

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MODERNÍ METODY VÝROBY ČELNÍHO OZUBENÍ
MODERN METHODS IN SPUR GEARING PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Libor Kopečný

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR
BRNO 2009

Ing. Oskar Zemčik, CSc.

ABSTRAKT

Rozdělení a porovnání moderních metod výroby čelního ozubení. Úvod práce je zaměřen na charakteristiku a popis ozubených kol. Dále jsou uvedeny druhy ozubení a soukolí. Hlavní část textu je zaměřena na jednotlivé způsoby výroby čelních ozubených kol včetně dokončovacích metod. Následující část práce popisuje význam a možnosti tepelného a chemicko-tepelného zpracování ozubení. V závěrečných kapitolách je uvedeno zhodnocení a dosahované výsledky jednotlivých technologií výroby ozubení.

Klíčová slova

ozubení, stroj, frézování, protahování, obrázení, ševingování, broušení, lapování

ABSTRACT

The division and comparison of modern methods of production of spur gearings. The introduction is focused on the characteristics and description of cog wheels. Furthermore, the types of gearing and gear mechanisms are introduced. The main part of the text deals with individual ways of a production of spur gearings including finishing methods. The following part of this work describes the importance and possibilities of heat and chemical-heat gearing production. In the last chapters, the evaluation and achieved results of individual technologies of gearing production are introduced.

Key words

gearing, machine, milling, drawing, slotting, shaving, grinding, lapping

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOPEČNÝ, L. *Moderní metody výroby čelního ozubení: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 45s, 0 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Moderní metody výroby čelního ozubení** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

17. 5. 2009

.....
Libor Kopečný

Poděkování

Děkuji tímto *Ing. Oskaru Zemčikovi, CSc.* za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah	6
1 Základní charakteristika ozubených kol	7
1.1 Druhy ozubení a soukolí	10
1.2 Vývoj a trendy v oblasti ozubárenských strojů	12
2 Výrobní zařízení na výrobu ozubených kol	14
2.1 Stroje na výrobu ozubení tvarovým nástrojem.....	15
2.1.1 Frézování dělicím způsobem za použití kotoučové frézy.....	15
2.1.2 Frézování dělicím způsobem za použití stopkové frézy	16
2.1.3 Protahování ozubených kol	17
2.2 Stroje na výrobu ozubení odvalovacím způsobem.....	19
2.3 Stroje na výrobu ozubení obrážecím způsobem	21
2.4 Stroje na dokončovací operace při výrobě ozubení	25
2.4.1 Broušení ozubených kol dělicím způsobem	25
2.4.2 Broušení ozubených kol odvalovacím způsobem.....	26
2.4.3 Švingování ozubených kol.....	29
2.4.4 Lapování ozubených kol	30
3 Používané nástroje k výrobě ozubených kol.....	31
4 Řezné podmínky a kapaliny	37
5 Tepelné a chemicko - tepelné zpracování ozubených kol	38
6 Dosahované výsledky	40
Závěr	41
Seznam použitých zdrojů	42
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	45

1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OZUBENÝCH KOL

Ozubená kola jsou jedny ze základních ale poměrně dosti složitých součástí mechanismů sloužících pro plynulý přenos otáčivého (rotačního) pohybu, nebo pro změnu kroutícího momentu. Přenos pohybů je uskutečněn tzv. ODVALOVÁNÍM boků sousedních zubů vzájemně po sobě. Tento proces by měl probíhat bez prokluzů zubů, aby nedocházelo k velkým ztrátám, nadbytečnému opotřebení a zbytečnému hluku za provozu atd. Aby vůbec docházelo k odvalování soukolí musí kola splňovat základní pravidlo odvalování, které říká, že musí být obvodové rychlosti na roztečných kružnicích v průběhu pootáčení kol stále stejné.

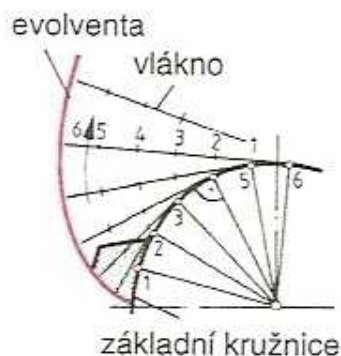
Zmíněné podmínky pro odvalování platí pro určitý přesný profil zubů a to pro CYKLOIDNÍ a EVOLVENTNÍ tvary (profily) zubů. Výjimečně mohou mít jiný tvar boku zubu – např. části kružnic apod.. Konkrétní tvar křivek (cykloidy nebo evolventy) je závislý na rozměru základní kružnice.

CYKLOIDA – Tato křivka vznikne odvalováním valivé kružnice po pevně statické základní kružnici. Přesnost práce u cykloidního ozubení je větší, ale ve strojírenství se používá jen zřídka, protože výroba cykloidy je poměrně obtížná. Ozubení ve tvaru cykloidy se uplatňují zejména v hodinářství.



Obr.1.01 Vznik cykloidy [1]

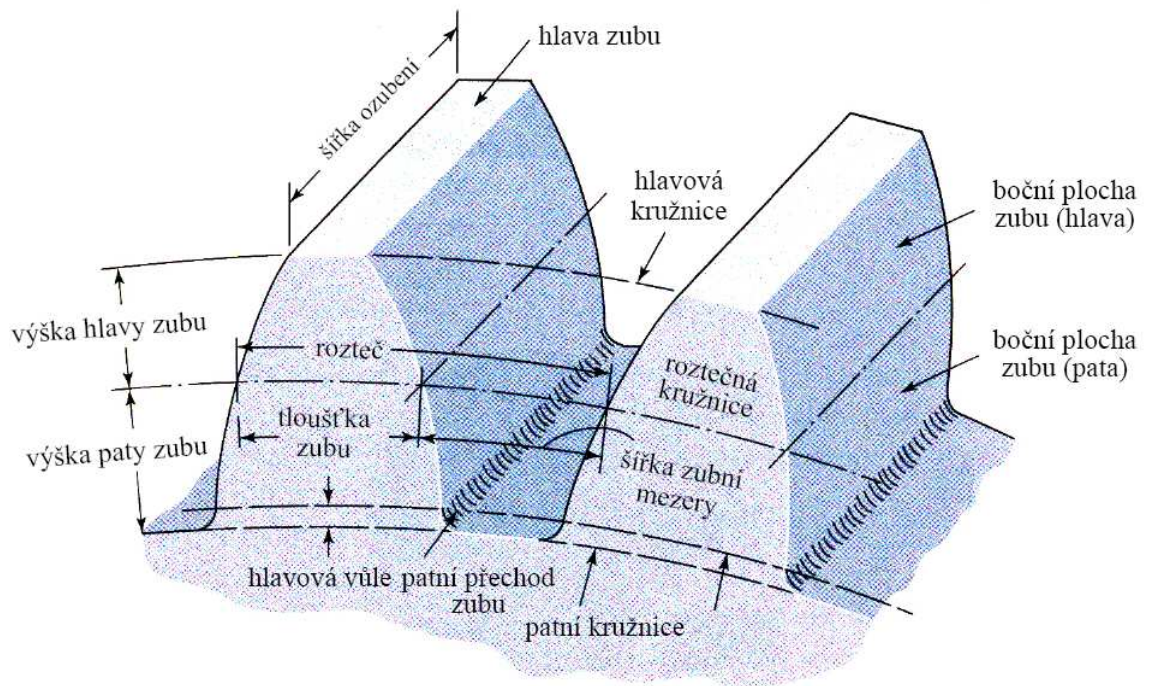
EVOLVENTA – je to křivka, která vzniká odvinováním "nitě" nebo přímky po základní kružnici. Evolventní ozubení lze poměrně snadno vyrobit obrážením pomocí ozubeného hřebene (profil boku zubů na nástroji není evolventní ale přímý).



Obr.1.02 Vznik evolventy [1]

Ve strojírenství se nejčastěji vyrábějí a používají ozubená kola se zuby ve tvaru evolventy. Méně často se pak vyrábí ozubení cykloidního typu, a to především kvůli velké složitosti a náročnosti výroby tohoto tvaru zuby.

Základní názvosloví evolventního ozubení:



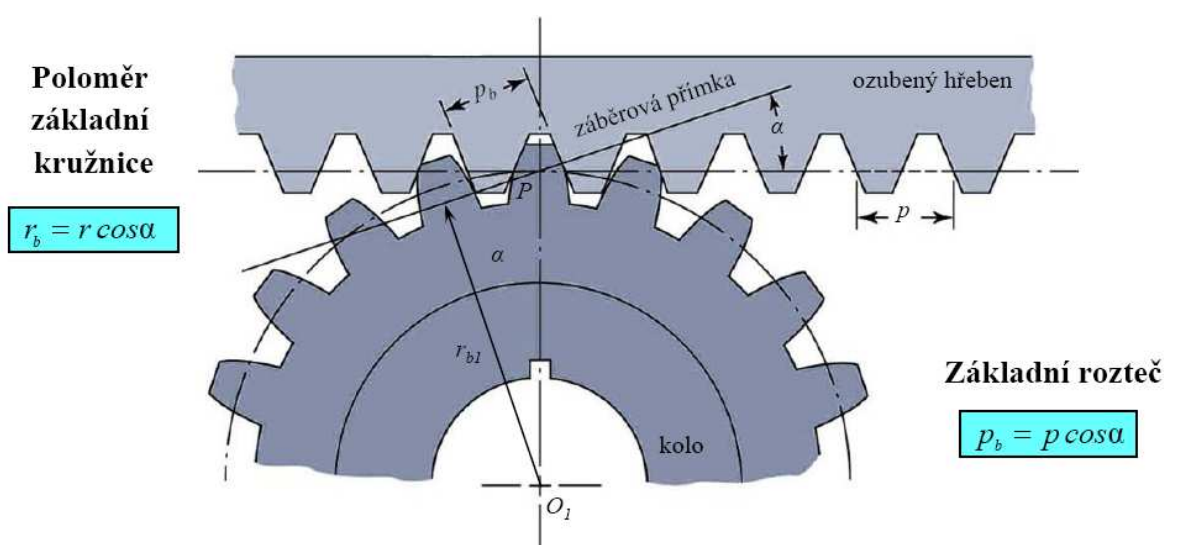
Obr.1.03 Část evolventního ozubení [8]

Základní parametr ozubení se nazývá **modul** a značí se ***m***. Velikost modulu se vypočítá ze vztahu:

$$\pi \cdot d = z \cdot p \Rightarrow d = z \cdot \frac{p}{\pi} = z \cdot m \quad (1)$$

kde p je rozteč, z je počet zubů a d je roztečná kružnice.

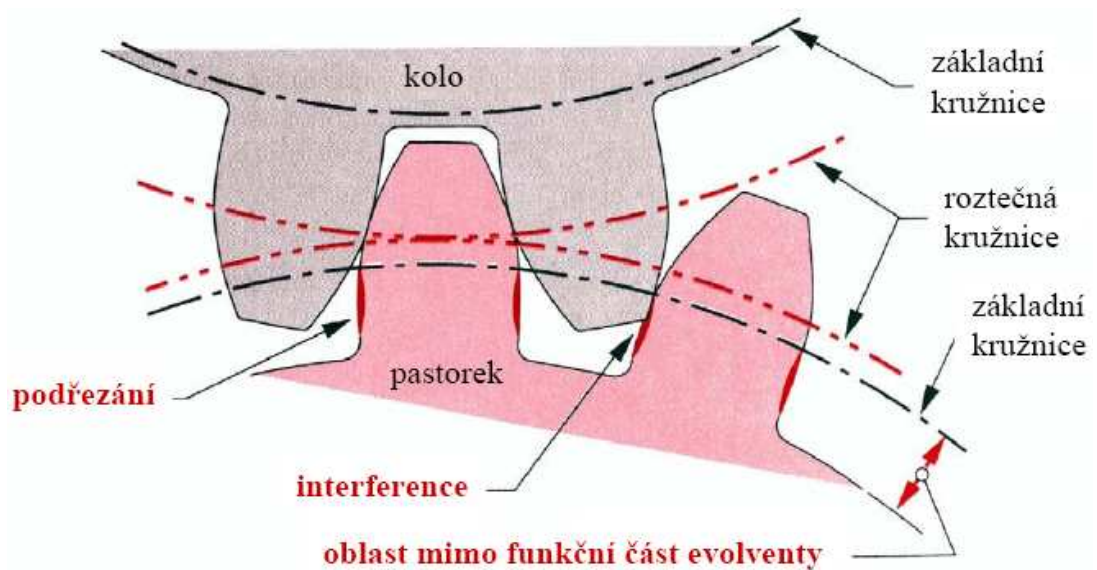
Úhel záběru se značí α a je to ostrý úhel, který svírá záběrová přímka s přímkou vedenou valivým bodem P kolmo na spojnici středů $O_1 O_2$. Úhel záběru a modul jsou základní předpoklady pro stanovení geometrie základního profilu. Norma stanovuje velikost úhlu záběru 20° . [9]



Obr. 1.04 Úhel záběru [9]

Interference boků zubů:

Interferencí boků zubů se označuje kolize částí boků zubů spolu zabírajících kol, jak ukazuje obr.1.05. Podříznutí boků zubů má nepříznivý vliv na zeslabení paty zubů při namáhání zubu na ohyb.



Obr.1.05 Ukázka interference boků zubů [9]

Minimální počet zubů při kterém nedojde k podřezání zubů se stanoví dle vztahu:

$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha} \quad (2)$$

Minimální počet zubů pro úhel záběru $\alpha=20^\circ$ je $z_{\min}=17$ zubů.

1.1 Druhy ozubení a soukolí

Základní obecné rozdělení ozubení:

- ČELNÍ OZUBENÍ
- KUŽELOVÁ OZUBENÍ
- ŠNEKOVÁ OZUBENÍ
- ŠROUBOVÁ OZUBENÍ

Čelní ozubení se dále dělí na:

- ozubení s přímými zuby – nejjednodušší geometrie, hlučný chod soukolí
- ozubení se šikmými zuby – pevnější, nižší hlučnost soukolí, vznik osových (axiálních) sil
- ozubení se šípovitými zuby – pro přenos větších zátěžných sil, nízká hlučnost soukolí



Obr. 1.11 Čelní ozubení přímé a šikmé [10]

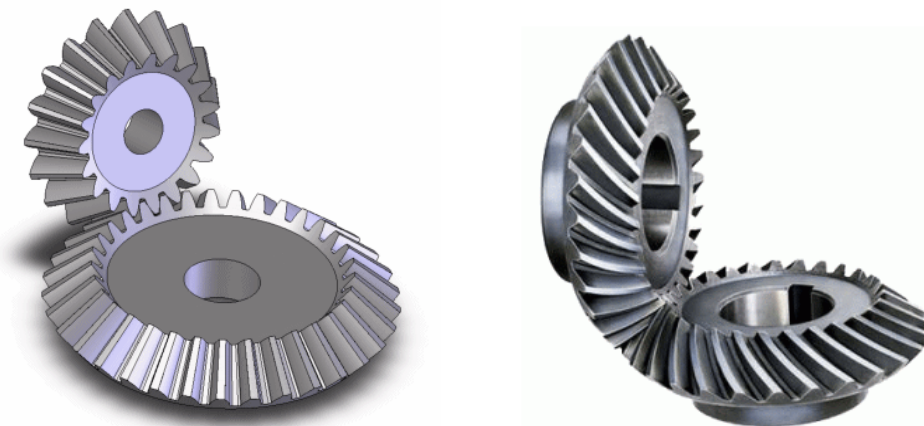


Obr. 1.12 Čelní šípovité ozubení [11]

Kuželová ozubení se dále dělí na:

- ozubení s přímými zuby – hlučnější soukolí, levnější výroba
- ozubení se šikmými a zakřivenými zuby – vyšší pevnost, tišší chod soukolí, vyšší náklady na výrobu

Kuželová soukolí se používají především pro přenos rotačního pohybu hřídelí otočených o úhel o velikosti 90° . Časté využití kuželových soukolí je u diferenciálních mechanismů.



Obr. 1.13 Kuželová ozubení s přímými a zakřivenými zuby [10]

Šneková soukolí:

Osy soukolí jsou mimoběžné (otočené o 90°). Vhodné pro velké přenosy zatížení. Výhody šnekového převodu spočívají v tichém chodu, jedním soukolím je možné realizovat velká převodová čísla a poměrně malý zaujatý prostor ozubení. Nevýhodou je nižší účinnost a nutnost intenzivního chlazení. Šnek vždy pohání šnekové kolo.



Obr. 1.14 Šnekové soukolí [12]

Šroubová soukolí:

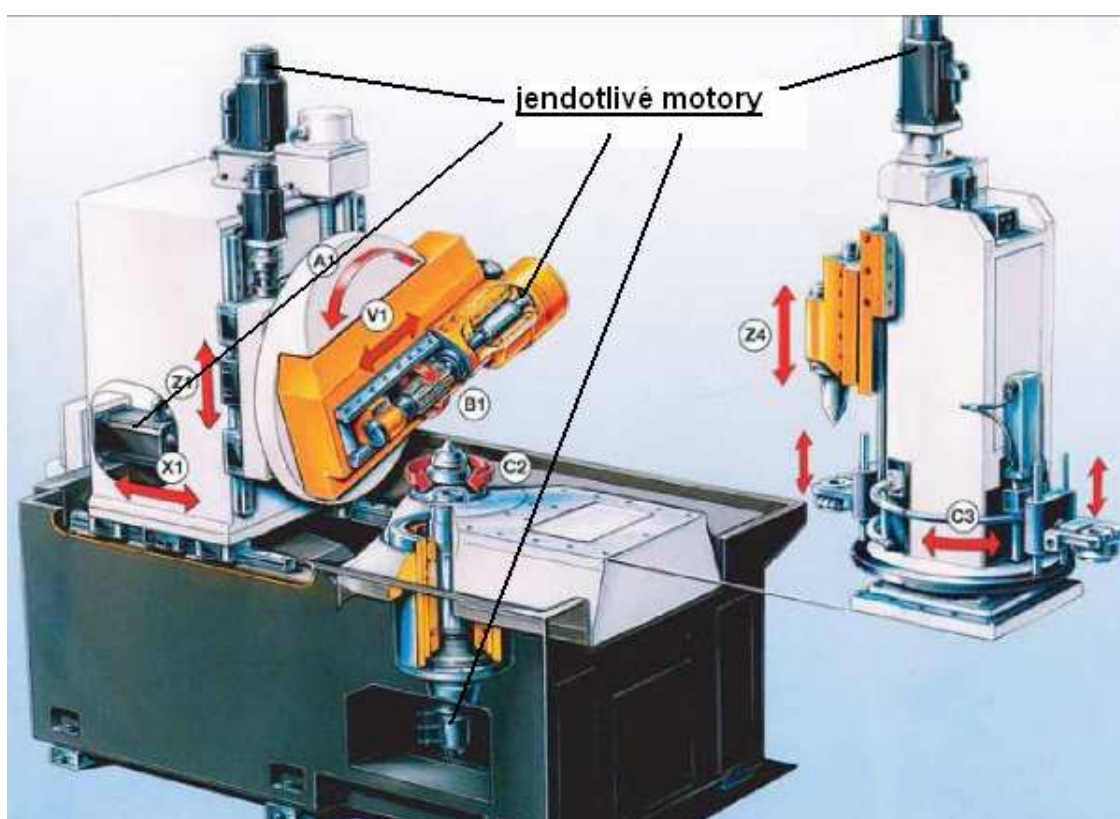
Šroubové soukolí slouží k vytvoření kinematické a silové vazby mezi mimoběžnými hřídeli. Jsou to vlastně čelní válcová nebo kuželová kola se zakřivenými zuby. Vzájemný dotyk není přímkový, ale bodový. Tento typ ozubení má nižší účinnost a proto nemá tak velký význam jako ostatní druhy.



Obr. 1.15 Šroubové kuželové soukolí [13]

1.2 Vývoj a trendy v oblasti ozubárenských strojů

Na přesnost a produktivitu výroby ozubených kol jsou v posledních letech kladeny velké požadavky. To si vyžaduje neustálou inovaci a zdokonalování dosud spolehlivě pracujících strojů. Rozvoj výpočetní techniky pronikl téměř všude nevyjímaje výrobních strojů zabývajících se výrobou ozubení. Číslicově ovládané stroje nesou označení CNC (**C**omputer **N**umerical **C**ontrol) výrobní stroje. Dnešní požadovanou kvalitu, přesnost ozubených kol a potřebnou produktivitu výroby dokáží tyto číslicově řízené stroje spolehlivě pokrýt. Počítačem řízené stroje jsou schopny pracovat ve velmi přesných tolerancích díky speciálním pohonům a odměřovací technice. Pohon CNC obráběcích strojů je odlišný od klasických obráběcích strojů. Např. u CNC odvalovací frézky jsou jednotlivé úseky pohybu (rotace nástroje, otáčení obrobku, posuv saní) realizovány pomocí samostatných pohybových motorů – servo pohonů - (viz. obr. 1.21). Díky této koncepci nemusí stroj obsahovat centrální motor se složitou převodovkou a tím odpadá i poměrně velká kinematická složitost stroje a je umožněno využít rám stroje na celkové zpevnění stroje samotného. [7]



Obr.1.21 Ukázka CNC servo pohonů [7]

Pro výměnu nástrojů u CNC strojů je zde vytvořen tzv. zásobník nástrojů a výměna probíhá téměř vždy automaticky. Některé stroje disponují i plně automatickou výměnou obrobků.

Metoda HSC (High Speed Cutting) vysokorychlostního obrábění se zařadila i do ozubárenských strojů. Tento způsob se vyznačuje vysokou řeznou rychlostí, která může dosáhnout 5 až 10 násobku klasického konvenčního obrábění. HSC obráběcí stroje jsou řízeny výhradně počítačem s určitým úzce specializovaným programem. [7]

Stroje pracující za podmínek HSC vyžadují speciální konstrukci z důvodu vzniku poměrně velkých silových účinků při obrábění vysokými rychlostmi, které zatěžují soustavu stroj, nástroj, obrobek. Z tohoto důvodu je kladen velký důraz na tuhost stroje i jeho dílčích částí. Velice intenzivní chlazení zaručí, že nedojde při procesu obrábění k tepelnému ovlivnění jak obrobku, tak nástroje. Úplné zakrytování stroje zaručuje co největší bezpečnost při obsluze a zamezuje úniku kapalin do okolního prostředí.

HSC obrábění se v posledních letech řadí mezi velice progresivní metody a díky vývoji v této oblasti je dnes možné velice rychle, přesně a především efektivně vyrobit požadované ozubení. [7]

2 VÝROBNÍ ZAŘÍZENÍ NA VÝROBU OZUBENÝCH KOL

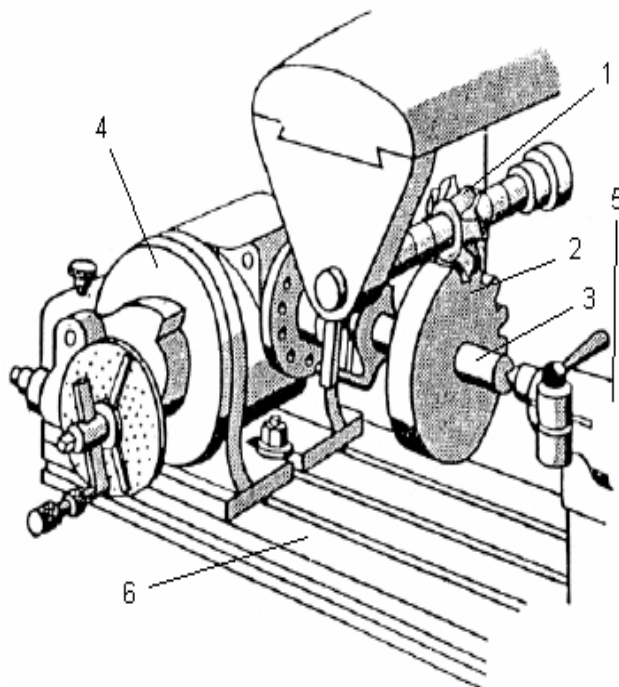
Současné stroje sloužící k výrobě ozubených kol jsou schopny pracovat v kusových, malých i velkých sériích výroby, dle typu stroje. Požadovaná přesnost jak povrchu, tak i geometrie vyrobeného ozubení musí splňovat zadané hodnoty na výkresu. Toho je dosahováno použitím vhodné řezné kapaliny, správného nastavení stroje, správného nastavení nástroje, kvalitním naostřením nástroje, optimálním zvolením řezných podmínek atd.

V současné době se používají především tyto způsoby výroby čelních ozubených kol:

- Obrábění tvarovým nástrojem. Tento způsob je založen na odstraňování zubové mezery nástrojem, který má totožný tvar jako zubová mezera. Čili pro každou velikost a tvar zubu je použit jiný nástroj. Jako nástroj se nejčastěji používá kotoučová, nebo stopková fréza. Může být použit i tvarový brusný kotouč – dokončovací operace. Po vytvoření jedné zubové mezery je potřeba pootočit obrobek o požadovaný úhel. To se provádí přesným dělicím mechanismem. Dělení se provádí ručně, nebo automaticky.
- Obrábění odvalovacím způsobem. Jako nástroj se používá odvalovací fréza, která za stálého otáčení a odvalování po obrobku odebírá materiál a tím vytváří zubové mezery.
- Obrábění obrážecím způsobem. Nástroj je ozubený hřebenový nůž, nebo obrážecí kolo. Při výrobě ozubení hřebenovým nožem se řezný proces musí přerušit, vlivem jeho omezené délky. U druhého nástroje tato komplikace odpadá a řez je plynulý.
- Obrábění kopírováním. Tento způsob se provádí pomocí šablony a nejčastěji je použit u velkých čelních ozubených kol a velkých kuželových kol.
- Dokončovací operace. Do této skupiny spadá například broušení, ševingování, lapování, leštění, honování - (honují se pouze kalená kola) a další metody. Tyto slouží zejména ke zlepšení drsnosti povrchu a zvýšení přesnosti geometrie zubu. Dokončovací operace se realizují u kol s kinematickou přesností lepší než pět a kol, která se povrchově upravují.

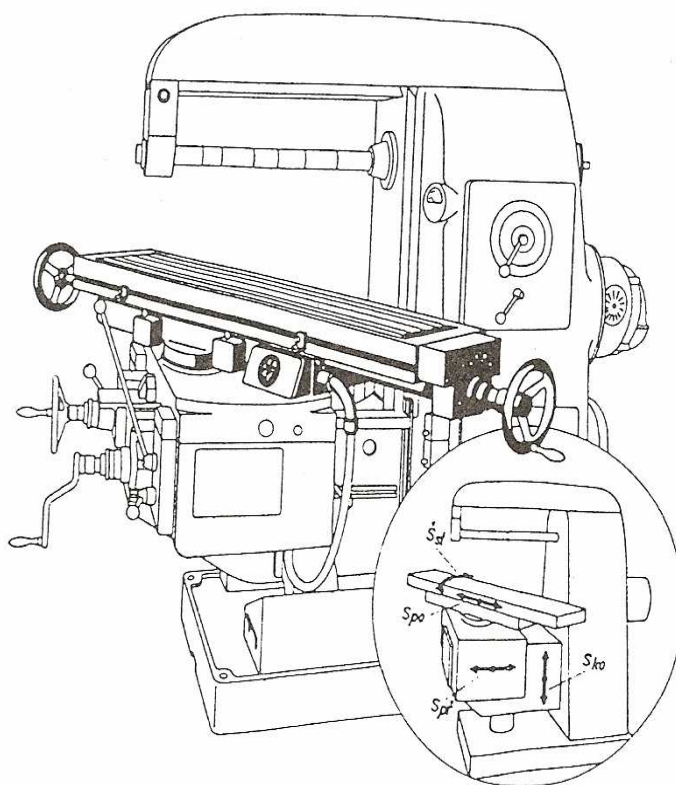
2.1 Stroje na výrobu ozubení tvarovým nástrojem

2.1.1 Frézování dělicím způsobem za použití kotoučové frézy



Obr.2.11 Frézování dělicím způsobem [2]

Princip práce stroje: Převod od pohybového šroubu stolu je zajištěn pomocí ozubených kol, které jsou propojené s dělicím přístrojem (4). Tento dělicí přístroj umožňuje pootáčení frézovaného kola (2) o požadovanou hodnotu a fréza (1) za stálého otáčení obrábí kolo. Obrobek (2) je upnut na trnu (3), který dále pokračuje ke koníku (5). Jak koník, tak i dělicí přístroj je pevně připevněn šrouby, nebo upínkami ke stolu (6). Pro výrobu čelního šikmého ozubení se tento stůl (6) šikmo vykloní. Pokud se stůl (6) nevykloní a zůstane v základní poloze bude vyráběné ozubení přímé, jak je zobrazeno na Obr.2.11.



Obr.2.12 Univerzální frézka [2]

Na obrázku 2.12 je znázorněna univerzální frézka a možnosti pohybu stroje. Na tomto stroji lze frézovat čelní ozubení šikmé. Šikmé ozubení vznikne složením dvou pohybů a to posuvného pohybu stolu a otáčivého pohybu dělicího přístroje.

Spo - pohyb podélného stolu
Spt - pohyb příčných saní
Sko - svislé přestavování konzoly
Sst - nastavení stolu do šikmé polohy



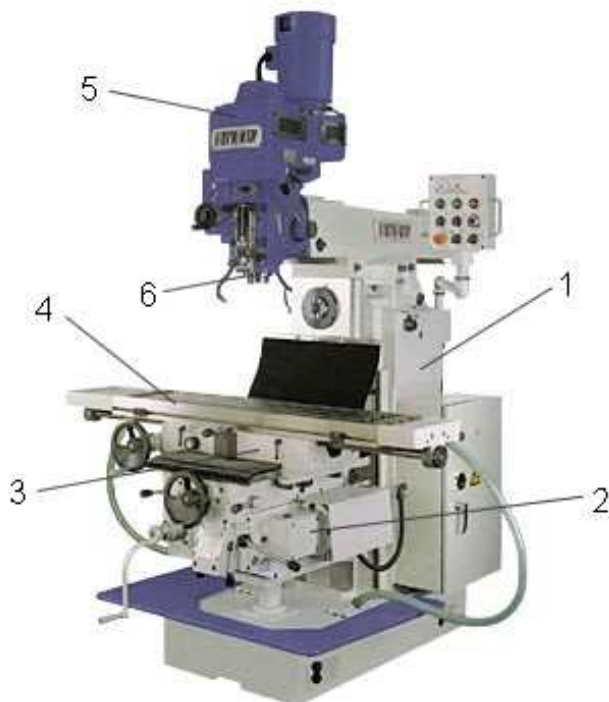
Vodorovná konzolová frézka (Obr.2.13) slouží k výrobě čelního přímého ozubení – stavba stroje:

1 – stojan, 2 – konzola, 3 – příčné saně, 4 – podélný stůl, 5 – vřeteno, 6 – výsuvné rameno, 7 – podpěrné ložisko, 8 – ovládací panel, 9 – deska rámu

Na vodorovné frézce nelze vytvořit šikmé ozubení, jelikož podélný stůl nelze naklonit do šikmé polohy.

Obr.2.13 Příklad frézky CS-U450 CNC [16]

2.1.2 Frézování dělicím způsobem za použití stopkové frézy



U svislé konzolové frézky (Obr.2.14) se používá k výrobě ozubených kol tvarový nástroj – stopková fréza.

Stavba stroje:

1 – stojan, 2 – konzola, 3 – příčné saně, 4 – podélný stůl, 5 – vřeteník, 6 - vřeteno

Kola velkých průměrů a velkých modulů jak se šikmými, šípovými, tak i s přímými zuby se frézují zejména stopkovými frézami a to z důvodů, že kotoučová fréza by byla příliš velkých rozměrů.

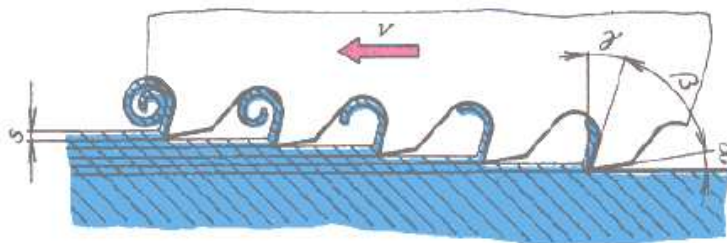
Obr.2.14 Příklad frézky CS-G450C CNC [16]

2.1.3 Protahování ozubených kol

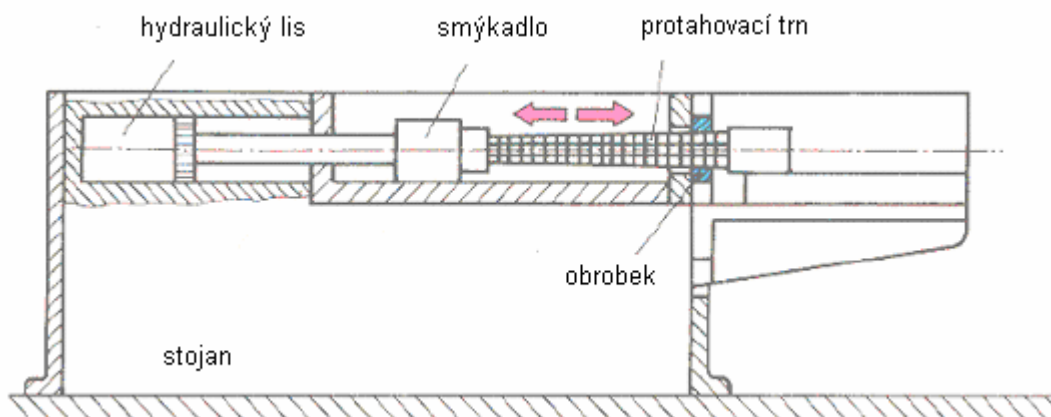
Protahování se řadí mezi velmi výkonné a přesné výroby ozubených kol a používá se především pro hromadnou výrobu a to zejména z důvodu složitého ostření nástroje (návrtnost nákladů). Větší využití protahování je u vnitřních ozubení, než u vnějších. Pokud se zhotovuje vnější ozubení protahovacím trnem děje se tak s využitím dělicího přístroje, který zajistí pootočení obrobku o danou rozteč zubu. Proces se opakuje do zhotovení všech zubů na kole. Konečný tvar obrobeneé plochy je dokončen po jednom průchodu nástroje.

Stroje na protahování (protahovačky) se dělí na dva základní typy a to na svislé a vodorovné. Nejdůležitějším parametrem u protahovacích strojů je maximálně možná vyvinutá průtažná síla na nástroj. Tato se pohybuje v rozsahu od 20 000 N až do 60 000 N dle typu stroje.

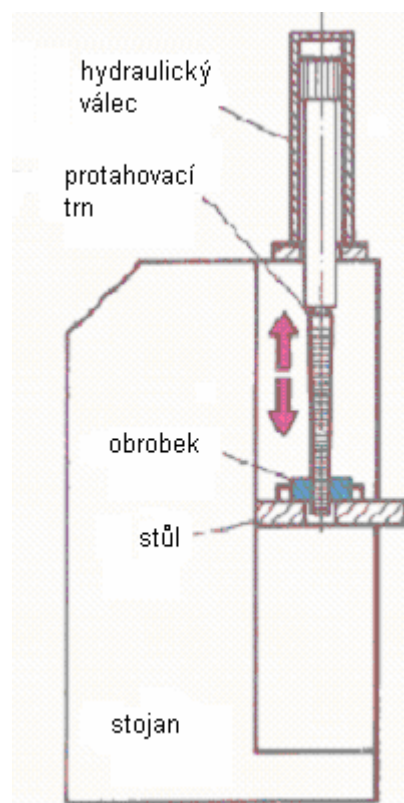
Princip protahování – zuby nástroje (trnu) postupně odebírají materiál obrobku o tloušťkách s až do požadované hloubky jak je znázorněno na obr.2.16 a poslední zuby trnu vykonají kalibrovací část protahování.



Obr.2.16 Princip odebírání materiálu u protahování [26]



Obr.2.17 Schéma vodorovného protahovacího stroje [6]



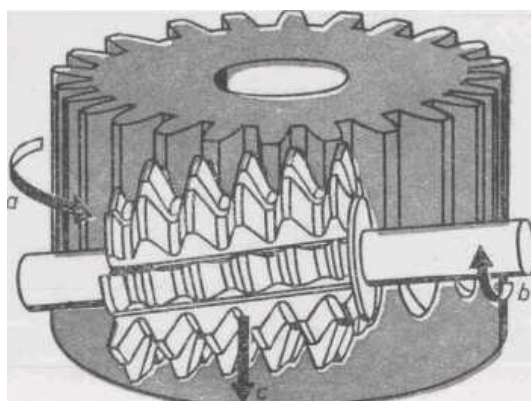
Obr.2.18 Ukázka svislého protahovacího stroje [17] + schéma [6]

2.2 Stroje na výrobu ozubení odvalovacím způsobem

Frézování ozubení odvalovacím způsobem na odvalovací frézce

Princip: Za stálého otáčení odvalovací frézy se obráběné kolo postupně odvaluje po fríze a tím vzniká profil zubů obráběného kola, jak je znázorněno na Obr.2.21. Stroje, které se používají k tomuto způsobu výroby se nazývají odvalovací frézky. Používají se jak klasické odvalovací frézky, tak odvalovací CNC frézky.

Odvalovacím frézováním lze vyrábět přímé, šikmé i šnekové čelní ozubení.



Obr.2.21 znázorňuje pohyby jak brobku (kola), tak odvalovací frézy.

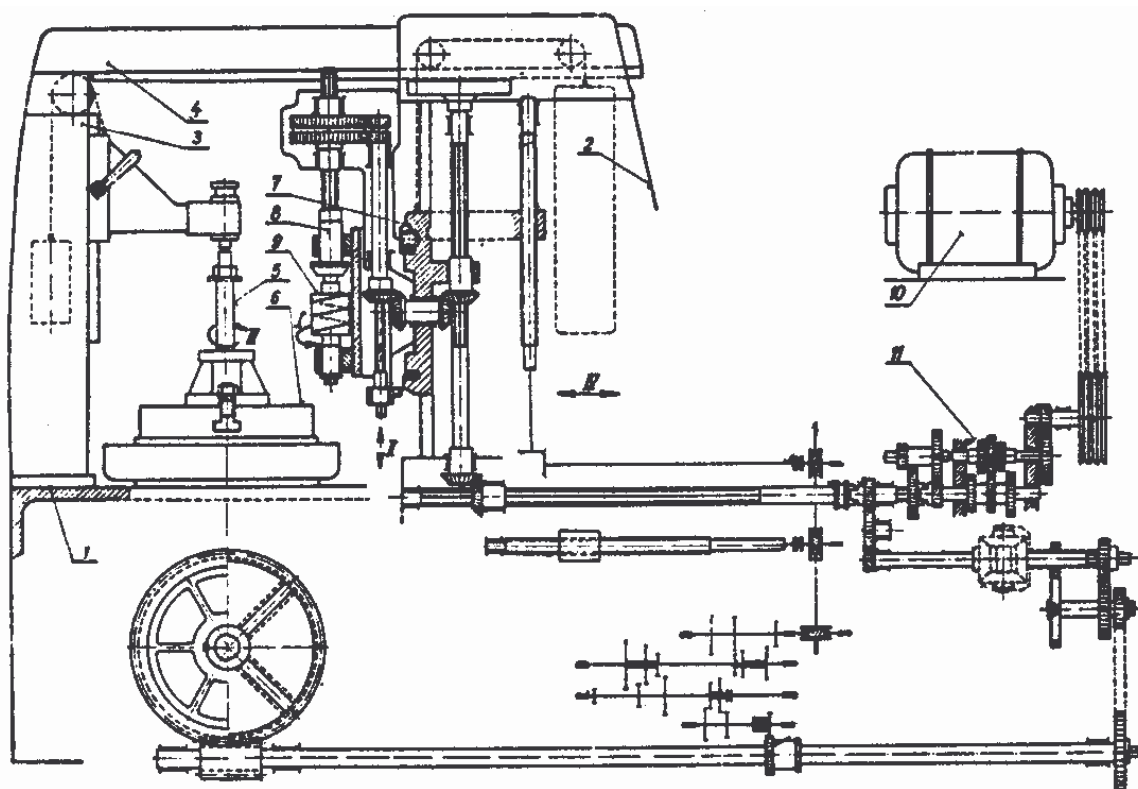
- a – otáčivý pohyb obrobku
- b – otáčivý pohyb odvalovací frézy
- c – svislý pohyb odvalovací frézy

Obr.2.21 Hlavní pohyby u odvalovacího frézování [27]



Obr. 2.22 Odvalovací způsob obrábění [27]

Odvalovací způsob obrábění ozubených kol je přesnější a rychlejší, než frézování ozubení dělicím přístrojem. Dále je možné frézovat jednou odvalovací frézou všechny počty zubů pro jednu rozteč.



Obr.2.23 Schéma odvalovací frézky [5]

Schéma stroje: Posuvný stojan (2) a pevný stojan (3) jsou uloženy na vedení (1). Stojany (2) a (3) jsou spojeny příčkou (4). Tato příčka zpevňuje konstrukci stroje. Na otočném stole (6) se nachází trn (5), na který se upíná obrobek. Frézu (9) je možné nastavit vodorovně, nebo do šikmé polohy. Fréza (9) je upnuta do vřetene (8). Toto je dále propojeno s vřeteníkem (7), který je spojen s posuvným stojanem (2). Pohon odvalovací frézky je realizován pomocí elektromotoru (10), dále je šířen přes převodovou skříň (11) a soustavou hřídelí a ozubených kol. [5]

Základní pohyby stroje:

- hlavní řezný rotační pohyb nástroje (9)
- rotační pohyb otočného stolu (6)
- posuv vřeteníku směrem dolů
- přísuv posuvného stojanu (2)

Na obrázku Obr. 2.24 je znázorněna moderní svislá odvalovací frézka typu CNC. Výroba na tomto stroji je rychlejší, efektivnější a přesnější. Obsluha, seřizování a údržba stroje jsou řešeny tak, aby byly jednoduché, rychlé, a bezsilově ovládané. Na tomto stroji lze obrábět jak nezakalené, tak i zakalené obrobky. CNC odvalovací frézka je ovládána pomocí počítače a programem na obrábění dané firmy.



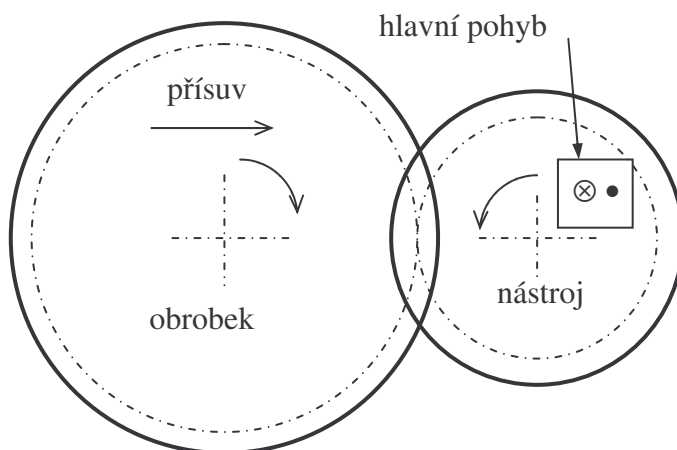
Obr. 2.24 Odvalovací frézka OFA 100 CNC 6 [21]

2.3 Stroje na výrobu ozubení obrážecím způsobem

Tato metoda se dělí na 2 základní skupiny:

- odvalovací obrázení kotoučovým nožem (FELLOWS)
- odvalovací obrázení hřebenovým nožem (MAAG)

Odvalovací obrázení kotoučovým nožem (FELLOWS):

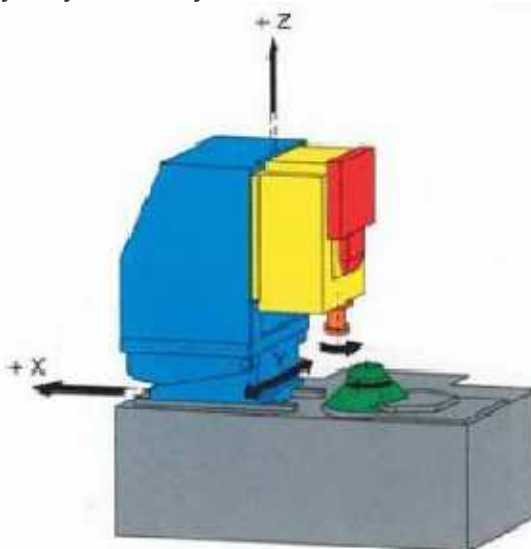


Princip této metody spočívá ve vzájemném odvalování nástroje a obrobku po valivých kružnicích. Nástroj i obrobek se otáčejí kolem svých os v opačných směrech otáčení. Schéma pohybů je znázorněno na obr.2.31.

Obr.2.31 Kinematika obrázení metodou FELLOWS [28]

Nástroj, který je nejprve mimo dosah obrobku začne konat hlavní pohyb (podélný s osou ozubení). Poté co se obrobek dotkne nástroje dojde k prvnímu úběru třísky. Jakmile se dostane kotoučový nůž do horní úvratě nastane současně pootočení nástroje (kotouče) i obrobku a obrobek se přisune o požadovanou hodnotu do záběru, která odpovídá tloušťce třísky. Tento proces se opakuje až do chvíle, kdy se valivé kružnice navzájem dotýkají. Jakmile jsou tyto kružnice v dotyku, vypne se přísuv a probíhá pouze hlavní a odvalovací pohyb.

Obrážecí zařízení, které využívají kotoučových nožů jsou určeny především pro sériovou výrobu a mezi velké výhody patří schopnost výroby ozubení i do slepé díry a poměrně velkou produktivitu práce při malých obrážených modulech. Obrázení odvalovacím způsobem je nejrozšířenější a nejrychlejší způsob výroby ozubených kol.



Obr.2.32 Zjednodušené schéma obrážecího stroje [7]



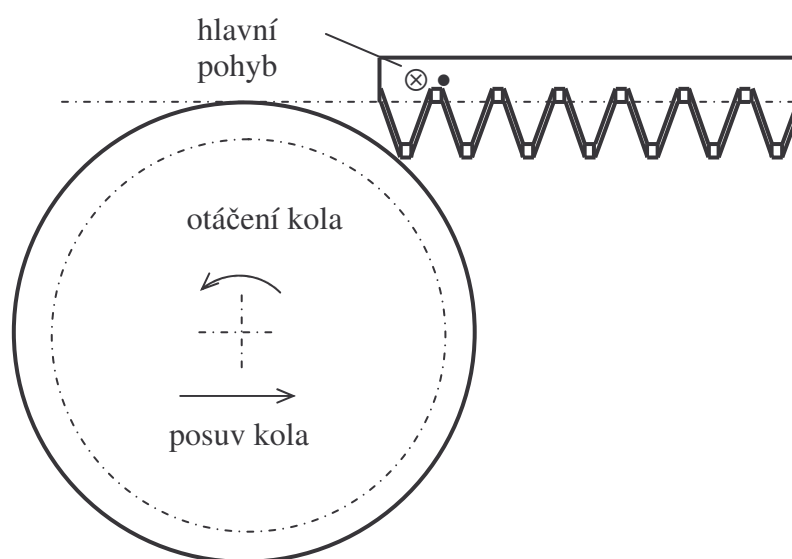
Obr.2.33 CNC obrážecí stroj [19]

Vysoce výkonný obrážecí odvalovací stroj typu CNC, který je zobrazen na Obr.2.33, je určený pro obrázení vnějšího i vnitřního ozubení čelních ozubených kol s přímými i šikmými zuby. Ovládání stroje je realizováno počítačem a programem určeným pro daný typ stroje. V tomto případě se jedná o obráběcí program SINUMERIK 840D.

Odvalovací obrázení hřebenovým nožem (MAAG):

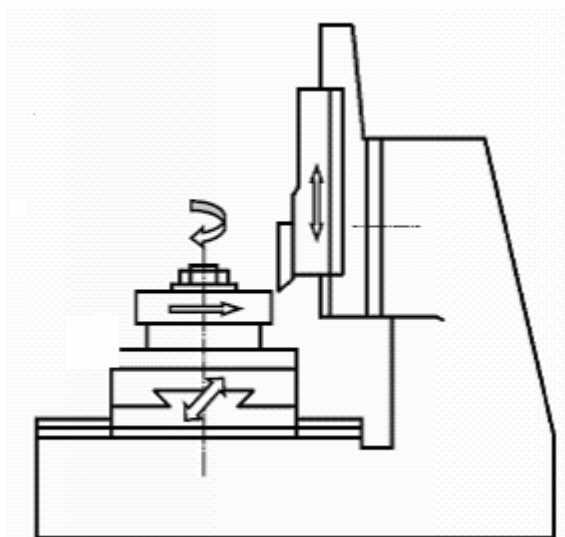
Název MAAG vznikl od firmy, která vyvinula stroje pro tuto metodu výroby ozubení.

Podstata: Nástroj a obrobek spolu zabírají obdobně jako ozubené soukolí. Valivá kružnice obrobku se odvaluje podél valivé přímky hřebene. Hlavní pohyb zde koná nástroj (hřeben), jak je zobrazeno na obrázku 2.34. Protože nástroj (hřeben) má určitou délku a jen několik zubů, je proces obrázení v určité chvíli přerušen a obrobek se musí vrátit zpět na začátek hřebene, aby se mohly vytvořit i zbývající zuby. Kvůli tomuto omezení není výroba tak rychlá a plynulá, jako u obrázení kotoučovým nožem a lze vyrobit pouze vnější ozubení. Naproti tomu je však dosahována velmi dobrá přesnost zhotovených ozubení.



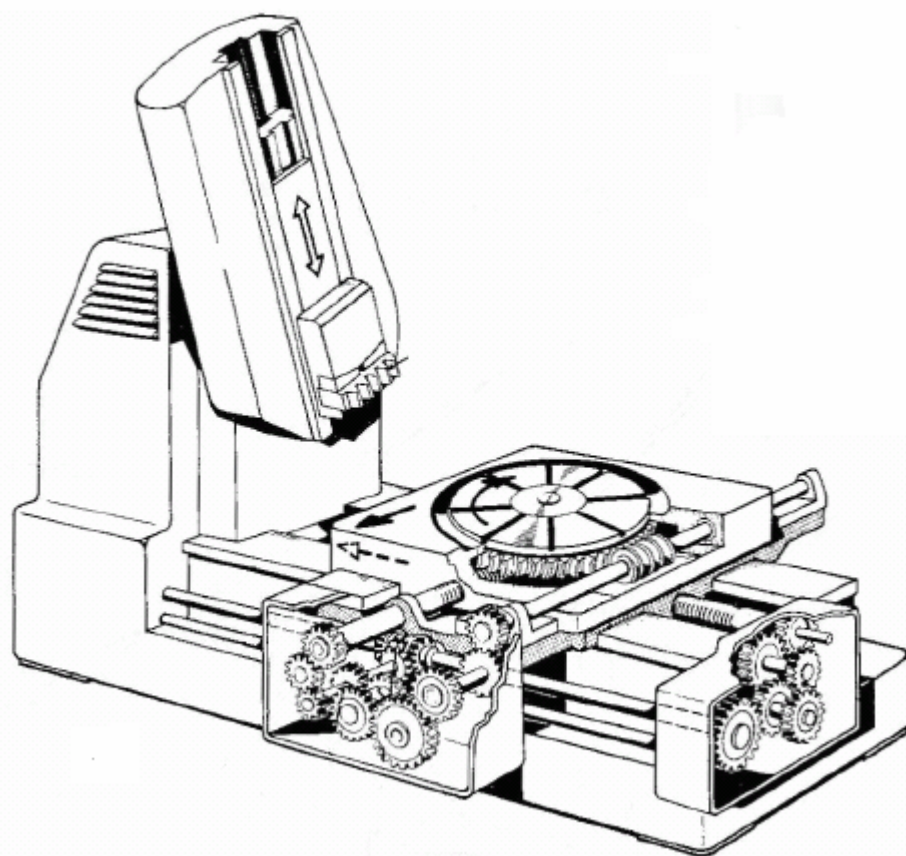
Obr.2.34 Kinematika obrázení metodou MAAG [28]

Obr.2.35 ukazuje principiální schéma obrážčky typu MAAG a pohyby jednotlivých částí stroje. V dnešní době se používají obrážecí stroje typu CNC. U těchto strojů jsou realizované pohony jednotlivých os samostatně a tím odpadá složitý pohonný mechanismus.



Obr.2.35 Schéma obrážecího stroje [18]

Axonometrický pohled na obrážecí stroj (obr.2.36).Šikmé nastavení smýkadla napovídá o možnosti výroby šikmého čelního ozubení.



Obr.2.36 Obrážecí stroj[18]

2.4 Stroje na dokončovací operace při výrobě ozubení

Na přesnost ozubení jsou kladeny mnohdy velké požadavky a proto je vhodné a někdy i nutné do výroby zařadit některou z dokončovacích operací. U přesněji vyráběného ozubení nevzniká za chodu tak velký hluk a je zde daleko menší opotřebení, než u ozubení vyrobeného bez dokončovací operace. To se projevuje zejména při velkých rychlostech a velkém zatížení kol. Hlavním úkolem dokončovacích metod je především zvýšit přesnost a zmenšit drsnost funkčních ploch.

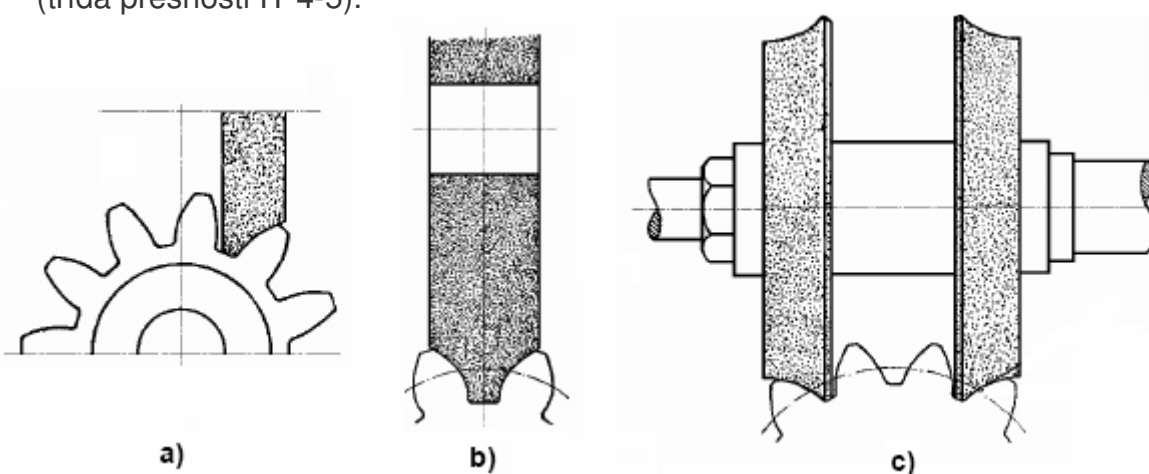
Dokončování ozubení je možné provádět více způsoby, a to:

- Broušením - dělicím způsobem
- odvalovacím způsobem
- Švingováním
- Lapováním
- atd.

2.4.1 Broušení ozubených kol dělicím způsobem

Používá se pro kalená ozubená kola a pro kola s velkou obvodovou rychlostí.

Brusný kotouč, který má tvar zubové mezery, nebo jednoho boku zubu koná rotační a přímočarý vratný pohyb a tím dochází k odebrání materiálu. Jakmile je brusný kotouč mimo záběr dochází k automatickému otočení obrobku o požadovaný úhel a proces broušení se opakuje pro všechny zuby. Chlazení je nedílnou součástí procesu, aby nedocházelo k tepelnému ovlivnění povrchu ozubení a aby se brusný kotouč výrazně neopotřeboval. Opotřebení kotouče je ošetřeno občasným přebroušením diamantem. Orovnání nástroje je obtížné z důvodu poměrně složitého profilu nástroje. Při broušení dvěma nástroji brousí každý kotouč jednu stranu zubu (obr.2.41 c). Produktivita práce na těchto strojích je velká. Přesnost je menší (třída přesnosti IT 4-5).



Obr.2.41 Způsoby broušení ozubení
a) systém Sfedr, b) systém Minerva, c) Hamrova metoda [2]

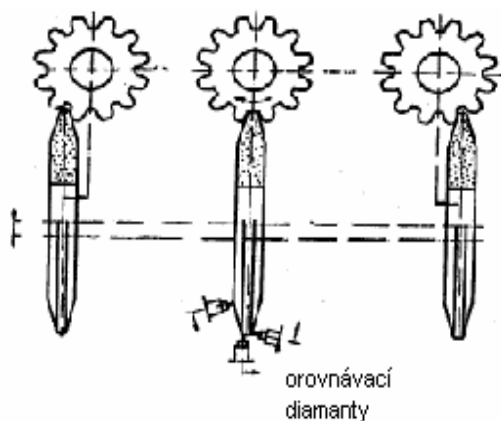
2.4.2 Broušení ozubených kol odvalovacím způsobem

Broušení odvalovací metodou je přesnější, než na dělicím přístroji. Odvalovací způsob broušení se dělí na 3 základní skupiny, a to:

- broušení jedním kotoučem (NILES, KOLB)
- broušení dvěma kotouči (MAAG)
- broušení kotoučem ve tvaru evolventního závitu

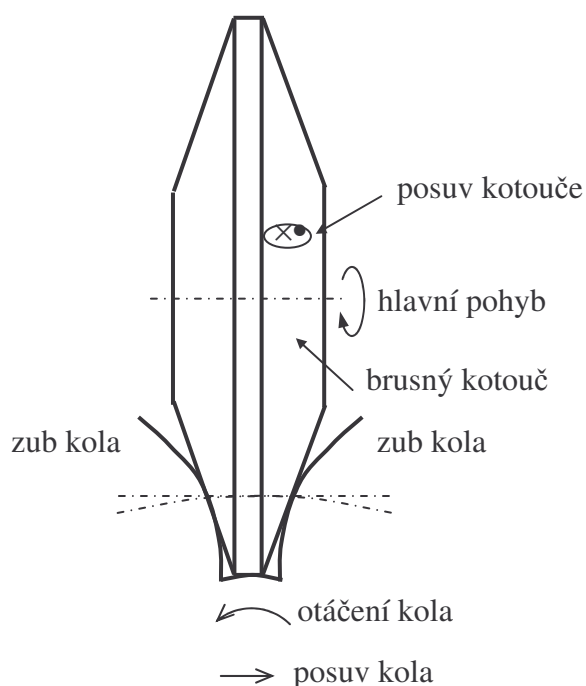
Broušení jedním kotoučem (NILES, KOLB):

Brusný kotouč lichoběžníkového tvaru koná hlavní rotační pohyb a přitom dochází ještě ke vratnému přímočarému pohybu ve směru rovnoběžném s osou rotace broušeného kola (obr.2.43). Brusný kotouč u metody Niels je užší než u metody Kolb a dotýká se jen jednoho zubu.



Obr.2.42 popisuje jednotlivé kroky odvalování polotovaru po brusném kotouči a orovnávání kotouče diamantem.

Obr.2.42 Jednotlivé kroky broušení a orovnáání kotouče [5]



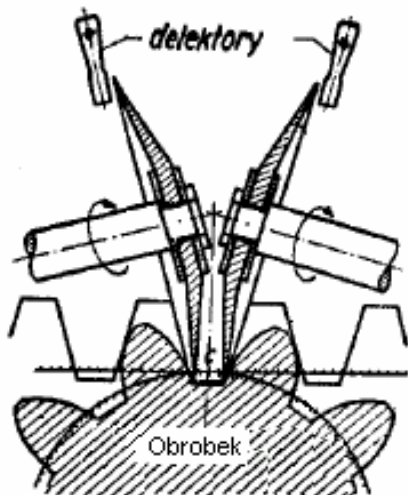
Velmi důležitý je přívod chladicí kapaliny do místa broušení. Chlazení musí být dostačující a intenzivní, aby se zabránilo vzniku vysokých teplot v místě broušení a následném tepelném ovlivnění povrchové vrstvy ozubení. Dosahovaná přesnost jak povrchu, tak i geometrie je poměrně vysoká.

Obr.2.43 Princip metody KOLB [28]

Broušení dvěma kotouči (MAAG):

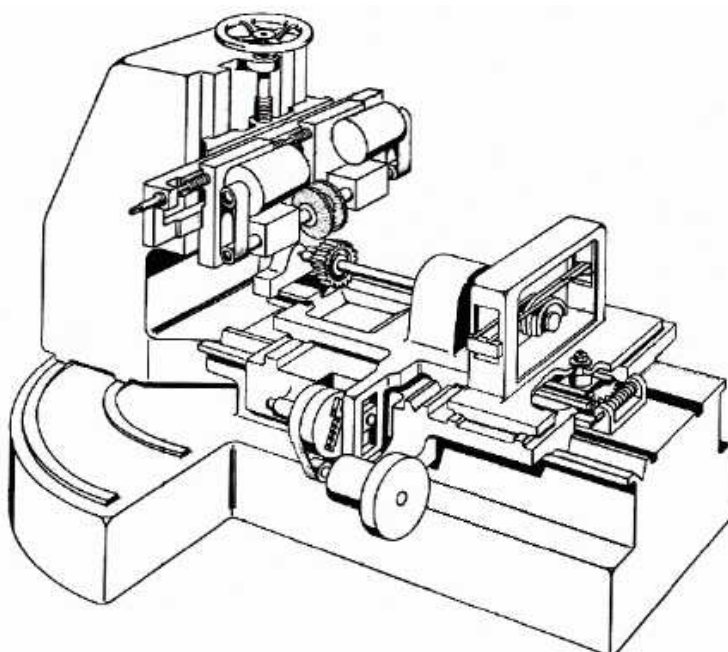
Tento způsob je častější, než předchozí.

Dva talířové nástroje rotují kolem svých os a zároveň konají vratný přímočarý posuv ve směru rovnoběžném s osou broušeného kola. Plochy brusného kotouče, které jsou v přímém kontaktu s ozubením jsou malé (cca 1,5 mm) a neustále kontrolovány zařízením umístěným uvnitř stroje (detektory). Díky malé kontaktní ploše brusného kotouče a ozubení je možné brousit i za sucha. Jakmile kontrolní zařízení zjistí větší odchylku než je dovolená automaticky dochází k orovnění kotoučů a opětovnému nastavení do vyhovující polohy. Složitost stroje je díky této kontrole daleko větší a stroje jsou dražší. Výroba je však velmi přesná (cca ± 2 tisícin) a kvalita povrchu je také velmi vysoká.



Obr.2.44 Princip metody MAAG [5]

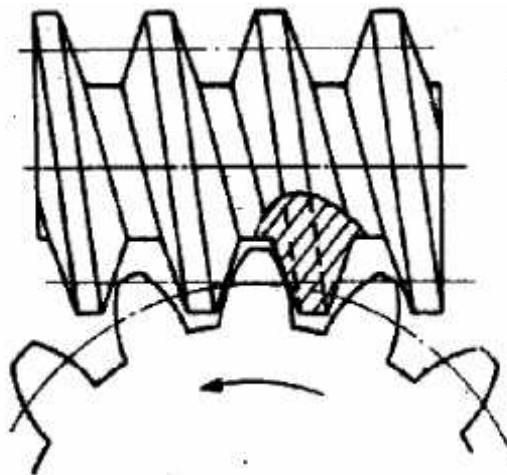
Axonometrický pohled na odvalovací brusku typu Maag (obr.2.45).



Obr.2.45 Odvalovací bruska [18]

Broušení kotoučem ve tvaru evolventního závitu

Princip broušení ozubení touto metodou je obdobný jako frézování ozubených kol odvalovací frézou. Brusný kotouč má na obvodě navinutý závit ve tvaru základního profilu a ten se odvaluje po broušeném ozubení (obr.2.46). Stroje, na kterých se provádí toto broušení vyrábí především firma REISHAUER.



Obr.2.46 Princip broušení [18]

V dnešní době se používají moderní brusky firmy Reishauer typu CNC (obr.2.48). Na obrázku (obr.2.47) je zobrazen detailnější pohled na brusný kotouč a obrobek. Výměna a manipulace s obrobky je realizována pomocí plně automatického podavače. Přerovnání brusného kotouče je taktéž realizováno automaticky přímo v samotném stroji.



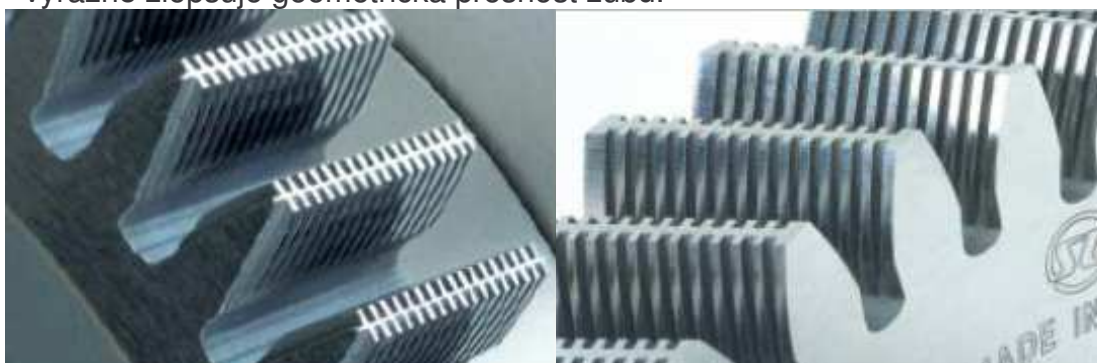
Obr.2.47 Broušení šikmého ozubení brusným kotoučem ve tvaru závitu [15]



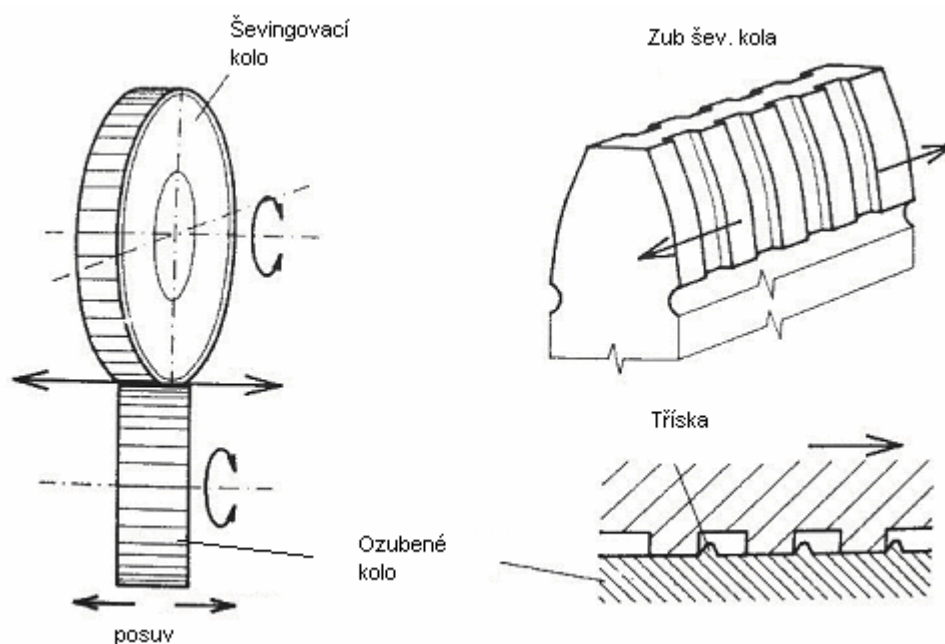
Obr.2.48 Stroj na odvalovací broušení REISHAUER FZ 303C [15]

2.4.3 Ševingování ozubených kol

Ševingování je dokončovací způsob ozubených kol s nejnižším poměrem výrobních nákladů. Slouží k dokončování ozubených kol, která nejsou zakalená. Nástrojem je nejčastěji ševingovací ozubené kolo s drobnými drážkami na bocích zubů. Tyto drobné drážky slouží jako řezné hrany, které odebírají materiál z boků zubu ve formě drobných třísek. Ševingovací kolo je poháněné a dokončované kolo je jím unášeno. Nástroj (ševingovací kolo) přitom vykonává kmitavý vratný pohyb rovnoběžný se svou osou otáčení. Ševingováním se výrazně zlepšuje geometrická přesnost zubů.



Obr.2.49 Detail ševingovacího kola [29]



Obr.2.49 Princip ševingování



Obr.2.50 Ševingovací stroj SIMCAT RASO 400 [22]

2.4.4 Lapování ozubených kol

Lapovat se můžou kola zakalená i nezakalená.

Nástrojem je lapovací ozubené kolo, které je vyrobeno z jemnozrné litiny velmi přesných rozměrů. Modul ozubení nástroje je stejný, jako modul lapovaného kola. Pohyby při lapování jsou obdobné jako při ševingování. Litinové kolo (nástroj) je poháněné a lapované je bržděné, aby se docílilo většího tlaku ve styčných plochách ozubení. Smysl otáčení nástroje a

obrobku se musí za určitou dobu otočit, aby se umožnilo lapování i opačných boků zubů. Do procesu je zapojeno brusivo ve formě prášku (elektrokorundu – zrnitost 200 až 250), oleje s brusivem, nebo jemné lapovací pasty. Ozubená kola se brodí v brusném prostředí (např. v oleji s brusivem) a toto ulpívá na ozubení. Brusivo je při procesu vtlačováno do méně tvrdého materiálu (nástroje) a tímto potom jsou odebírány velmi malé třísky z lapovaného kola. Drsnost povrchu zubů po tomto dokončovacím způsobu výroby ozubení je velmi dobrá. Může se dosáhnout až $Ra=0,1 \div 0,2 \mu\text{m}$.

3 POUŽÍVANÉ NÁSTROJE K VÝROBĚ OZUBENÝCH KOL

Dle technologie se používají různé druhy a typy nástrojů, kterými lze zhotovit ozubení. Druh technologie i typ nástroje se volí vzhledem k velikosti obráběného kola, velikosti modulu ozubení, přesnosti ozubení, zda je materiál již tepelně zpracován či není atd. Velmi důležitou roli zde hraje i cena, za kterou je možné ozubení vyrobit. Tyto kritéria rozhodují jakým způsobem a nástrojem bude ozubení vyráběno.

Základní rozdělení nástrojů dle technologie výroby ozubení:

- Frézovací nástroje - KOTOUČOVÁ MODULOVÁ FRÉZA
- STOPKOVÁ FRÉZA
- ODVALOVACÍ FRÉZA
- Obrážecí nástroje - HŘEBENOVÝ NŮŽ (MAAG)
- KOTOUČOVÝ NŮŽ (FELLOWS)
- Protahovací nástroje - PROTÁHOVACÍ TRNY
- Dokončovací nástroje - BRUSNÝ KOTOUČ
- ŠEVINGOVACÍ KOLO
- LAPOVACÍ KOLO

Frézovací nástroje:

Kotoučová modulová fréza – bříty frézy mají stejný tvar, jako je zubová mezera vyráběného ozubení. Frézy se používají v určitých sadách, a to z důvodu odlišného tvaru zakřivení boků zubů frézy dle počtu vyráběných zubů na kole. Čili pro určitý počet zubů na kole se použije ta fréza, která je určena právě pro tento počet zubů.

Sady fréz jsou rozděleny následovně:

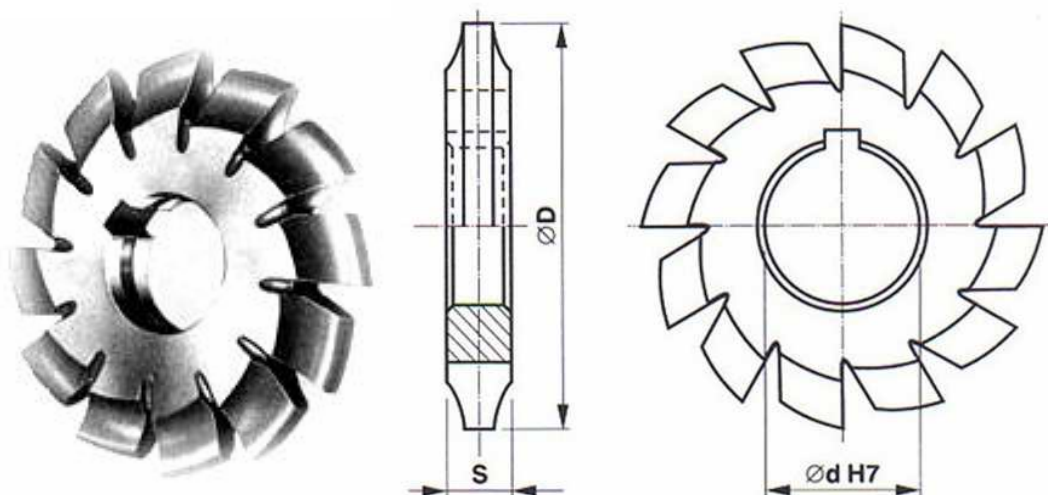
- pro moduly do 8 mm je v sadě 8 fréz
- pro moduly větší než 8 mm do 20 mm je sada rozdělena na 15 kusů

Tab.3 Rozdělení kotouč. fréz [2]

Číslo fréz osmičlenné sady pro moduly $m = 0,3$ až 8 I.								
Čís. frézy	1	2	3	4	5	6	7	8
Počet zubů fréz. kola	12— 13	14— 16	17— 20	21— 25	26— 34	35— 54	55— 134	135—00 (hřeben)

Tab.4 Rozdělení kotouč. fréz [2]

Číslo fréz patnáctičlenné sady pro moduly m větší než 8 II.								
Čís. frézy	1	11/2	2	21/2	3	31/2	4	41/2
Počet zubů fréz. kola	12	13	14	15— 16	17— 18	19— 20	21—22	23—25
Čís. frézy	5	51/2	6	61/2	7	71/2	8	-
Počet zubů fréz. kola	26— 29	30— 34	35— 41	42— 54	55— 80	81— 134	135—00 (hřeben)	—



Obr.3.01 Kotoučová modulová fréza [31]

Stopková fréza - Profil břitu stopkové frézy má stejný tvar, jako je zubová mezera ozubeného kola (Obr.3.02). Pro určitý počet zubů, který má být vyroben na kole se použije ta fréza, která je pro tento počet zubů určena. (Obdobně jako u kotoučové frézy). Tato fréza se používá zejména při výrobě velkých modulů ($m=20$ a více) a při velkých rozměrech kol (až 12000mm) a při výrobě ozubení šípovitého tvaru.



Obr.3.02 Tvar stopkové frézy [2]

Stopková fréza má menší životnost než kotoučová, a to kvůli omezené možnosti počtu ostření.

Odvalovací fréza – břity zubů mají obdobný tvar jako jsou u hřebenového nože. Broušení se provádí především na čele nástroje. Odvalovací fréza může být

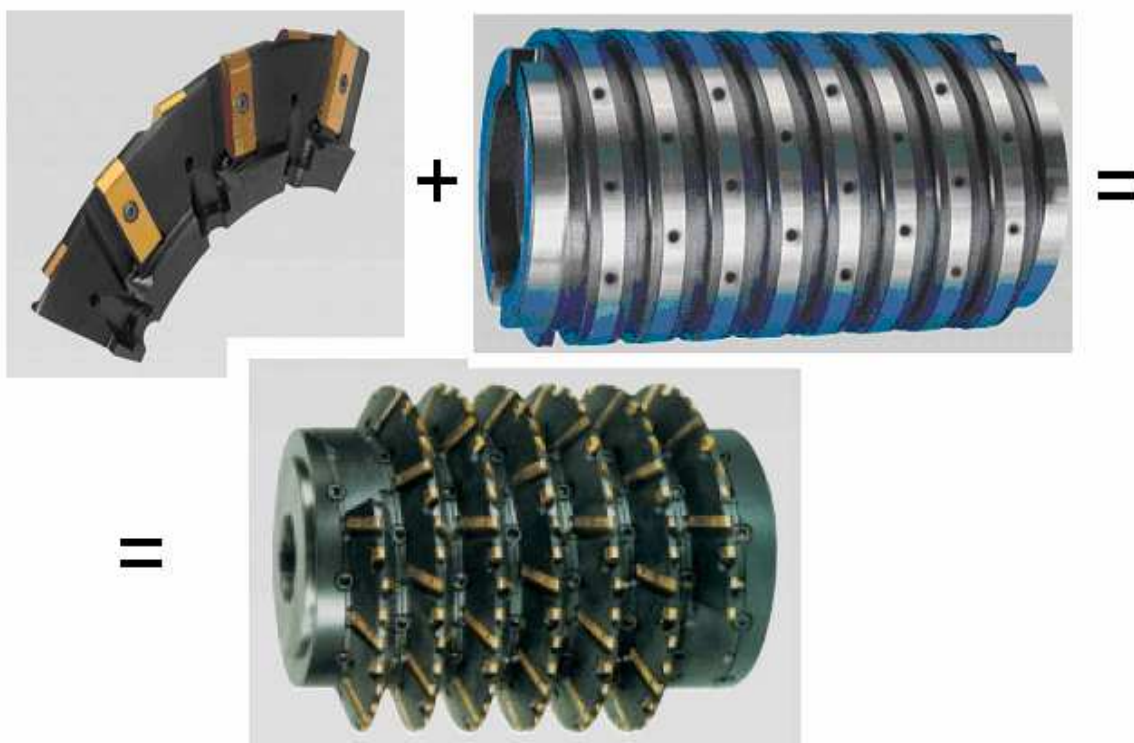


opatřena řeznými destičkami ze slinutých karbidů (obr.3.04) a tím se její produktivita i životnost velice zvýší. Po otupení se jednotlivé řezné části frézy s destičkami vymění za nové a tím odpadá i broušení odvalovacích fréz vyrobené z rychlořezné oceli. Segment části frézy s řeznými destičkami plus samotné tělo je zobrazeno na obr.3.05.

Obr.3.03 Odvalovací fréza [24]



Obr.3.04 Odvalovací fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami [25]



Obr.3.05 Odvalovací fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami [25]

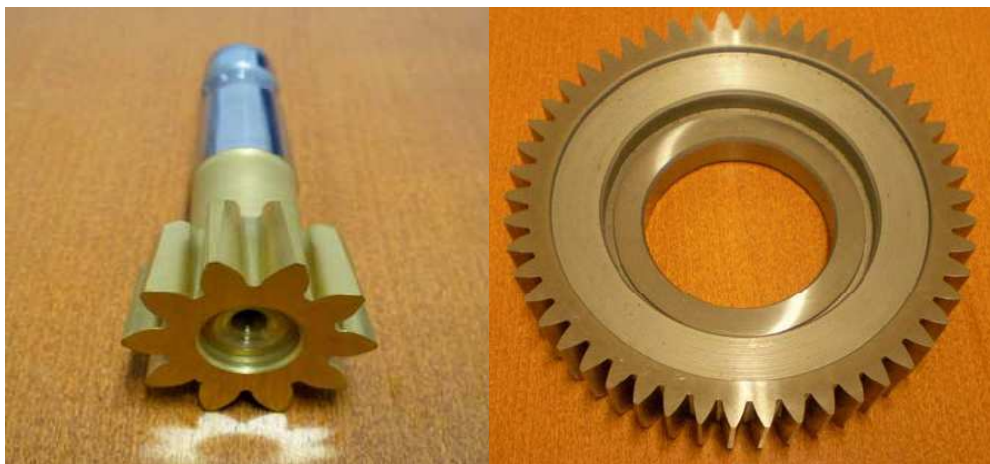
Obrázcí nástroje:

Hřebenový nůž – je to v podstatě ozubené kolo, které má nekonečně velký poloměr zakřivení. (Poloměr zakřivení ozubení roste nade všechny meze a přechází tak na přímku). Boky zubů na hřebenu jsou přímé a svírají úhel α s normálou roztečné přímky. Pro výrobu základního evolventního ozubení označeného dle ČSN 014607 nabývá úhel záběru hodnoty $\alpha=20^\circ$. Obrázení tímto nástrojem se nazývá MAAG.



Obr.3.05 Hřebenový nůž [30]

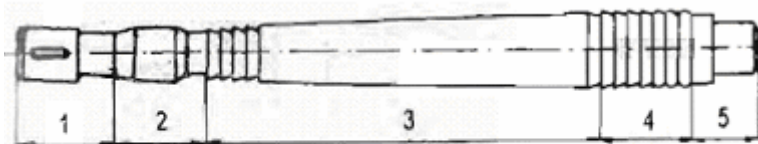
Kotoučový nůž – tímto nástrojem lze vytvořit ozubení bez nutnosti zastavení a přesouvání nástroje zpět do výchozí polohy řezu.



Obr.3.06 Obrážecí nástroje [24]

Protahovací nástroje (trny) :

Rozdělují se na přímé a kruhové (viz. obr.3.07 a 3.08). Kruhový protahovací trn je vhodný pouze pro zhotovení úzkých kol. Pro výrobu širokého ozubení není tato metoda vhodná a to z důvodu nutnosti přesunu osy rotace nástroje, aby se vytvořily zuby po celé šířce obrobku.

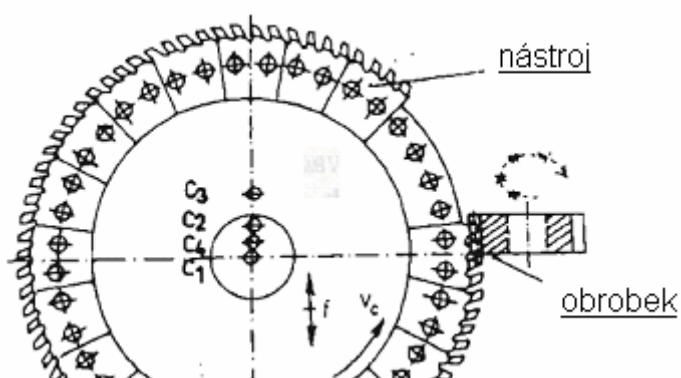


- 1) upínací část, 2) přední vedení, 3) řezná část,
- 4) kalibrovací část, 5) zadní vedení

Obr.3.07a Schéma protahovacího trnu [2]



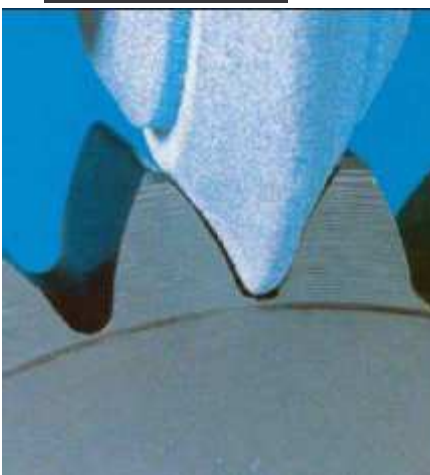
Obr.3.07b Protahovací trn [14]



Obr.3.08 Protahování kotoučovým nástrojem [2]

Dokončovací nástroje:

Brousící nástroje – dle metody broušení se používají brusné kotouče různý tvarů a různých materiálů (např. sintrovaný Al_2O_3 , nebo kubický nitrid boru - CNB). Například mohou být ve tvaru šneku (závitu), hrncového tvaru, nebo klasické kotouče, které mají přesný tvar zubové mezery (viz obr.3.09). Brusné kotouče, které mají přesný tvar zubové mezery se používají pro broušení do plna, čili celá zubová mezera se vytvoří pouze broušením. Touto metodou se dosahují vysoké rychlosti obrábění (až 100 m/s). Tento způsob výroby ozubení patří mezi nejpresnější. Při broušení do plna se používají kotouče vyrobené z kubického nitridu boru (CBN). [7]



Obr.3.09 Broušení do plna [7]



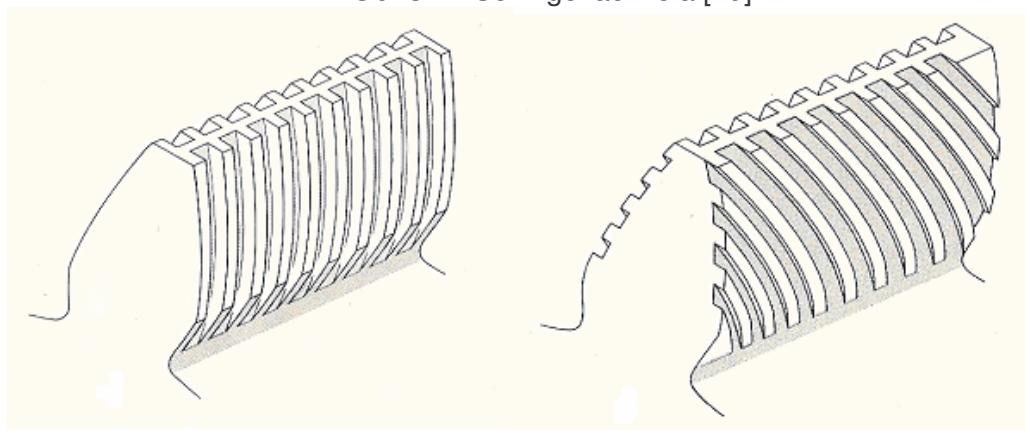
Obr.3.10 Tvary brusných kotoučů [23]

Švingovací kola – tvar švingovacího kola je velmi přesný a boky zubů jsou opatřeny drobnými drážkami, které tvoří břity. Tyto drážky mohou být přímé, nebo šikmo skloněné (viz obr.3.12). Jelikož jsou osy nástroje a obrobku při záběru vzájemně

vyoseny, je dosaženo tzv. klouzání nástroje a obrobku vzájemně po sobě a tím bříty na bocích zubů mohou odebírat velmi jemné třísky z obrobku.



Obr.3.11 Ševingovací kola [29]



Obr.3.12 Tvary řezných částí ševingovacích kol [4]

Lapovací kola – jsou to litinová ozubená kola přesného tvaru.

4 ŘEZNÉ PODMÍNKY A KAPALINY

Aby bylo možno dosáhnout co nejkvalitnějšího povrchu obráběného polotovaru (ozubeného kola) a zamezit nadměrnému opotřebení řezných nástrojů, je velice důležité do procesu výroby ozubení zařadit i řeznou kapalinu. Řezné kapaliny mají za úkol zaručit především velmi intenzivní mazání a dobrý odvod tepla vznikající v místě řezu, případně vyplachování třísek vzniklých při obrábění. Řezné kapaliny používané při výrobě ozubení se dělí na dvě základní skupiny, a to na **řeznou emulzi** (olej + voda) a **řezný olej**. Řezný olej je při procesu výroby ozubení užíván častěji, než emulze. Emulze je poměrně hojně využívána při broušení ozubení brusnými kotouči. Pro různé materiály se používají různé řezné oleje a emulze, které jsou úzce specializované na konkrétní obráběný materiál. Kvalitní řezné kapaliny musí též vykazovat antikorozi vlastnosti a nesmí zanechávat barevné stopy po styku s materiálem a měly by se snadno odstraňovat z povrchu materiálu.

Na ekologické a bezpečnostní hledisko jsou kladeny velmi přísné požadavky a hrají zde velmi významnou roli. Řezné kapaliny by neměly při správné manipulaci způsobovat zdravotní problémy (vyrážky apod.) a neměly by znečišťovat životní prostředí. Použité a znečištěné řezné kapaliny by mělo být možné znovu vyčistit a opět použít (recyklace).

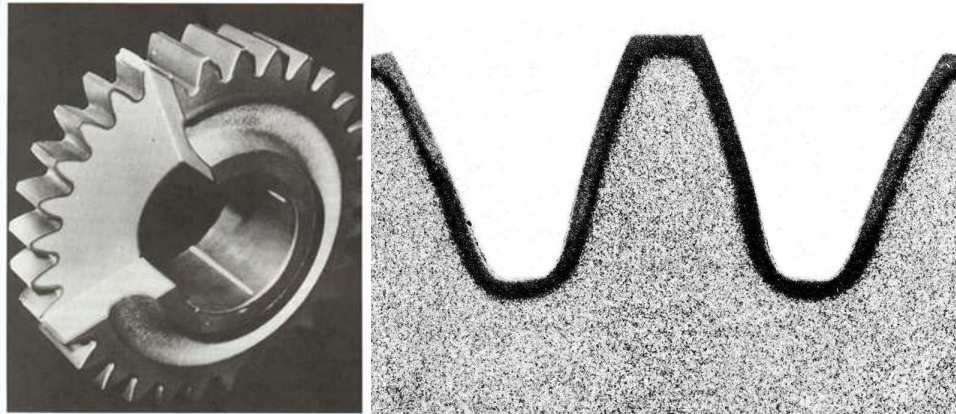
Dnešní trh nabízí nepřeberné množství řezných emulzí a olejů specializovaných právě pro oblast výroby ozubených kol. Do této skupiny spadá například olej od firmy MERLIN – PLUS s označením MOL Anticut ME 25, který je určen pro extrémně těžké obrábění jako je např. protahování, odvalovací frézování, obrázení, ševingování ozubených kol apod. Tento olej zaručuje vysokou únosnost mazacího filmu při intenzivních silách a tím i menší opotřebení nástroje.

Jeden z faktorů ovlivňující výslednou kvalitou povrchu zubů a produktivitu výroby je řezná rychlost. V dnešní době, kdy se používají velmi přesné nástroje z kvalitních materiálů jako jsou např. frézy povlakované vrstvou TiN, se řezná rychlost pohybuje na výrazně vyšších hodnotách než u klasických konvenčních nástrojů.

5 TEPELNÉ A CHEMICKO - TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OZUBENÝCH KOL

- **Žíhání:** Je ohřev součásti na žíhací teplotu a setrvání na této teplotě po určitou dobu, za účelem prohřátí celé součásti. Ochlazování probíhá pozvolně a tím se ukončí veškeré přeměny ve struktuře a ocel je po vychladnutí v rovnovážném stavu. Dle výše teploty ohřevu se žíhání dělí na 2 základní skupiny:
 - **s překrystalizací** (normalizační – pro zaručení rovnoměrné jemnozrnné struktury)
 - **bez překrystalizace** (žíhání na měkko – zejména pro obrábění, k odstranění pnutí – ke snížení vnitřního pnutí např. po kování)
- **Kalení:** Je to ohřev s překrystalizací struktury, po kterém následuje rychlé ochlazení (rychlostí větší, než je kritická) v daném ochlazovacím prostředí (voda, olej, solná lázeň, vzduch) a tím se ve struktuře změní část austenitu na tvrdý martenzit. Po kalení se vždy provádí další tepelné zpracování a to z důvodu poměrně velké křehkosti materiálu. Po kalení může následovat popouštění, nebo napouštění. Dosažená tvrdost povrchu ozubení je HRC = 45 až 55.
- **Popouštění:** Po kalení se součást ohřeje na teplotu 300-650 °C, kdy vzrůstá houževnatost a pevnost na úkor tvrdosti.
- **Napouštění:** Ohřátí součásti na teplotu 150-300 °C, po kterém následuje samovolné pozvolné ochlazování na vzduchu. Křehkost mírně ustoupí a tvrdost součásti podstatně neklesá.

- **Cementování:** Cementování spadá do chemicko-tepelného zpracování ocelí. Je to nasycování povrchu součástí nízkouhlíkových ocelí uhlíkem za zvýšené teploty (850-950 °C). Jádru součásti zůstává houževnaté, kdežto povrch je velmi tvrdý a odolný proti opotřebení. Tento způsob je velmi rozšířený. Cementace se provádí v různých prostředích (solné lázně, prášky, plynné prostředí atd.) Po cementování následuje vždy kalení. Tvrdost povrchové vrstvy po cementování je HRC = 60 – 63.



Obr.5.10 Mikrostruktura řezu cementovaným ozubením [20]



Obr.5.11 Ukázka chemicko-tepelného zpracování ozubených kol [20]

- **Nitrocementování a karbonitridování:** Chemicko tepelné zpracování oceli. Oba způsoby jsou založeny na obohacování povrchu nízko a středně uhlíkové oceli uhlíkem a dusíkem. Vlivem dusíku probíhá intenzivní difúze uhlíku i při nižších teplotách než cementačních.
- **Nitridování:** Chemicko tepelné zpracování ocelí, při němž se tenká povrchová vrstva nasycuje dusíkem. Teplota nitridování se pohybuje od 500 do 550 °C. Způsoby nitridace – v plynném prostředí, nebo iontová (plazmová) nitridace. Tvrdost povrchové vrstvy po nitridování je HRC = 60 – 65. Hloubka nitridační vrstvy je však menší, než u cementování.

6 DOSAHOVANÉ VÝSLEDKY

Přesnost výroby ozubených kol je silně závislá na vhodně zvoleném způsobu výroby. Výsledné ozubení odpovídá danému prostředí, ve kterém bude ozubené kolo použito (převodové skříně – přesné ozubení x zemědělské stroje – menší přesnost ozubení).

Při volbě způsobu výroby jsou také kladeny zřetele především na :

- dosažitelnou cenu
- stav strojního parku
- sériovost
- organizaci výroby a kontroly

Tab.5 Dosahované přesnosti [3]

způsob finálního opracování boků zubů (systém)		dosažitelná jakost			možnost vytváření modifikace			
		stupeň přesnosti Q		drsnost povrchu R_a [μm]	výškové (evolventy)		podélné (boční křivky)	
		netvrzená kola	tvrzená kola		strojem	nástrojem	strojem	nástrojem
frézováním		6÷8	8÷10	1,6÷3,2	ne	libovolně tvarem profilu frézy	přísuvem a změnou polohy osy frézy	ne
obrážením		5÷7	7÷9	0,8÷3,2	ne	libovolně tvarem obrázcího nástroje	ne	ne
ševingováním		6÷7	7÷8	0,8÷1,6	ne	tvarem ševingovacího nástroje	kývavý pohyb stolu, změna polohy osy obrobku	libovolně u diagonálního ševingování
		pro $m \leq 3$						
		7÷8	8÷9					
odvalovacím broušením	diskontinuální (MAAG)	2÷5		0,4÷0,8	přímo ne (obtahovací zařízení brusného kotouče)	libovolně tvarem brusného kotouče (obtahovaným spec. zařízením, strojem nebo výrobou - CNC)	pohybem stolu	ne
	kontinuální (Reishauer)	4÷7		0,4÷0,8				
		5÷7						
profilovým broušením	tvárovavý brusný kotouč (MAAG OPAL)	1÷7		0,2÷0,8	ne	libovolně radiálním pohybem nástroje	ne	
	kotouč CNL (KAPP)	3÷7		0,2÷0,8				

Konstrukce, technologie, samotná výroba a kontrola jsou úzce propojené úseky, kde je velmi důležitá spolupráce činností, aby byla zaručena výroba ozubení požadované přesnosti.

ZÁVĚR

Práce je zaměřena na řešerši, popis a rozdělení moderních metod uplatněných při výrobě čelních ozubených kol.

První část pojednává o základních geometrických tvarech profilů zubů a jejich princip vzniku a činnosti soukolí.

Další kapitola rozděluje výrobní zařízení dle způsobu vytvoření zubových mezer. Patří sem i stroje na dokončování ozubení, které nevytváří zubovou mezeru celou, ale jen ji přesněji dokončují.

Třetí kapitola popisuje jednotlivé nástroje, které se používají při zhotovení ozubení.

Předposlední a poslední části jsou zaměřeny na řezné podmínky a dosahované výsledky při výrobě ozubení.

Současná výroba ozubení je praktikována především na strojích pracujících odvalovacím způsobem. Ze strojů využívajících tvarový nástroj se dnes používají zejména protahovací a brousící stroje.

Velice významný pokrok je patrný v řešení jak konstrukce, tak i v ovládání stroje. Většina strojů je dnes ovládána a řízena za pomoci počítače (CNC stroje) a díky tomuto ovládání se výrazně zjednodušil kinematický řetězec oproti ostatním běžným (konvenčním) strojům. Výpočetní technika a speciální programy mají v dnešní době nezastupitelné uplatnění při návrhu a simulaci zatěžování vlastního ozubení. Tato metoda zajišťuje velice přesné a efektivní výsledky.

Z hlediska použitých řezných (i brusných) materiálů byl uskutečněn také velký pokrok. Např. u frézování použitím moderních PVD povlaků nanesených na nástroji, nebo u broušení zavedením kotoučů vyrobených z CBN. V budoucnu se očekává vývoj nových a ještě kvalitnějších materiálů, které výrobu nejen ozubení dokáží posunout ještě na vyšší úroveň.

V neposlední řadě hraje velkou roli i ekologie a bezpečnost práce při manipulaci se strojem. Vhodné zakrytování napomáhá zvýšit bezpečnost práce se strojem za chodu a zavedením odsávání pracovního prostoru je maximálně zajištěno úniku řezných kapalin do okolí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FRISCHHERZ, A. a PIEGLER, H. *Technologie zpracování kovů 2.3.vyd.* Praha: SNTL, 1999.280s.
2. ŘASA, J. a GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3.Metody, stroje a nástroje pro obrábění.1.vyd.*Praha:Scientia, spol. s.r.o., pedagogické nakladatelství, 2000.256s.ISBN 80-7183-207-3.
3. MORAVEC, V.*Konstrukce strojů a zařízení II.*Ostrava: MONTANEX a.s., 2001.291s.ISBN 80-7225-051-5.
4. LICHTENAUER G., ROGG O., KALLHARDT K. *Hurth Zahnradschaben München 1964.581s.*
5. DEMEČ, P. *Stroje na výrobu ozubení* [online].Študijný materiál, Štrojnická fakulta, 2005, 37s.,Dostupné z World Wide Web: <http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/15_Stroje_na_Vyrobu_Ozubení.pdf>.
6. VARCHOLA, M. a MADÁČ, K. *Obrábacie stroje* [online].Učebná pomocka pre predmet Výrobná technika.Košice, 2004.Dostupné z World Wide Web: <<http://www.scribd.com/doc/6768220/OSUP2004>>.
7. MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů, 1.vydání, MM publishing Praha, 2006, 284s.ISS 1212-2572.*
8. *Převody ozubenými koly, přednáška 1.* [online].Ústav konstruování FSI VUT Brno, 2008, [cit. 2009-05-15].Dostupné z World Wide Web: <<http://www.uk.fme.vutbr.cz>>.
9. *Základy teorie čelního ozubení, přednáška 2.* [online].Ústav konstruování FSI VUT Brno, 2008, [cit. 2009-05-15].Dostupné z World Wide Web: <<http://www.uk.fme.vutbr.cz>>.
10. *Gear design.* [online].2008.[cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.geardesign.co.uk/bevel-gears.htm>>.
11. *Lamond and Murray Ltd.* [online].2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.lamondandmurray.co.uk/General/newproducts1.htm>>.
12. *Society of robots .* [online].2005 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.societyofrobots.com/mechanics_gears.shtml#spurgears>.
13. *Quality Transmission Components.* [online].2007 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.qtcgears.com/>>.

14. *Shaoguan Tools Plant* [online].2007 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web:
<<http://sgtools.win.mofcom.gov.cn/en/plate01/product.asp?id=46290>>.
15. *Reishauer AG* [online].2007 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.reishauer.com/machines_rz_303c_en.html>.
16. *CNC Milling Machines* [online].2007 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.vertical-machining-center-1.com/cnc-milling-machine.htm>>.
17. *Ty Miles* [online].2007 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.tymiles.com/broaching_machhd.htm>.
18. DEMEČ, P. *Stroje na výrobu ozubenia, Technická univerzita v Košiciach* Dostupné z World Wide Web:
<http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/15_Stroje_na_Vyrobu_Ozubenia.pdf>.
19. *Tos- tradiční výrobce obráběcích strojů* [online].2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web:
<http://www.tosas.cz/index.php?id_document=10126>.
20. JULIŠ, M. *Prezentace ChTZ 2008. Učební pomůcka pro předmět HMT*
21. *Strojimport* [online].2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.strojimport.com/cs/index.htm>>.
22. *Sicmat* [online].2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.sicmat.it/web/guest/raso400>>.
23. *Gear grinding with Krebs and Riedel* [online].2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web:<<http://www.krebs-riedel.com/kae-111i.pdf>>.
24. *Kasik tools* [online].2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.kasiktools.cz/index.php>>.
25. *Gear milling cutters* [online].2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web:
<http://www.rollkopf.de/rd_fpn/Dokumente_Global/ZahnformfraeserKatEN.pdf>.
26. *Ludas. Protahování a protlačování* [online].2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://seminarky.cz/Protahovani-a-protlacovani-12981>>.
27. HUMÁR, A. *Technologie I – 2 část.* [online].Studijní opory pro magisterskou formu studia, Fakulta strojního inženýrství, 2004, 95s. [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web:
<http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf>.

28. HAMERNÍK, J. [online].2005 [cit. 2009-05-15]. *Obráběcí stroje*. Dostupné z World Wide Web: <<http://jhamernik.sweb.cz/Ozubeni.htm>>.
29. *ESKAY TOOL INDUSTRIES*. [online].2009 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <http://eskaytools.tradeindia.com/Exporters_Suppliers/Exporter15852.239191/Shaving-Cutters.html>.
30. Dathan tool and gauge.[online].2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.dathan.co.uk/prod01.htm>>.
31. Cupital tool industries.[online].[2008] [cit. 2009-05-15]. Dostupné z World Wide Web: <<http://www.capital-tool.com/index.html>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka/Význam	Popis
CNC	(COMPUTER NUMERIC CONTROL)	počítačově číslicové řízení
ČSN	označení normy	česká státní norma
HRC	jednotka tvrdosti materiálu	tvrdost materiálu podle Rockwella
IT	označení stupně přesnosti	tolerance jmenovitého rozměru
m	[-]	modul
z	[-]	počet zubů měřeného kola
Z _{min}	[-]	minimální počet zubů
P	[-]	valivý bod
R _a	[μm]	drsnot materiálu
p	[mm]	rozteč ozubení
d	[mm]	roztečná kružnice
r _b	[mm]	poloměr základní kružnice
p _b	[mm]	základní rozteč
α	[°]	úhel záběru α = 20°
π	π = 3,14159	Ludolfovo číslo