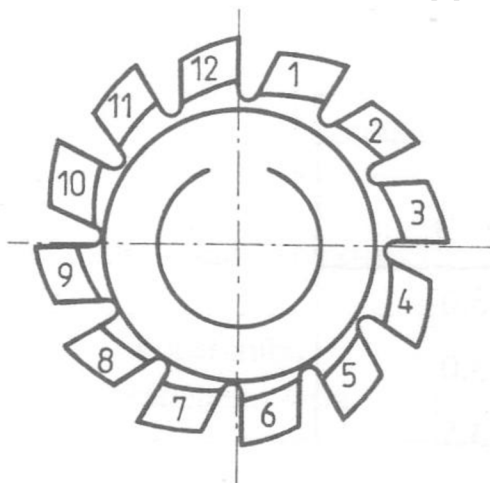
Obr. 1.4 Frézování přímých zubů [2]



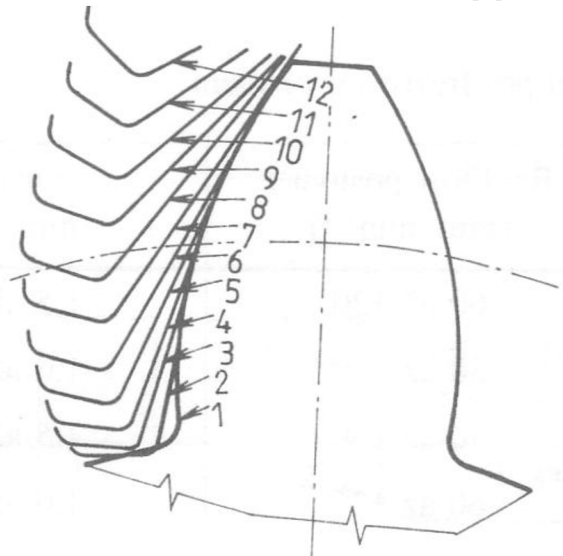
Obr. 1.5 Odvalovací fréza [3]



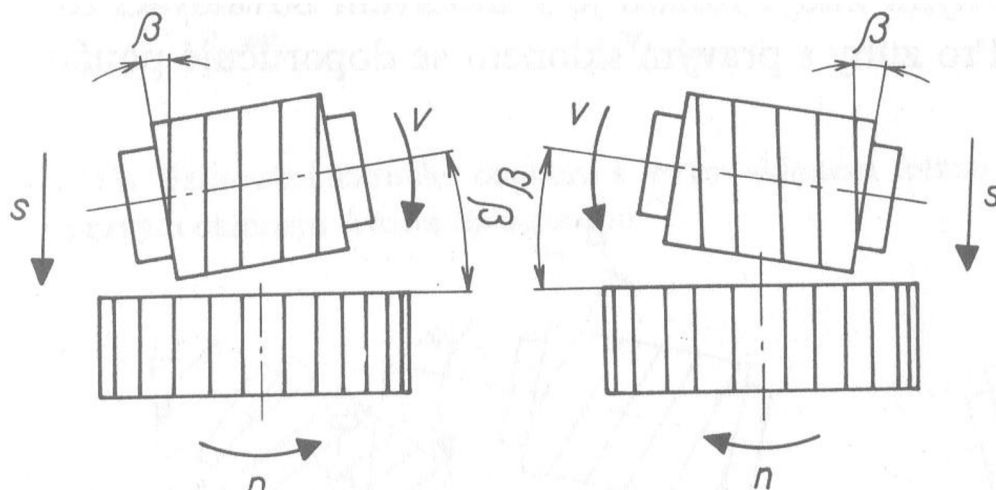
Obr. 1.6 Profil v normální rovině [3]



Obr. 1.7 Princip vytvoření evolventy při odvalovacím frézování  
1 až 12 – jednotlivé břity odvalovací frézy

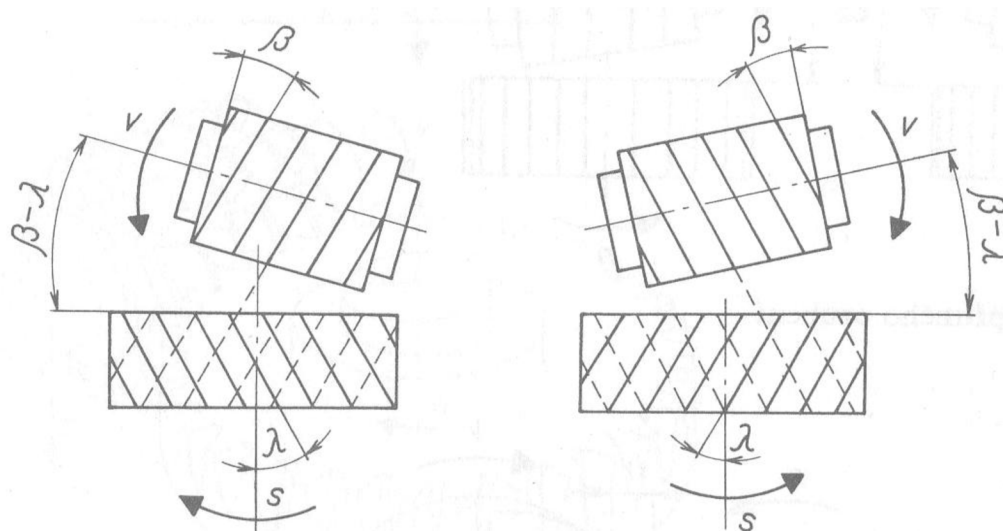


Při frézování přímých zubů musí být osa frézy skloněna vzhledem k obrobku o úhel  $\beta$ , který odpovídá úhlu stoupání šroubovice na roztečném válci. Fréza se vyklání podle pravého nebo levého skonu zubů (obr. 1.8). [2]



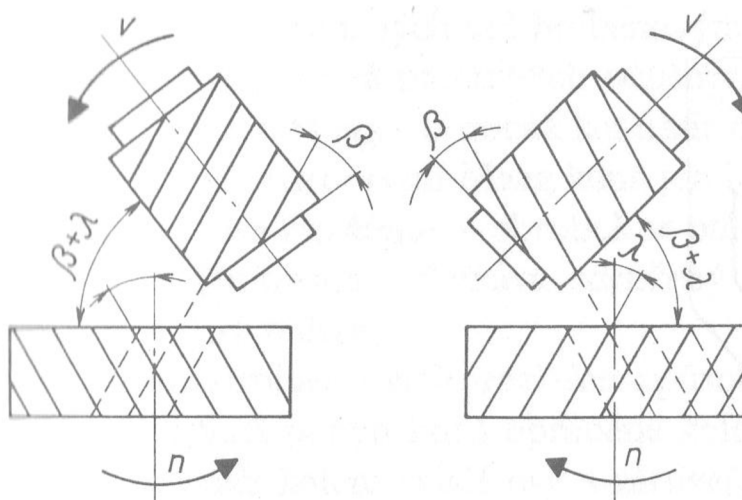
Obr. 1.8 Frézování přímého ozubení [2]

Čelní kola se šikmými zuby se frézují odvalovacím způsobem podobně jako kola s přímými zuby. Rozdíl je v nastavení odvalovací frézy vzhledem k obrobku. Pro zuby s pravým sklonem se doporučuje používat fréz s pravou šroubovicí a pro zuby s levým sklonem frézu s levou šroubovicí, kde se osa frézy nastaví na úhel  $\beta - \alpha$ . Frézování je klidnější a odstraní se tím možnost zasekávání frézy (obr. 1.9). [2]



Obr. 1.9 Frézování šikmého ozubení s levým sklonem frézou levochodou a s pravým sklonem frézou pravochoadou [2]

Při frézování ozubení s pravým sklonem zubů frézou s levou šroubovicí, popřípadě ozubení s levým sklonem zubů frézou s pravou šroubovicí, je nutno nastavit osu frézy na úhel  $\beta + \alpha$  (obr. 1.10). [2]



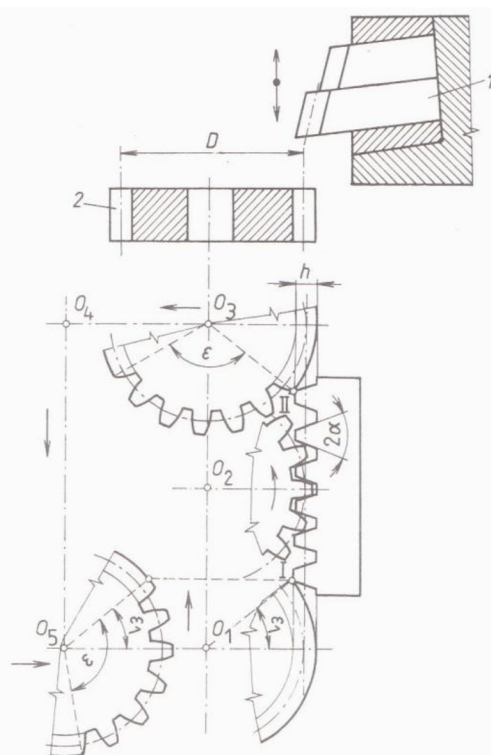
Obr. 1.10 Frézování šikmého ozubení s levým sklonem frézou pravochoudou a s pravým sklonem frézou levochoudou

## 1.2 Obrážení

Výroba ozubených kol za pomoci odvalovacího obrážení je velmi přesná metoda výroby ozubených kol. Rozlišujeme dvě metody odvalovacího obrážení a to: obrážení hřebenovým nožem systém Maag a obrážení kotoučovým nožem systém Fellows.

### 1.2.1 Obrážení hřebenovým nožem (systém Maag)

Obrážení hřebenovým nožem je založeno na principu záběru ozubeného hřebene (nástroj) s ozubeným kolem (obrobek). Nástroj koná řezný pohyb (přímočarý vratný. Odvalování je dosaženo složením otáčivého a posuvného pohybu obrobku (Obr. 1.11). Nástroj je nastaven na hloubku zubu a při práci se vřezává do obrobku. Po obrobení několika zubových mezer se otáčení i posuv obrobku zastaví a obrobek se přesune zpět do výchozí polohy. Počet obrobených zubových mezer je dán délkou hřebenového nože. Obrážecí hřebenové nože pro  $m = 1$  až 20mm v ČSN 22 2540. Na obrážení strojích lze jedním nástrojem daného modulu vyrábět kola s libovolným počtem zubů, korigovaná i nekorigovaná, s přímými i šikmými zuby. Při obrážení kol se šikmými zuby se smykadlo vykloní o úhel sklonu zubů. Šípové ozubení se

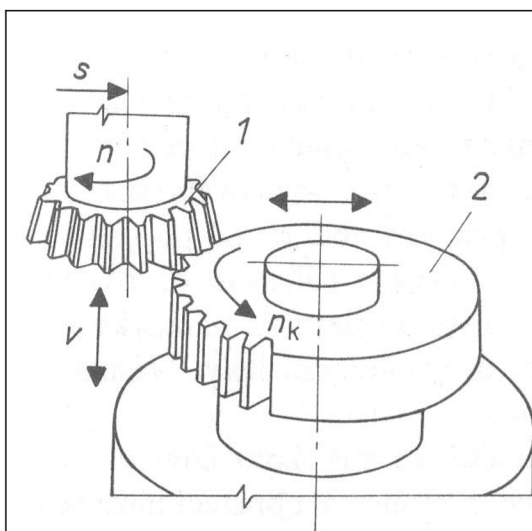


Obr. 1.10 Princip odvalovacího obrážení hřebenovým nožem [3]  
1 – obrážecí hřeben, 2 – obrážené kolo

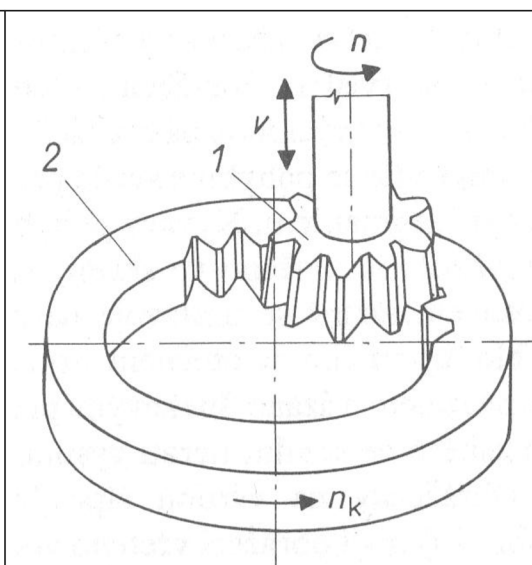
obráží na strojích, které jsou vybaveny dvěma protiběžnými smykadly. [3]

### 1.2.2 Obrázení kotoučovým nožem (systém Fellows)

Obrázení kotoučovým nožem je založeno na principu záběru dvou ozubených kol bez vůle, tzn., že se při obrázení nástroje i obrobek po sobě odvalují tak, jako by zabírala dvě čelní ozubená kola. Nástroj upnutý ve smykadle koná vratný pohyb ve směru osy. Výsledný evolventní profil tvoří obálka evolventních boků zubů obrážecího nože, které je dosaženo otáčením nástroje a obrobku proti sobě (Obr. 1.12, 1.13). Při zpětném pohybu se nůž oddaluje od obrobku, aby se bříty netřely o obrobenou plochou. [3]



Obr. 1.12 Obrázení vnějšího ozubení kotoučovým nožem [2]  
1 – kotoučový nůž, 2 obrážené kolo

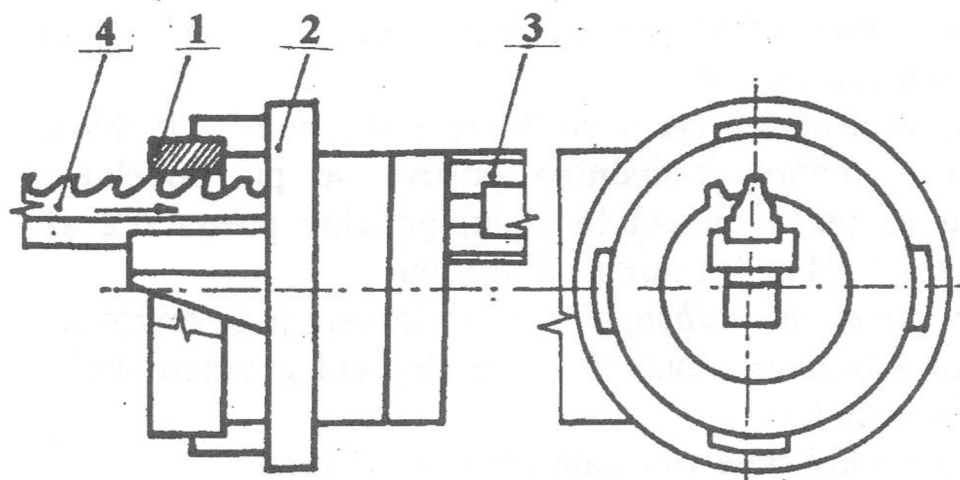


Obr. 1.13 Obrázení vnitřního ozubení kotoučovým nožem [2]  
1 – kotoučový nůž, 2 – obrážené kolo

Obrázení kotoučovými noži se uplatňuje pro krátký náběh i přeběh při výrobě dvojkol, používá se pro výrobu vnitřního ozubení. Šikmé ozubení se obráží stejným nástrojem, který se v průběhu pracovního závitu natáčí, pod úhlem sklonu zubů, pomocí šroubových vodítek. Odvalovací obrázení kotoučovým nožem se používá pro výrobu kol do modulu 15mm a průměru 2 400mm. [3]

### 1.3 Protahování

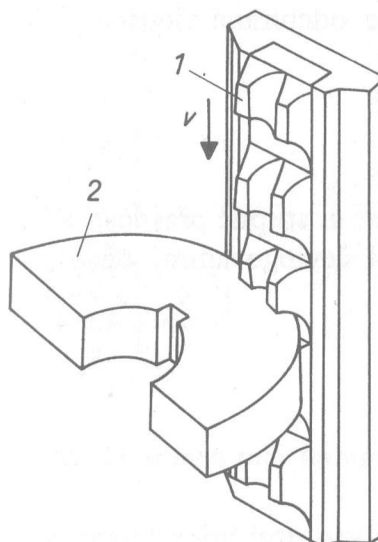
Protahování ozubených kol se používá, vzhledem k vysoké ceně nástroje, pouze v hromadné výrobě. Protahují se zejména kola s vnitřním ozubením (Obr. 1.14). Profil kalibrovacích zubů trnu odpovídá tvaru zubových mezer kola. [1]



Obr. 1.14 Protahování vnitřního ozubení [4]

1 – obráběné kolo, 2 – otočná hlava, 3 – tažné ústrojí, 4 – protahovací nástroj

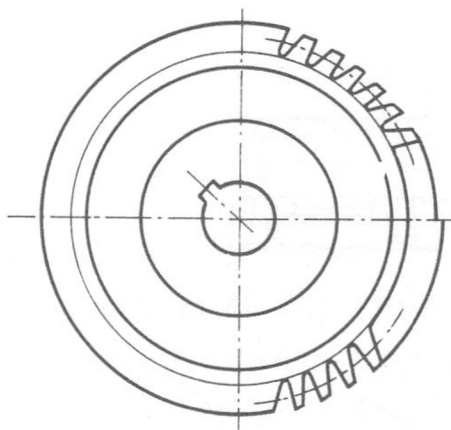
Protahování vnějšího ozubení se provádí dělicím způsobem protahovacím trnem (Obr. 1.15), který má profil jedné nebo několika zubových mezer. Kolo se pak pootočí o příslušný počet roztečí a cyklus se opakuje. [1]



Obr. 1.15 Protahování vnějšího ozubení [2]

1 – protahovací trn, 2 - obrobek

K protahování vnějšího ozubení úzkých ozubených kol se někdy používá i kotoučových protahováků (Obr. 1.16). Kotoučový protahovák má na obvodě zuby s postupně rostoucím rozměrem tak, aby poslední kalibrovací zuby měly tvar zubové mezery. Po protažení jedné zubové mezery se kolo dělicím způsobem pootočí o jednu rozteč zubů. K tomu je na obvodě protahováku vynechána část bez zubů. [1]



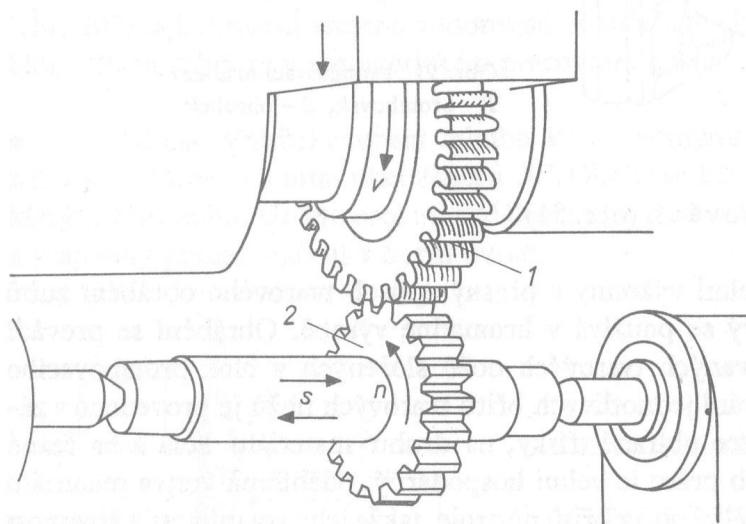
Obr. 1.16 Kruhový protahovací trn [3]

## 1.4 Dokončování ozubených kol

Ozubení kola s požadavkem vyšší přesnosti se dokončují švingováním, broušením, lapováním nebo zaběháváním. Dokončováním se získává přesnější profil tvaru zubu a menší drsnost povrchu boků zubů, čímž se zvyšuje účinnost a snižuje hlučnost ozubení.

### 1.4.1 Švingování

Švingování (Obr. 1.17) zlepšuje jakost obrobeného povrchu a odchylky geometrického tvaru zubů. Součtová úchylka rozteční se nemění. Švingování se používá u nekalených kol, vyrobených odvalovacím frézováním nebo obrážením. [1]



Obr. 1.17 Švingování [2]  
1 – švingovací kolo, 2 - obrobek

Nástroj, švingovací kolo, má tvar přesného ozubeného kola daného modulu. Zuby mají na bocích drážky, které vytvářejí břity. Obráběné kolo je nasazeno na trnu a může se volně otáčet v hrotech. Švingovací kolo je

poháněné (obvodová rychlost asi  $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) a zabírá s obráběným kolem bez vůle. Osy obou kol jsou mimoběžné, tím je vyvoláno klouzání břitů po boku zubů obrobku (řezná rychlost). Tak dochází k odebírání velmi jemných třísek. Nástroj nebo obrobek mají navíc přídatný vratný posuvný pohyb. V každé úvratí se kolo postupně radiálně přiblíží až na správnou osovou vzdálenost. [1]

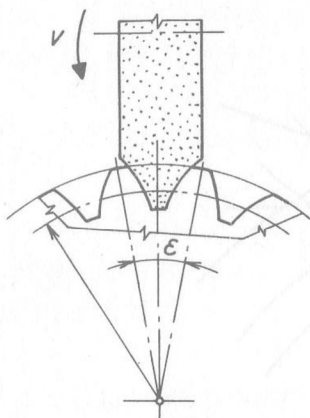
Ševingování lze podle směru posuvu rozdělit na: podélné, diagonální, příčné (tangenciální), zapichovací. Nejpoužívanější je podélné ševingování, u kterého šířka nástroje nezávisí na šířce ozubení, ale využití nástroje je nepříznivé. Při diagonálním ševingování je nástroj využit v celé šířce, ale je omezen šířka ozubení do 60 mm. Příčné a zapichovací ševingování vyžaduje zvláštní nástroje a je vhodné pro úzká kola. Úhel zkřížení os je pro všechny způsoby ševingování 10 až 15°. Ševingovací nástroje pro moduly 1,5 až 5 mm mají sklon zubů 0 až 15° a průměry 175 a 250 mm. Používají se pro kola s počtem zubů  $>30$ , menší počet zubů a korigovaná kola se ševingují zvláštními nástroji. [3]

### 1.4.2 Broušení

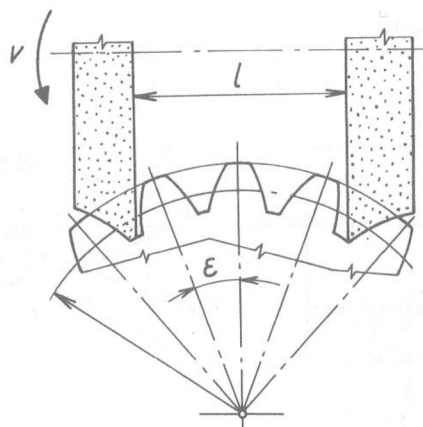
Broušením se odstraňují nepřesnosti po předchozím obrábění a deformace po tepelném zpracování ozubených kol. Ozubená kola se brousí dělicím způsobem tvarovými kotouči, dělicím způsobem s odvalem boku zubu a odvalovacím způsobem. [3]

#### 1.4.2.1 Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči

Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči se provádí buď tak, že kotouč má tvar zubové mezery a brousí se oba boky mezer současně (Obr. 1.18), nebo tak, že se brousí pouze jeden bok zubu (Obr. 1.19). Nevýhodou prvního způsobu je rychlé a nerovnoměrné opotřebení broušícího kotouče. Po vybroušení jedné zubové mezery se kolo pootočí o jednu rozteč zubů a cyklus



Obr. 1.18 Broušení zubů tvarovým kotoučem [2]



Obr. 1.19 Broušení zubů dvěma tvarovými kotouči [2]

se opakuje. Tento způsob broušení je méně přesný a kinematicky odpovídá frézování ozubení kotoučovou tvarovou frézou. [1]

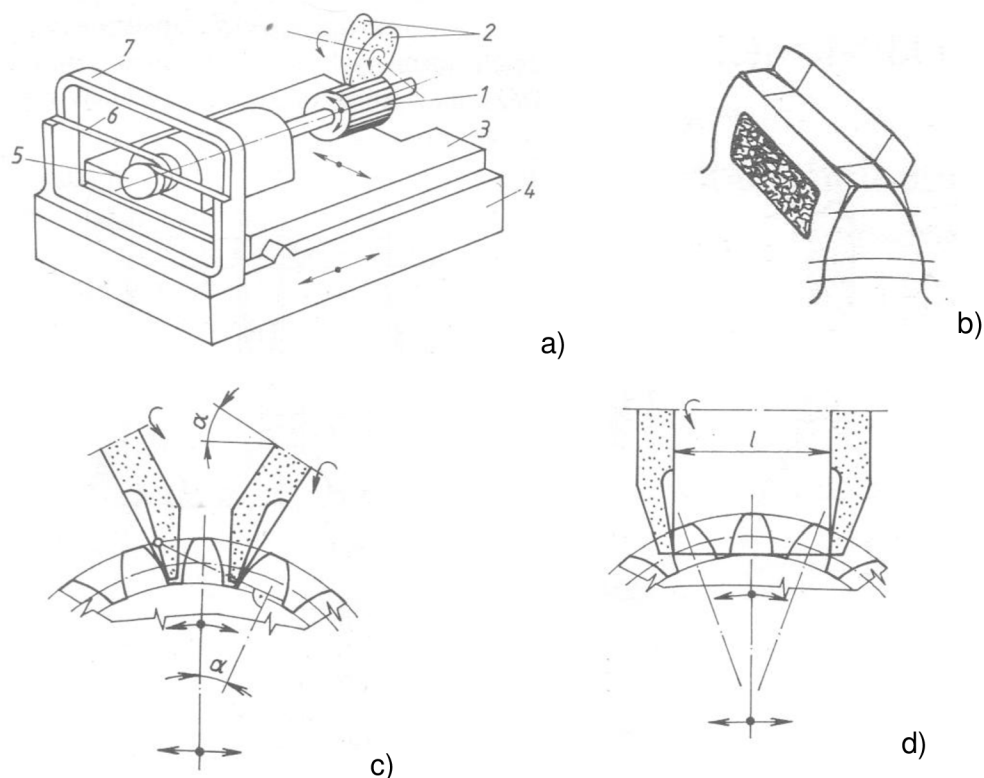


### 1.4.2.2 Broušení odvalovacím způsobem, systém Maag, Niles, Reishauer

Odvalovací broušení je přesnější a hospodárnější. Rozlišujeme tyto tři systémy.

#### 1.4.2.2.1 Systém Maag

K nejpoužívanějším způsobem patří broušení s odvalem boku zubu po čelní ploše brousících kotoučů (Obr. 1.20). Odvalovací pohyb je vytvářen superpozicí příčného a otáčivého pohybu obrobku. Otáčení obrobku se dosahuje odvinováním ocelového pásu po kotouči s průměrem základní kružnice broušeného kola. Střídavým pohybem příčného suportu je zajištěno postupné odvalování a broušení zubové mezery. Kromě toho koná podélný suport pohyb ve směru osy kola, čímž je dosaženo obroušení zubu v celé šířce ozubení. Po dokončení jedné zubové mezery se pootočí o jednu rozteč a cyklus se opakuje. Brousící kotouče představují boky zubu hřebene a po každém cyklu jsou rovnány a nastaveny do správné polohy. U kol s  $m > 9\text{mm}$  se brousí dvěma kotouči v jedné zubové mezeře, u menších modulů jsou vzdáleny o jednu rozteč. [3]



Obr. 1.20 Odvalovací broušení ozubených kol [3]

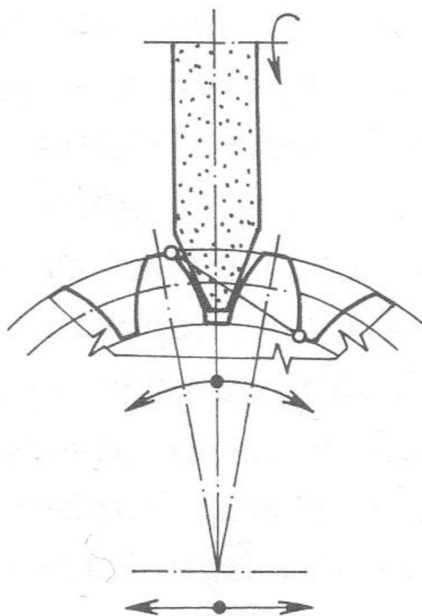
a) princip odvalovacího broušení, b) modifikovaný bok zubu, c) broušení kotouči skloněnými pod úhlem záběru, b) broušení kotouči skloněnými pod úhlem kotouči, 1 – obrobek, 2 – brousící kotouče, 3 – příčný support, 4 – podélný support, 5 – odvalovací kotouč, 6 – ocelový pás, 7 – stojan odvalovacího zařízení

Brousit lze hranou nebo plochou kotouče. Produktivnější je broušení plochou kotouče, je vyšší jakost broušeného povrchu, lze použít větších posuvů a produktivita broušení je vyšší. Zvláštním zařízením lze dosáhnout podélné i

výškové modifikace zubů. Při broušení ozubených kol se šikmými zuby se vřeteník s broušícím kotoučem natočí vzhledem k ose ozubeného kola pod úhlem sklonu zubů. [3]

#### ***1.4.2.2 Systém Niles***

Obdobným způsobem pracují brusky s jedním broušícím kotoučem, jehož profil se shoduje s profilem zubu ozubeného hřebenu (Obr. 1.21). Broušící kotouč se otáčí a vykonává přímočarý vratný pohyb ve směru osy broušeného kola. Odvalovací pohyb v obou smyslech vzniká otáčením broušeného kola kolem své osy při současném posuvu ve směru osy broušícího kotouče. Dělicí pohyb vykonává obrobek. Brousí se postupně od paty k hlavě zubu bok po boku. Při broušení ozubených kol se šikmými zuby se vykloní smykadlo s broušícím kotoučem o úhel sklonu zubů. [3]

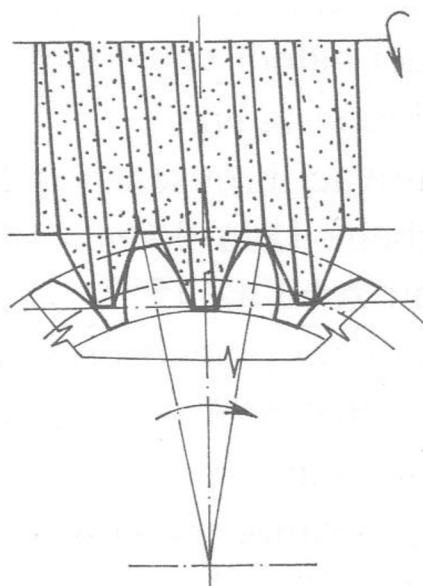


Obr. 1.21 Princip odvalovacího broušení kotoučem lichoběžníkovým profilem [3]

#### ***1.4.2.3 Systém Reishauer***

Největšího výkonu při broušení ozubení se dosahuje odvalovacím broušením broušícím kotoučem ve tvaru šneku (Obr. 1.22). Tento způsob je podobný odvalovacím frézování (odvalovací fréza je nahrazena broušícím šnekem). Používá se pro broušení zejména menších modulů, u kol s  $m < 3$  mm je možno brousit do plného materiálu. [4]

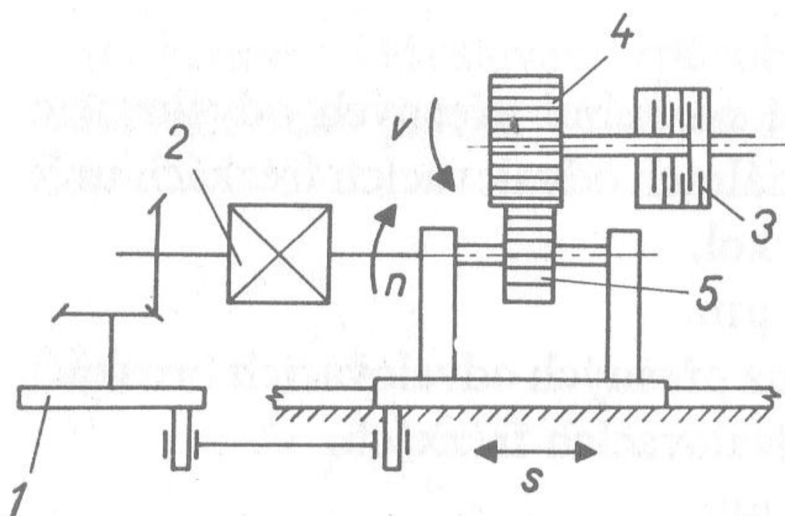
Základní podmínkou tohoto způsobu je synchronní běh nástroje a obrobku. Tvarování broušícího kotouče z hlediska profilu a stoupání je rozhodujícím faktorem pro parametry přesnosti broušeného ozubení. Broušící kotouč má průměr 350 až 400mm a značná pozornost se musí věnovat jeho vyvážení, jak statickému tak také dynamickému. [4]



Obr. 1.22 Broušení ozubených kol brousícím šnekem [3]

### 1.4.3 Lapování

Je dokončovací způsob obrábění zubů kalených kol. Dosáhne se nejvyšší přesnosti a jakosti povrchu zubů. Provádí se na lapovacích strojích jedním nebo třemi ozubenými koly obvykle korigovanými a lapovacím prostředkem – směsí jemného brusiva (korundu nebo smirku o zrnitosti 3 až 6) a oleje nebo petroleje. Lapované kolo se pohybuje v záběru s lapovacím kolem a navíc koná přímočarý vratný pohyb ve směru své osy (Obr. 1.23). Při tom lapované kolo pohání kolo lapovací, které je brzděno. Přídavek na lapování bývá 0,02 až 0,05 mm, obvodová rychlost kol 0,5 až 1 m·s<sup>-1</sup>. [2]



Obr. 1.23 Lapování ozubených kol [2]

1 – klikový kotouč, 2 – elektromotor, 3 – brzda, 4 – lapovací kolo, 5 - obrobek

### 1.4.4 Zaběhávání

Zaběhávání ozubených kol se odlišuje od lapování tím, že jsou v záběru dvě spoluzabírající kola. Zaběhávání probíhá stejně jako lapování ( jedno kolo je hnané a druhé brzděno) a do záběru se přivádí proud oleje s brusivem, popř. lapovací pasta. Přidávky na zaběhávání jsou poloviční než u lapování. Zaběhávání se používá zejména u kol, které není možno dokončovat jiným způsobem. [3]

## 2 ŘEZNÉ NÁSTROJE PRO OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL

Nástrojová ocel je nejčastější materiál pro výrobu obráběcích nástrojů tab. 2.1. Nejvíce je používána nástrojová rychlořezná ocel tzv. HSS která se ještě povlakovává pro zvýšení její trvanlivosti a řezné rychlosti.

Tab. 2.1 Přehled nástrojových ocelí [5]

Nástrojové oceli	Nelegované (uhlíkové)	Legované (nízko, středně a vysokolegované)	Rychlořezné
Označení dle ČSN	19 0xx-19 2xx	19 3xx-19 7xx	19 8xx
Obsah uhlíku (%)	0,3 – 1,4	0,8 -1,2	0,7 -1,3
Obsah legur (%)	Mn, Cr, Si	Cr, W, Mo, V, Mn, Si, Ni	W, Mo, Cr, V , Co
Kalici prostředí	Voda	olej	solná lázeň, vzduch, vakuum (i tekutý dusík)
Dosažitelná tvrdost (HRC )	62 – 64	66	64 – 68
Typické aplikace	ruční nářadí – čepel, sekáče, pilníky, pilky na kov	strojní nářadí pro nízké řezné rychlosti (do 25m/min) – vrtáky, frézky, revolverové nože, protahovací trny	strojní nástroje pro řezné rychlosti (do 40 m/min) – vrtáky, frézky, výhružníky, výstružníky, závitníky

### Povlaky které se používají u HSS ocelí:

TiN - povlak nitrid titanu – má nejrozšířenější požití. Jedná se optimální povlak pro HSS (rychlořezné oceli) pro řadu aplikací. Dosažovaná mikrotvrdost je 2800 až 3000HV. Použití je zvláště na řezných i střížných nástrojích, kde dochází až k trojnásobnému prodloužení trvanlivosti. Nízký koeficient tření a zvýšená odolnost proti opotřebení jsou výhodné pro vrtáky, frézky, závitníky, střížníky, atd. [5]

Ti(C, N) – vhodný pro řezné nástroje z HSS, ale zejména pro tvářecí a střížné nástroje (lze dosáhnout až desetinásobného prodloužení životnosti). Má

vyšší odolnost při mechanickém namáhání břitů. Při frézování se používá na legovanou a korozivzdornou ocel, šedou litinou a měď. [5]

(Ti, Al), N) – při vyšší řezné rychlosti se tvoří na povrchu nástroje tenká vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Vzniklá vrstva chrání břit před další oxidací a snižuje tření na břitu. Lépe odolává vysokým teplotám. Tvrdost je přibližně stejná jako u TiN. Nízká tepelná vodivost, odolnost proti oxidaci zvýšená tvrdost za tepla předurčují použití tohoto povlaku pro obrábění při vysokých rychlostech a bez použití chlazení. [5]

(Al, Ti) N – tvrdost větší než Ti(C, N), otěruvzdorný povlak vhodný pro obrábění za sucha. [5]

CrN – nitrid chromu – vrstva vhodná pro obrábění mědi a hliníku ale má použití i na střížné a tvářecí nástroje z méně kvalitních ocelí, nejvýhodnější použití při teplotách v rozmezí 190 až 220°C. Povlak se vyznačuje relativně nižší tvrdostí, ale je schopnost odolávat ulpívání obráběného materiálu (adheznímu ulpívání a otěru). [5]

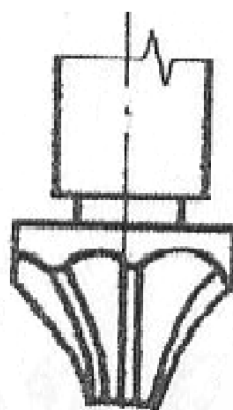
Ti<sub>2</sub>N – vrstva vhodná pro dokončovací obráběcí operace, určená pro obrábění korozivzdorných ocelí. Použití je možné nejen při soustružení, frézování, ale i stříhání, tváření za studena atd. Řezné podmínky je nutné nastavovat s přihlédnutím ke složení obráběného materiálu. Nejčastějším povlakovaným nástrojem je HSS s obsahem Co 8%. [5]

## 2.1 Nástroje pro frézování

Pro výrobu ozubených kol frézováním jsou zapotřebí tyto nástroje: čepová modulová fréza, kotoučová modulová fréza a odvalovací fréza.

### 2.1.1 Čepová modulová fréza

Čepová tvarová fréza má tvar, který je shodný s profilem zubové mezery. Po zvýšení přesnosti výroby ozubení se čepová tvarová fréza vyrábí v sadách. Každý modul obsahuje 8 až 15 fréz. Záleží na požadavku přesnosti a počtu zubů ozubeného kola.



Obr. 2.1 Čepová modulová fréza

### 2.1.2 Kotoučová modulová fréza

Kotoučová fréza (obr. 2.2 ) se nejčastěji vyrábí z rychlořezné oceli popřípadě pro větší moduly jsou bříty osazeny plátky ze slinutých karbidů a tělo nástroje je vyrobeno z méně kvalitní oceli. U těchto nástrojů můžeme nasadit vyšší řezné rychlosti a obrábět kvalitnější materiály, tím dosahujeme větší trvanlivost nástroje. Tvar frézy odpovídá profilu zubové mezery. Frézy jsou vyráběny v sadách od modulu 0,2 až 16 mm. Do modulu 8 mm sada obsahuje 8 fréz a od modulu větším než 8 mm obsahuje sada 15 fréz. Za pomoci těchto sad dosahujeme požadované přesnosti a zvyšujeme trvanlivost nástroje.



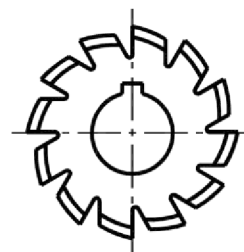
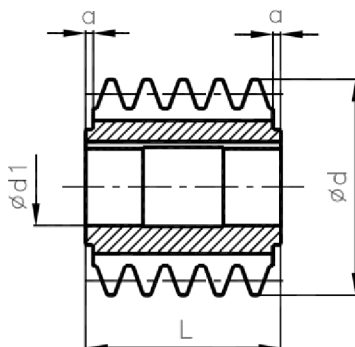
Obr. 2.2 Kotoučová modulová fréza [10]

### 2.1.3 Odvalovací frézy

Odvalovací frézy jsou univerzální nástroje. Jednou frézou lze vyrábět ozubená kola stejného modulu s libovolným počtem a sklonem zubů, s korigovaným a nekorigovaným ozubením. Základní rozměry a druhy odvalovacích fréz jsou v ČSN 22 2501 a ČSN 22 2507. Podle ČSN 22 2551 se odvalovací celistvé, jednoduché frézky vyrábějí pro  $m = 1$  až 20 mm. Pro zvýšení produktivity se používá skládané frézky. Mají větší průměr, větší délky a při prvočíselném počtu hřebenů se dosahuje větší přesnosti frézovaných kol. Hrubovací frézy pro větší moduly mají řeznou část uspořádanou buď v sekcích, nebo se ve šroubovici střídají bříty odebírající plnou výšku, ale menší tloušťku profilu, se zuby s plnou tloušťkou a menší výškou profilu (umožňují zvýšit posuvy), frézy se slinutými karbidy umožňují zvětšit řezné rychlosti. Odvalovací frézky na ozubení se zpravidla používají pro výrobu ozubených kol s moduly do 75 mm a průměry do 2 000 mm (výjimečně 8 000 mm). [3]



Obr. 2.3 Odvalovací fréza [6]



Obr. 2.4 Odvalovací fréza na evolventní ozubení s úhlem záběru  $20^\circ$  [7]

## 2.2 Nástroje pro obrážení

Ozubená kola obrážíme za pomoci hřebenového a kotoučového nože.

### 2.2.1 Obrážecí nože hřebenové

Obrážecí hřebenové nože (obr. 2.5) jsou buď přímé, nebo šikmé, podle sklonu pravé nebo levé a mají tvar hřebene. Jejich výroba je jednoduchá. Hřebenové nože pro  $m = 1$  až 20 mm nalezneme v normě ČSN 22 2540.



Obr. 2.5 Hřebenový nůž

### 2.2.2 Obrážecí nože kotoučové

Obrážecí kotoučové nože jsou v podstatě spojitě korigovaná ozubená kola, na nichž jsou na čelní ploše vytvořeny břity. Nástroje se vyrábějí jako stopkové pro  $m = 0,3$  až  $0,9$  mm s roztečným průměrem 25 mm ČSN 22 25 81, pro  $m = 1$  až 4 mm s roztečným průměrem 25 až 38 mm ČSN 22 25 80 a nástrčné pro  $m = 1$  až 12 mm s roztečnými průměry 50 až 200 mm ČSN 22 2570 a 22 2576. [3]



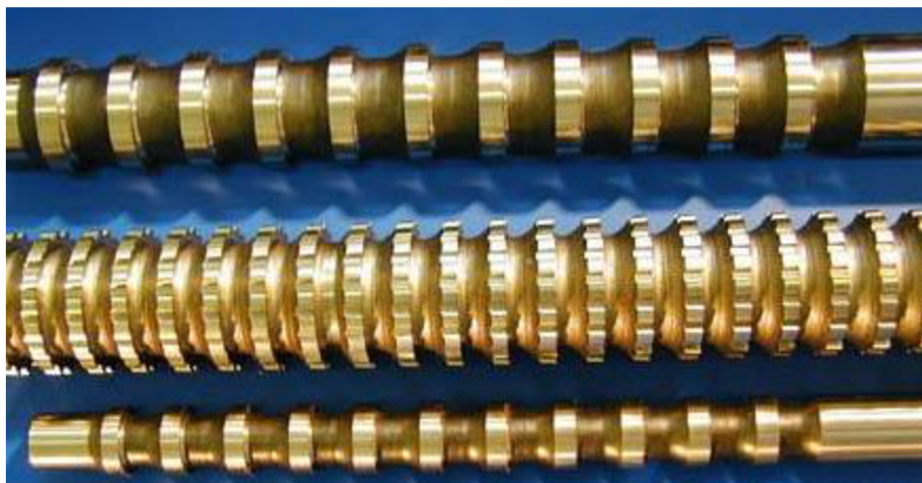
Obr. 2.6 Obrážecí kotoučový nůž stopkový [8]



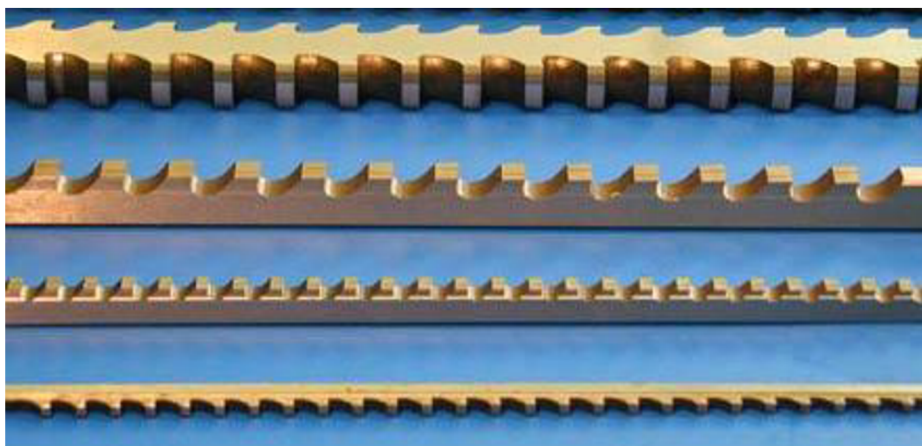
Obr. 2.7 Obrážecí kotoučový nůž nástrčný [9]

### 2.3 Protahovací nástroje

Protahovací nástroje mají tvar kruhového trnu (obr. 2.8) nebo plochého trnu. Protahovací nástroje jsou většinou vyrobeny z rychlořezné oceli a jsou celistvé nebo pro větší moduly, průměry se skládají. Poslední část je kalibrační, která má přený tvar vyráběného kola nebo zubové mezery. Přesnost vyráběného ozubeného kola přímo závisí na přesnosti výroby protahovacího nástroje. Pro každé odlišně vyráběné kolo se musí vyrobit další protahovací nástroj.



Obr. 2.8 Protahovací trny kruhové [6]



Obr. 2.8 Protahovací trny ploché [6]

## 3 TECHNOLOGICKÁ DOPORUČENÍ PRO OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL

V této části jsem rozebral jednotlivé metody výroby ozubených kol podle dosahovaných přesností a drsností. Dále jsem zhodnotil metody podle sériovosti výroby a vhodnosti použití metody.



**Technické doporučení dle jednotlivých typů obrábění:****a) Frézování dělicím způsobem:**

- tento typ výroby ozubených kol lze zejména doporučit při kusové výrobě nebo výrobě ozubených kol velkých modulů  $m > 20$  mm. Používá se také na hrubování ozubených kol větších modulů  $m > 12$  mm. Podle tabulky 3.1 můžeme konstatovat, že tento způsob výroby ozubených kol je nejvíce nepřesný ze všech způsobů výroby ozubených kol obráběním a dosahujeme u něj nejhorších hodnot drsnosti povrchu. Jednoznačná výhoda při tomto způsobu výroby ozubení je, že nepotřebujeme žádný drahý stroj, postačí nám univerzální frézka vybavena dělicím zařízením.

**b) Frézování odvalovací:**

- odvalovací frézování je vysoce produktivní metoda výroby ozubených kol, proto lze doporučit pro středně až vysoce sériovou výrobu. S jedním nástrojem lze vyrábět ozubená kola s libovolným počtem zubů, avšak potřebujeme odvalovací frézku. Podle tabulky 3.1 dosahujeme při tomto způsobu výroby ozubených kol středních hodnot přesnosti i drsnosti ze všech metod výroby ozubených kol obráběním.

**c) Obrázení kotoučovým nožem:**

- za pomoci kotoučového nože můžeme vyrábět i vnitřní ozubení, což patří mezi velkou výhodu při tomto způsobu obrábění. Vnitřní ozubení lze vyrábět jenom touto metodou nebo protahováním. Za pomoci této metody lze vyrobit i hřeben, který se používá pro pohony obráběcích strojů. Vzhledem k dosahované přesnosti výroby a drsnosti povrchů patří tento způsob k těm přesnějším. Kotoučový nůž je dražší na výrobu oproti hřebenovému, ale stroj je naopak levnější. Tento způsob výroby ozubených kol můžeme doporučit pro vysoce sériovou výrobu.

**d) Obrázení hřebenovým nožem:**

- obrázení hřebenovým nožem je podle tabulky 3.1 nejpřesnější metodou výroby ozubených kol obráběním. Používá se zejména pro výrobu ozubených kol stromečkového charakteru, která se nedají vyrobit frézováním. Tato metoda se vyznačuje vysokou produktivitou při nízkých nákladech na nástroj. Jak už jsem se zmínil při obrázení kotoučovým nožem, je stroj na obrázení hřebenovým nožem drahý. Proto lze doporučit tento způsob výroby pro vysoce sériovou výrobu.

**e) Protahování:**

- protahování díky vysoké ceně nástroje lze doporučit pouze pro vysoce sériovou a hromadnou výrobu. Protahováním se vyrábí jak vnější, tak zejména vnitřní ozubení. Přesnost vyráběného ozubeného kola přímo závisí s jakou přesností byl vyroben protahovací trn. Je to velice rychlá a produktivní metoda.

Tab. 3.1 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu ozubených čelních kol pro vybrané metody obrábění [4]

Metoda obrábění	Stupeň přesnosti ČSN 02 4682 (IT)	Drsnost povrchu Ra ( $\mu\text{m}$ )
Frézování: - dělicí způsob - odvalování	9 až 12 6 až 10	3,2 až 12,5 0,8 až 3,2
Obrážení odvalovací způsob: - kotoučový nůž - ozubený hřeben	5 až 9 4 až 7	0,8 až 1,6 0,4 až 0,8
Ševingování	5 až 7	0,4 až 0,8
Broušení: - tvarovaný kotouč - odvalovací způsob	5 až 7 2 až 5	0,2 až 0,8 0,1 až 0,4
Lapování	2 až 4	0,1 až 0,2

## ZÁVĚR

Velká část práce pojednává o metodách výroby čelních ozubených kol a následně o nástrojích, které pro tuto výrobu potřebujeme. Poslední část je věnovává technickým doporučením pro výrobu čelních ozubených kol. Následně můžeme říct že všechny metody kromě metody dělicím způsobem jsou vysoce produktivní a vhodné do sériové výroby. Každá metoda má své úskalí. I když dělicí způsob není příliš produktivní, je jeho jednoznačnou výhodou nízká pořizovací cena stroje i nástroje. Velice produktivní a hodně používaná metoda je odvalování, ale přesnost a drsnost povrchu není tak kvalitní jako třeba u obražení nebo protahování. Obrázení hřebenovým nožem má jednu velkou výhodu a to nízké náklady na nástroj a velkou produktivitou, ale jednoznačnou nevýhodou je velká pořizovací cena stroje. Obrázení kotoučovým nožem je jeden ze dvou způsobů, jak se dá vyrábět vnitřní ozubení, druhý způsob je protahování. U protahování je nevýhodou vysoká cena nástroje, ale na druhé straně je stroj jednoduchý.

Nejčastější dokončovací operace je broušení. Protože ozubená kola se vyrábějí s přídavkem na dokončení a následně se zakalí. Pak se teprve brousí na požadovaný přesný rozměr. U švingování je velkou výhodou vysoká produktivita, avšak nelze švingovat zakalené ozubené kolo.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. ASA J., GABRIEL V.: Strojírenská technologie 3 – 1. díl. 2. vyd. Scientia Praha, 2005. 256s. ISBN 80-7183-337-1
2. HLÁSEK, P. a kol.: Strojírenská technologie 3, Nakladatelství technické literatury, Praha 1986
3. KŘÍŽ, R. a VÁVRA, P. strojírenská příručka 7. svazek. 1.vyd. Praha: Scientia, 1996. 212s. ISBN 80-7183-024-0.
4. KOČMAN, K. a PROKP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001.270s. ISBN 80-214-1996-2.
5. FOREJT, M. A PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006.226 s. ISBN 80-214-2374-9.
6. PILSEN TOOLS s.r.o., Katalogové listy [online]. [cit. 2009-04-5]  
<http://www.pilsentools.cz/naradi/hlavni-nar.htm>
7. PILSEN TOOLS s.r.o., Katalogové listy ve formátu pdf. - odvalovací frézy 51 [online]. [cit. 2009-04-9]  
<http://www.pilsentools.cz/naradi/hlavni-nar.htm>
8. KASIKTOOLS s.r.o., Obrážecí kotoučové nože stopkové na evolventní ozubení s přímými zuby [online]. [cit. 2009-04-28]  
<http://kasiktools.cz/files/222580.pdf>
9. KASIKTOOLS s.r.o., Obrážecí kotoučové nože nástrčné na evolventní ozubení s přímými zuby [online]. [cit. 2009-05-2]  
<http://kasiktools.cz/files/222570.pdf>
10. Výroba ozubených kol [online]. [cit. 2009-05-10]  
<http://www.sosi.cz/servis-a-opravy-cviceni/vyroba-ozubenych-kol.pdf>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
$\varphi$	[°]	Úhel sklonu zubu
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky
$v$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky nástroje
$s$	[m·s <sup>-1</sup> ]	Posuv nástroje
$m$	[mm]	Modul
$p$	[mm]	Rozteč
$h$	[mm]	Výška zubu
$\alpha$	[°]	Úhel záběru
$\beta$	[°]	Úhel sklonu zubu
$D$	[mm]	Průměr roztečné kružnice
$n_k$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky obráběného kola
$l$	[mm]	Rozměr přes zuby
$\varepsilon$	[°]	Provozní úhel záběru