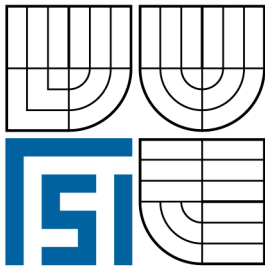


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MODERNÍ METODY VÝROBY KUŽELOVÝCH KOL

MODERN METHODS IN BEWEL GEAR PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADIM SLOUKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, CSc.

BRNO 2009

ABSTRAKT

V bakalářské práci je popsán účel, význam, rozdělení a využití ozubených kuželových kol. Zejména se však zabývá technologií výroby ozubených kuželových kol. Zmiňované metody výroby jsou jak všeobecně známé tak i moderní běžně užívané technologie ve strojírenském průmyslu.

Klíčová slova

Ozubená kola, ozubená kuželová kola, tvar zubu ozubených kol, technologie výroby kuželových kol, frézování dělicím způsobem, frézování nožovými hlavami, protahování kotoučovým protahovacím nástrojem, obrázení podle šablony, obrázení dvěma noži, metoda výroby – Gleason, metoda výroby – Oerlikon, metoda výroby - Klingelberg

ABSTRACT

This bachelor thesis describes the purpose, significance, division and the use of bevel conical gear wheels. This paper is especially concerned with the production technology of conical gear wheels. The methods of production mentioned are those generally known and also modern common technologies of the engineering industry.

Key words

Gears, bevel gears, the tooth shape of the gears, technology of gears, milling by method, milling with by cutting hrade, broaching with disk broaching, shaping along the template, shaping with two knives, production method – Gleason, production method – Oerlikon, production method - Klingenberg

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SLOUKA, Radim. Moderní metody výroby kuželových kol. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 45s., Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Moderní metody výroby kuželových 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 Ing. Oskaru Zemčíkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	
Prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
Úvod.....	10
1 Převody.....	11
1.1 Ozubené převody.....	13
1.1.1 Rozdělení ozubených převodů.....	14
1.1.1.1 Podle boční křivky zubu.....	14
1.1.1.2 Podle vzájemné polohy os.....	14
2 Valivá kuželová soukolí.....	16
2.1 Základní pojmy kuželového soukolí.....	17
2.2 Rozdělení kuželových kol	17
2.2.1 Podle polohy patního a hlavového kužele.....	17
2.2.1.1 Tvar I	17
2.2.1.2 Tvar II.....	18
2.2.1.3 Tvar III.....	18
2.2.2 Podle zakřivení zubů.....	19
2.2.2.1 Kuželová kola s přímými zuby.....	20
2.2.2.2 Kuželová kola se zakřivenými zuby.....	20
3 Technologie výroby kuželových kol.....	22
3.1 Frézování dělicím způsobem.....	22
3.2 Frézování nožovými hlavami.....	24
3.3 Protahování kotoučovým protahovacím nástrojem.....	25
3.4 Obrázení podle šablony.....	26
3.5 Obrázení dvěma noži.....	27
3.6 Metoda výroby – Gleason.....	30
3.7 Metoda výroby – Oerlikon.....	33
3.8 Metoda výroby – Klingelberg.....	35
3.9 Ostření a nastavování nožů v nožových hlavách.....	37
3.10 Zkoušení záběru kuželových soukolí se zakřivenými zuby.....	38
3.11 Lapování kuželových kol se zakřivenými zuby.....	39
3.12 Broušení kuželových kol se zakřivenými zuby.....	40
3.13 Dosahované přesnosti a drsnosti povrchu ozubení.....	41
3.14 Materiály kuželových kol.....	41
3.14.1 Plasty.....	41
3.14.2 Kompozity.....	41
3.14.3 Neželezné kovy.....	42
3.14.4 Oceli.....	42
Závěr.....	44
Seznam použitých zdrojů.....	45

ÚVOD

Téměř ve všech strojních zařízeních se používají převody. Důvodem, proč se převody používají jako spojovací články v konstrukci strojních zařízení je, že výstupní parametry hnacího stroje nesouhlasí se vstupními parametry pracovního stroje a nástroje. Obvykle mají hnací stroje vyšší otáčkové frekvence. U pracovních strojů se během provozu vyžaduje regulace rychlosti i kroutícího momentu, jako je tomu např. u obráběcích strojů, automobilů apod. Hnací stroje se většinou navrhuje pro rovnoměrný rotační pohyb s malou možností regulovat otáčky a kroutící moment. V určitých případech je zapotřebí pro správnou funkci stroje převádět rotační pohyb motoru na pohyb postupný nebo realizovat pohyb podle předem zvolené funkce rychlostních změn.

Výroba hnacích motorů pro podobné požadavky je ekonomicky nevýhodná a technicky obtížná. Nevýhodou těchto zařízení je nízká účinnost a velké nároky na rozměry.

V řadě případů, jako u dopravních strojů a automobilů, se v provozu mění nejen rychlost, ale i směr pohybu. V daných případech je převodový mechanismus důležitou součástí, která pomáhá pracovníkovi nebo řídicímu programu, se sladěním správných funkcí motoru. Při optimalizaci konstrukcí se ukazuje jako výhodné vedle mechanických převodů užívat také převodů elektrických, hydraulických, pneumatických a jiných. V některých zařízeních je účelné spojit mechanické převody s jinými druhy převodů tak, aby se využily výhody jednotlivých typů.

Z hnacího členu na hnaný člen se může přenášet pohyb a síly záběrem zubů (tvarová vazba bez skluzu), třením (třecí vazba se skluzem), elektricky, pneumaticky a hydraulicky. Nejrozšířenějšími převody jsou mechanické, kde se pohyb přenáší pomocí ozubených kol. S nadsázkou můžeme říct, že ozubená kola tvoří srdce převodového mechanismu. Protože existují různé typy převodovek, existují tedy i také různé druhy a tvary ozubených kol, takové aby co nejlépe splňovaly požadavky převodového mechanismu. K jednomu z takových ozubených kol patří i ozubená kola kuželová.

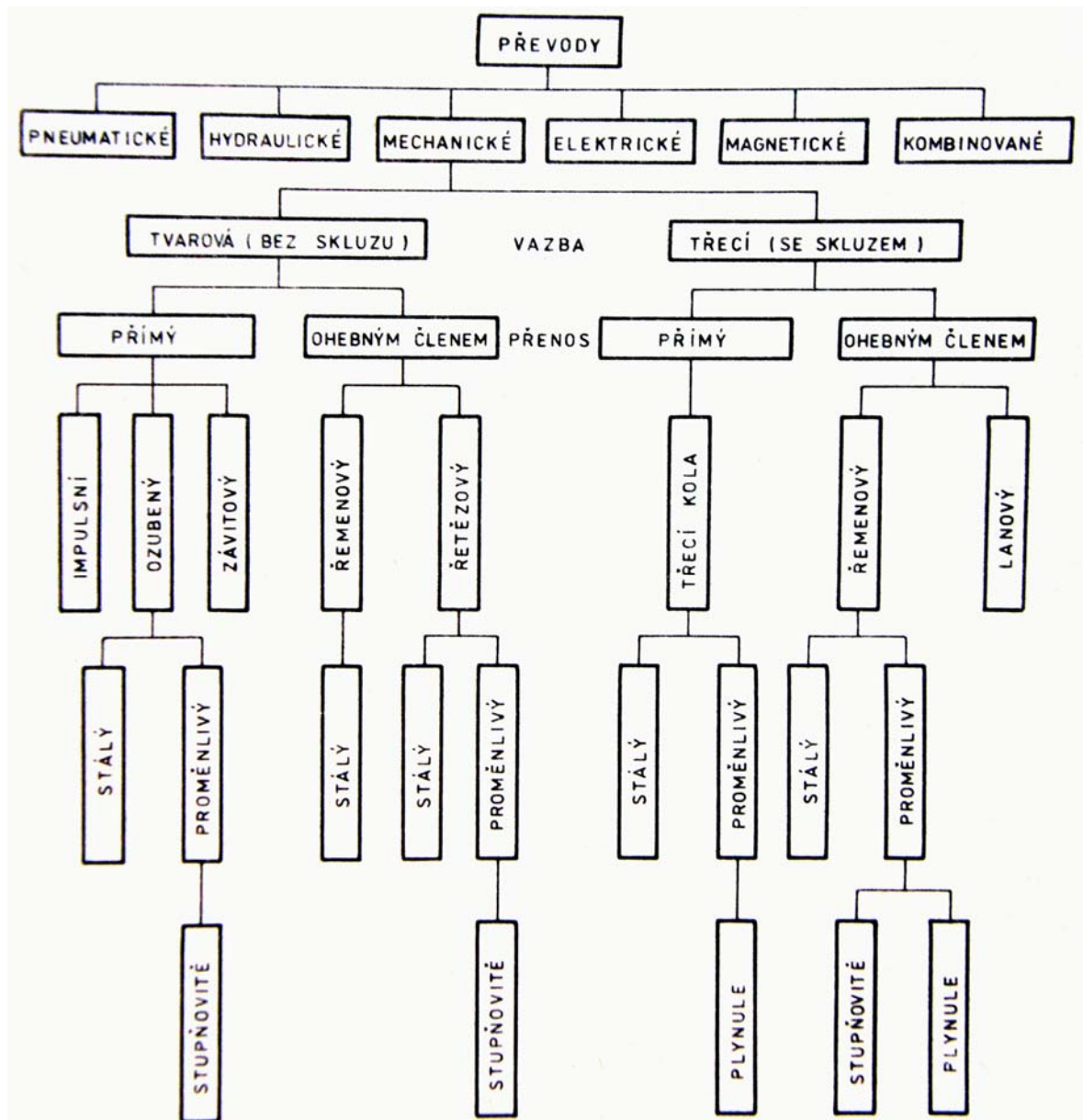
Ve světě se denně vyrobí několik miliónů ozubených kol. Například v soustrojí automobilu je průměrně 30 ozubených kol. U soustruhu je potom 70 a ve frézce 40 ozubených kol.

Převody jsou potom nedílnou součástí většiny strojů. Výroba ozubených kol hraje ve strojírenském průmyslu pořád velice důležitou a neodmyslitelnou roli a metody výroby ozubených kol jsou neustále vyvíjeny a zkoumány.

1 PŘEVODY

Převodový mechanismus tvoří spojovací článek mezi hnacím a pracovním strojem.

Přiváděnou energii z hnacího stroje přenáší převodový mechanismus (převodovka), popřípadě ji rozděljuje na pracovní stroj. Jak už bylo v úvodu zmíněno pohyb a síla se může v převodovce přenášet několika způsoby: tvarem zubů, třením, elektricky, pneumaticky a hydraulicky. Dále převody dělíme podle stálosti převodového poměru na stálý nebo měnitelný. Převody se mění stupňovitě nebo plynule. Stupňovité převody jsou spolehlivější, na výrobu jednodušší a ekonomičtější než variátory. Převodovky s plynule měnitelným převodovým číslem se nazývají variátory. Plynulá regulace umožňuje, při výrobním procesu dosahovat optimálních pracovních parametrů. Používá se ji v automatizaci, pro řízení strojů za chodu. Převod s jednou dvojicí spoluzabírajících kol se nazývá převod jednoduchý, u převodu s více spoluzabírajícími páry se jedná o převod složený. Pokud převod snižuje vstupní otáčky do pomala, mluvíme o reduktorech (většina převodů). Převádí-li se otáčkové frekvence do rychla, mluvíme o multiplikátorech. [1]



Obr. 1.1 Klasifikace převodů [1]

Tab. 1.1 Porovnání vlastností vybraných převodů [1]

Vlastnosti	Převod				
	Mechanický		Pneumatický	Hydraulický	Elektrický
	Třecí	Ozubený			
Centrální přívod energie			■		■
Snadná akumulace energie			■		
Jednoduché ovládání i dálkové a automatické					■
Stálost převodového poměru za chodu		■			
Široký rozsah stupňovité regulace	■	■			■
Široký rozsah plynulé regulace	■			■	■
Velké rychlosti a frekvence otáček			■		■
Velké síly v pracovních mechanismech		■		■	
Jednoduchý mechanismus pro postupný pohyb	■	■	■	■	
Funkce mechanismu nezávisí na teplotě okolí		■	■		■
Přenos energie na velké vzdálenosti					■

1.1 Ozubené převody

Ozubenými převody se převádí otáčivý pohyb a mechanická energie z jednoho hřídele na druhý. Používají se pro převody, u kterých se jedná o stálý nebo stupňovitě měnitelný převodový poměr a tam kde se jedná o malé vzdálenosti os. Ozubené převody patří mezi převody s tvarovým stykem, kde nedochází ke skluzu. Převod ozubenými koly může být jednoduchý nebo složený. Převod sestává z jednoho nebo více páru kol. Kolo s menšími rozměry se nazývá pastorkem a větší kolem. Vyžadují údržbu ve formě mazání a mají vyšší nároky na výrobu.

Převody ozubených kol mají splňovat tyto požadavky:

- Při rovnoměrném otáčení hnacího kola se má i hnané kolo otáčet rovnoměrně, to znamená, že převodový poměr musí být během jedné otáčky konstantní.
- Na převodový poměr nesmí mít vliv tolerované výrobní odchylky od teoreticky přesné vzdálenosti os hřídelů.
- Nástroje a stroje na výrobu ozubení mají být jednoduché, výroba i kontrola ozubení levná a přesná.
- Ztráty třením a opotřebením zubů mají být co nejmenší.

Uvedené požadavky ovlivňují volbu profilu zubu. Dnes se používá převážně ozubení s evolventními boky zubů, ve speciálních případech s cykloidními nebo kruhovými boky.

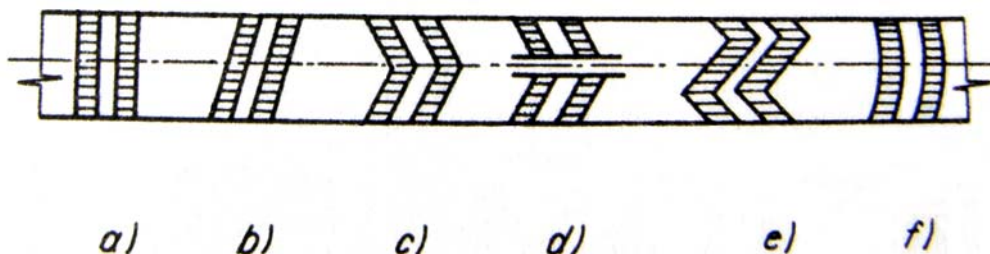
Požadavku na stálost převodového poměru vyhovuje evolventa i cykloida, požadavku na necitlivost k úchylkám od teoretické vzdálenosti os hřídelů vyhovuje pouze evolventa. Výrobní nástroje pro výrobu evolventních zubů jsou na výrobu jednodušší. Cykloidní zuby mají menší opotřebení boků zubů a nižší ztráty vzniklé třením. Rozdíly v účinnosti a trvanlivosti ozubení nejsou velké. Nevýhody evolventního ozubení se dají zmírnit vhodnou korekcí. Evolventní ozubení převažuje z důvodů jednoduchosti výroby. [1]

1.1.1 Rozdělení ozubených převodů

Ozubená kola se rozdělují podle dvou hledisek. Jednak podle vzájemné polohy os obou kol a dále podle tvaru boční křivky zubu, která je průsečnicí boční plochy zubu s roztečnou, valivou a nebo jinou souosou plochou ozubeného kola stejného typu (např. s roztečným válcem čelního kola).

1.1.1.1 Podle boční křivky zubu

Podle boční křivky zubů mohou být čelní soukolí se zuby přímými, šikmými, šípovými a obloukovými. Kuželová soukolí potom se zuby přímými, šikmými, šípovými a zakřivenými.



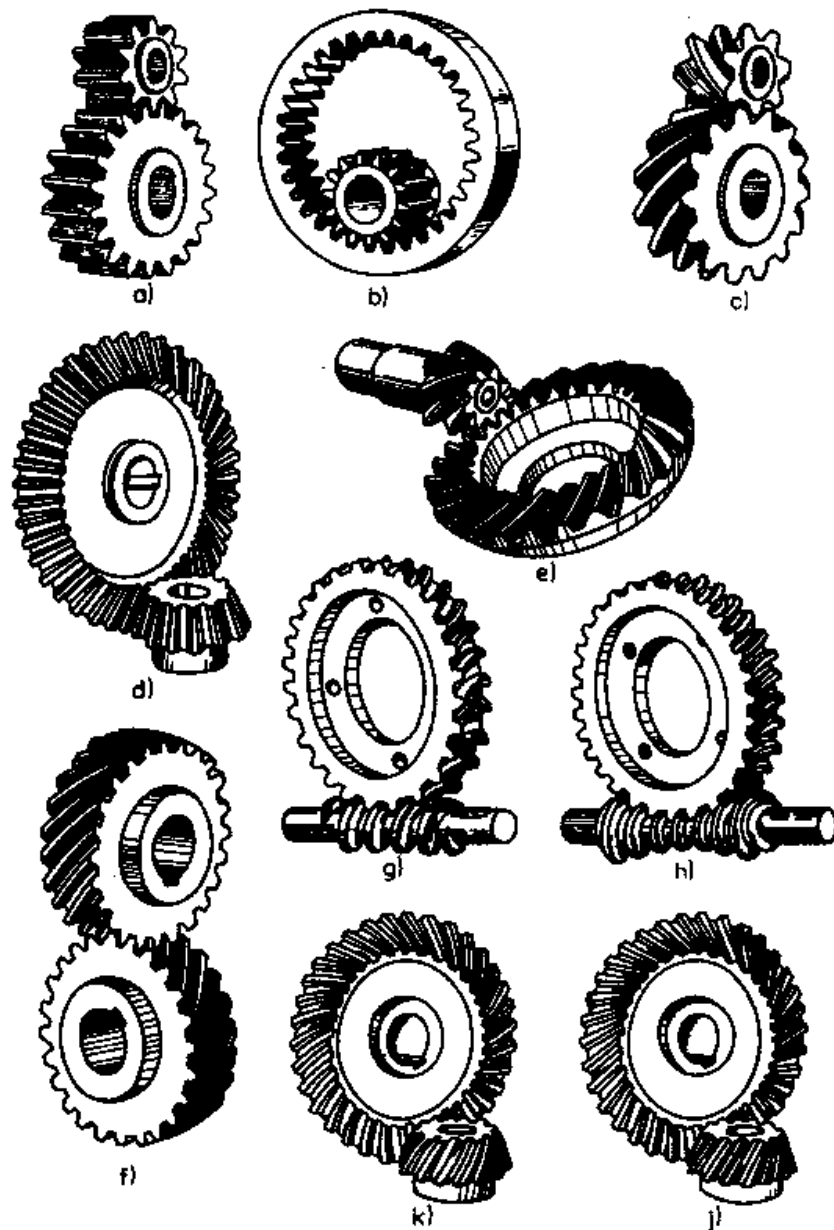
Obr. 1.2 Tvary bočních křivek zubů [2]

a) přímé zuby
b) šikmé zuby
c) šípové zuby

d) dvojnásobně šikmé zuby
e) dvojnásobně šípové zuby
f) kruhové zuby

1.1.1.2 Podle vzájemné polohy os

Podle vzájemné polohy os rozeznáváme soukolí pro osy rovnoběžné, různoběžné a mimoběžné. Pro osy rovnoběžné se používá čelních soukolí s vnějším nebo vnitřním ozubením. Pro osy různoběžné se používá soukolí kuželové. Pro osy mimoběžné se používá šroubová soukolí, z nich nejčastěji válcová šroubová soukolí, dále pak soukolí šneková a hypoidní.



Obr. 1.3 Druhy ozubených soukolí [2]

- a) čelní soukolí s vnějším ozubením
- b) čelní soukolí s vnitřním ozubením
- c) čelní soukolí se zakřivenými zuby
- d) kuželové soukolí s přímými zuby
- e) kuželové soukolí se zakřivenými zuby
- f) šroubové soukolí
- g) válcový šnek a globoidní šnekové kolo
- h) globoidní šnek a globoidní šnekové kolo
- i) hypoidní soukolí se zakřivenými zuby
- j) hypoidní soukolí s přímými zuby

2 VALIVÁ KUŽELOVÁ SOUKOLÍ

Kuželová soukolí dle klasifikace převodů zařazujeme mezi převody mechanické s tvarovým stykem. Základem kuželového soukolí jsou odvalovací kužely, které mají společný vrchol. Valivá soukolí s kuželovými koly slouží k vytvoření silové a kinematické vazby mezi různoběžnými hřídeli převážně při úhlu os 90° . Vyznačují se nejen množstvím konstrukčních variant, ale i různými druhy ozubení. Pastorek bývá nejčastěji uložen letmo.



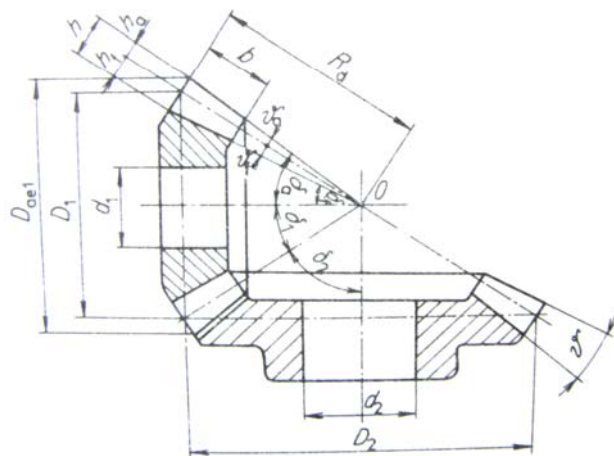
Obr. 2.1 Kuželové soukolí [9]

V porovnání s koly válcovými jsou kuželová kola náročnější jak na výrobu tak i montáž. Při výrobě ozubení musíme kontrolovat nejen délkové úchytky, ale také úchytky úhlové. K výrobě ozubení potřebujeme speciální stroje a nástroje. Při letném uložení kola vzniká nebezpečí vzniku větší deformace. Nepřesnost při výrobě a větší deformace mají neblahý vliv na záběrové poměry. Na pozoru by jsme měli být především u kol s přímými zuby, kde hrozí neklidný chod, hluchost a snížená životnost. Pro vyšší rychlosti a zatížení se používají kola se šikmými a zakřivenými zuby. Výhodami je klidnější a tišší chod, vyšší pevnost a trvanlivost ozubení a menší citlivost na výrobní nepřesnosti. Nevýhodou jsou jednoúčelové stroje a nástroje.

Kuželová soukolí přenáší výkon 2 až 500 kW, to je šestkrát menší výkon než u čelního soukolí. Obvodová rychlost se pohybuje v rozmezí 0,3 až 40 m/s při extrémních podmínkách se obvodová rychlost dostane na hranici 130 m/s, přičemž maximální otáčky mohou dosáhnout $50\,000\text{ [min}^{-1}\text{]}$. Převodový poměr kuželového soukolí má velikost 1 až 5 (v extrémních 8) to je nejmenší ze všech ozubených soukolí. Účinnost kuželového soukolí je srovnatelná s účinností čelního soukolí v rozmezí 96 až 99 %. [3]

2.1 Základní pojmy kuželového soukolí

- δ - úhel roztečného kužele
- δ_a - úhel hlavového kužele
- δ_f - úhel patního kužele
- ϱ - úhel zubu
- ϱ_a - úhel hlavy zubu
- ϱ_f - úhel paty zubu
- R_d - délka povrchové přímky roztečného kužele
- b - šířka ozubení
- D_{ae} - vnější hlavový průměr
- D_{ai} - vnitřní hlavový průměr
- D - roztečný průměr
- h - výška zubu
- h_a - výška hlavy zubu
- h_f - výška paty zubu



Obr. 2.2 Kuželové soukolí se základními rozměry [2]

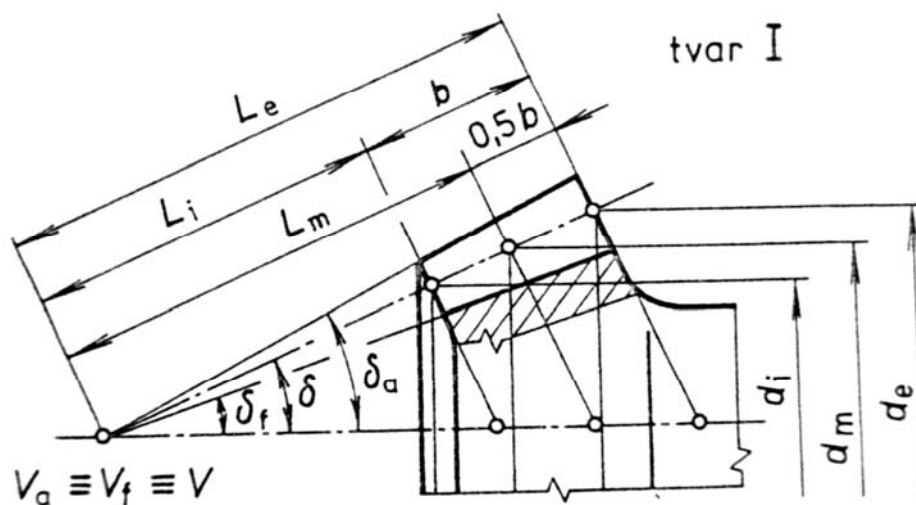
2.2 Rozdělení kuželových kol

2.2.1 Podle polohy patního a hlavového kužele

Ozubený věnec je radiálně vymezen patním a hlavovým kuželem. Polohy těchto kuželů jsou určeny polovičními vrcholovými úhly (úhlem kužele patního a hlavového). Podle jejich polohy vzhledem k roztečnému kuželu jsou tři zásadní tvary věnce.

2.2.1.1 Tvar I

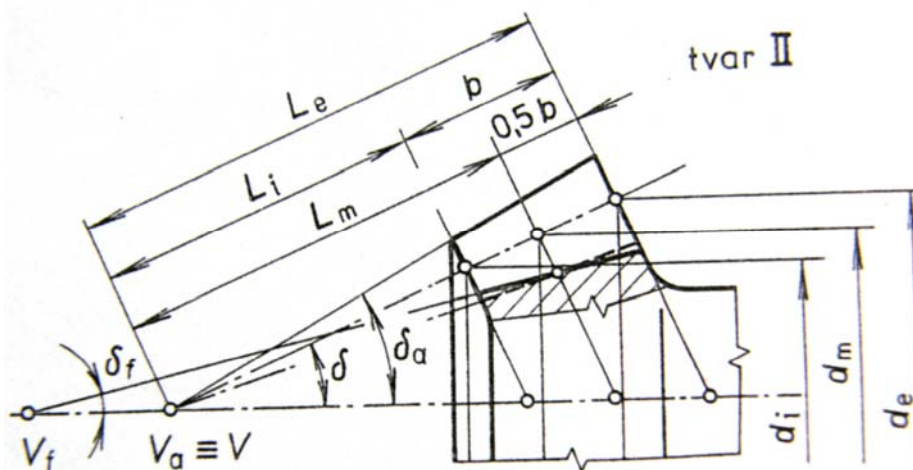
Je význačný tím, že kuželová plocha roztečná, patní a hlavová mají společný vrchol. Příčné rozměry zubů narůstají lineárně se zvětšující se vzdáleností od vrcholu. Tento tvar se používá u kol s přímými, šikmými a kruhově zakřivenými zuby.



Obr. 2.3 Kuželové kolo tvaru I [4]

2.2.1.2 Tvar II

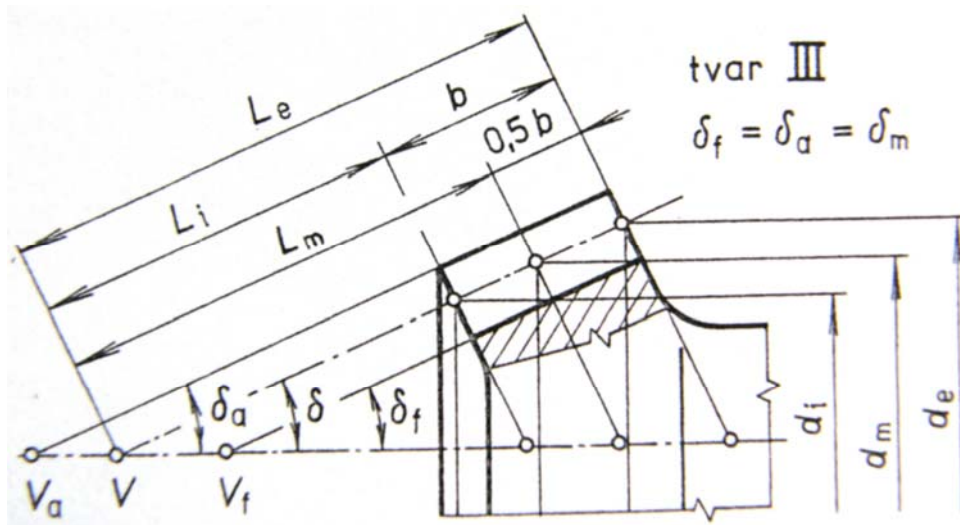
Vrchol patního kužele je posunut tak, aby šířka dna zubové mezery byla konstantní a tloušťka zubu na roztečném kuželu se zvětšovala úměrně se zvětšující vzdáleností od středu. Vrchol roztečného a hlavového kužele je totožný. Tento tvar se používá u kol se zuby kruhově zakřivenými, kde jeden nástroj obrábí obě strany zubové mezery.



Obr. 2.4 Kuželové kolo tvaru II [4]

2.2.1.3 Tvar III

Výška zubu je u tohoto typu konstantní. Povrchy patního, roztečného a hlavového kužele jsou rovnoběžné. Tento tvar se používá u kol paloidních a eloidních.

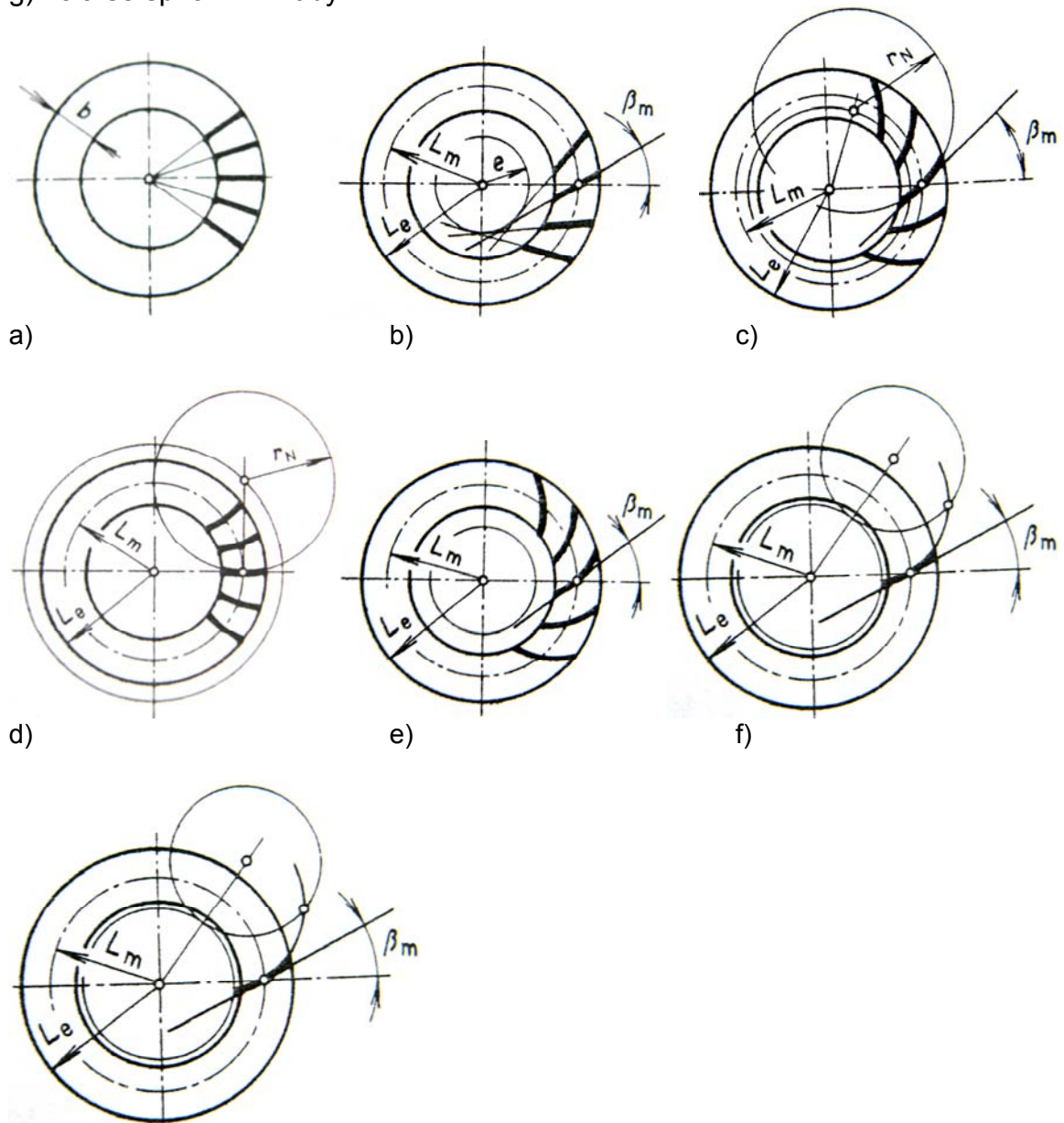


Obr. 2.5 Kuželové kolo tvaru III [4]

2.2.2 Podle zakřivení zubů

Kuželová soukolí dělíme podle průběhu zubu na kuželová kola s přímými, šikmými a zakřivenými zuby. Hlavní zakřivení zubů jsou na Obr. 2.6.

- kola s přímými zuby
- kola s šikmými zuby
- kola s kruhovými zuby
- kola s kruhovými zuby systém Zerol
- kola s paloidními zuby
- kola s evolventními zuby
- kola se spirálními zuby



g)
Obr. 2.6 Druhy zakřivení zubů [4]

2.2.2.1 Kuželová kola s přímými zuby

Kola s přímými zuby jsou základním typem kuželových kol. Řídící křivkou je přímka, která prochází středem kola (Obr. 2.6a). Nejčastěji má jejich ozubený věnec tvar I. Bok zubu vzniká odvalem roviny po kuželové ploše, proto se tvar zubu mění podél povrchové přímky kužele. To způsobuje, že se modul směrem od vrcholu kužele lineárně zvětšuje. V dnešní době se vyrábějí ozubená kuželová kola s přímými zuby, pouze s oktoidním profilem zubů. Často jsou zaměňována za evolventní kuželová kola. Evolventní kuželová kola s přímými zuby se však nevyrábějí. Dříve se také vyráběla kuželová kola s cykloidním profilem zubu. Kuželová kola s přímými zuby mají sklon krázkovému chodu a vyšší hlučnosti. Používají se na přenos menších výkonů a tam kde nejsou nároky na tichost a plynulost chodu. Kuželová kola s přímými zuby lze vyrábět frézováním dělicím způsobem, frézování nožovými hlavami, obrážením dvěma noži, obrážením podle šablony a protahováním kotoučovým protahovákem. [4]



Obr. 2.7 Kuželové soukolí s přímými zuby [9]

2.2.2.2 Kuželová kola se zakřivenými zuby

Kuželová kola se zakřivenými zuby se používají u hnacích náprav automobilů, traktorů a kolejových vozidel, převodovkách, obráběcích strojích a jeřábech. Mají proti kuželovým kolům s rovnými zuby řadu výhodnějších vlastností, mezi ně patří:

- Tichý chod při přenášení velkých výkonů za vysokých otáček a letmo uloženého pastorku
- Velké převodové poměry na jednom soukolí
- Na pastorku při z_{\min} nedochází k pořezání zubu
- Zvýšená pevnost zubů na ohyb a otláčení
- Rovnoměrné opotřebení spoluzabírajících profilů
- Zvýšená trvanlivost soukolí
- Malá váha soukolí
- Delší trvání záběru



Obr. 2.8 Kuželové soukolí se zakřivenými zuby [9]

Nevýhody kuželových kol se zakřivenými zuby:

- Složitější silové poměry
- Větší zatížení hřídelů a ložisek
- Vtahování pastorku do talířového kola při obrácených otáčkách
- Drahé stroje a nástroje

Mezi kuželová kola se zakřivenými zuby patří kola s šikmými zuby, kruhovými zuby, kruhovými zuby systém Zerol, paloidními zuby, eloidními zuby a spirálními zuby.

Kuželová kola s šikmými zuby (obr. 2.6b)

Řídící křivkou je přímka, která neprochází středem kola, ale dotýká se pomocné kružnice o poloměru e . Věnc kol se provádí ve tvaru I. Vyrábějí se s úhlem sklonu $\beta_m = 20^\circ$ až 45° a úhlem profilu zubu $\alpha_t = 14,5^\circ$; 15° ; $17,5^\circ$ a 20° . Ozubení lze vyrobit na obrázcích strojích Harbeck.

Kuželová kola s kruhovými zuby (obr. 2.6c)

Řídící křivka zubů je kružnice se středem na pomocné kružnici. Vyrábějí se s úhlem sklonu $\beta_m = 30^\circ$ až 40° (nejčastěji 35°), úhlem profilu zubu $\alpha_t = 14,5^\circ$; $17,5^\circ$ a 20° . Věnc kol se vyrábí ve všech tvarech I, II a III. Technologicky výhodný je tvar I pro $z < 30$, tvar III pro $z > 100$ a tvar II pro $z = 30$ až 100 . Kola s kruhovými zuby se vyrábějí na strojích Gleason frézovacími hlavami.

Kuželová kola s kruhovými zuby (obr. 2.6d)

Řídící křivka zubů je kružnice se středem na pomocné kružnici. Tento typ se vyznačuje úhlem sklonu $\beta_m = 0^\circ$. Má některé výhody zubů přímých např. malé axiální síly s výhodami zakřivených zubů.

Kuželová kola s paloidními zuby (obr. 2.6e)

Řídící křivka zubů je prodloužená evolventa (paloida). Vyrábějí se s úhlem sklonu $\beta_m = 30^\circ$ až 45° , úhlem profilu zubu $\alpha_t = 17,5^\circ$ nebo 20° . Věnc kol se provádí ve tvaru III. Ozubení se vyrábí na speciálních strojích Klingelberg.

Kuželová kola s eloidními zuby (obr. 2.6f)

Řídící křivka zubů je část prodloužené epicykloidy. Typický je tvar věnce III. Vyrábějí se s úhlem sklonu $\beta_m = 30^\circ$ až 45° , úhlem profilu zubu $\alpha_t = 17,5^\circ$. Ozubení se vyrábí na speciálních strojích Oerlikon frézovací hlavou se vsazenými noži.

Kuželová kola se spirálními zuby (obr. 2.6g)

Řídící křivka zubů je Archimédova nebo logaritmická spirála. [4]

Tab. 2.1 Druhy kuželových kol [3]

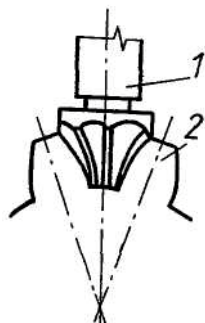
Řídící křivka	Název	Výška zubu
Radiální přímka	Přímé ozubení	Proměnlivá
Šikmá přímka	Šikmé ozubení	Proměnlivá
Kruhový oblouk	Gleason	Proměnlivá, ale hlavové, patní a roztečné kužele nemají společný vrchol
	Gleason - Zerol	
	Modul - Kurvex	Konstantní
Evolventa	Paloidní ozubení Kingelberg	Konstantní
Epicykloida	Eloidní ozubení Oerlikon - Spiromatic	Konstantní
	Cyklopaloidní ozubení Klingelberg	Konstantní

3 TECHNOLOGIE VÝROBY KUŽELOVÝCH KOL

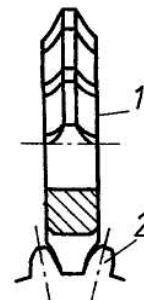
Jak už bylo dříve zmíněno kuželová kola se vyrábějí buď s přímými nebo zakřivenými zuby. Výroba přímého ozubení je jednodušší oproti zakřivenému ozubení. Výjimkou je šikmé ozubení, které se vyrábí na stejných strojích jako přímé ozubení. Rozdíl je v nastavení nástroje. V našem průmyslu se pro hromadnou výrobu kuželových kol nejčastěji používají stroje od firem: Gleason, Klingelberg, Oerlikon, Harbeck.

3.1 Frézování dělicím způsobem

Tato metoda nevyžaduje speciální stroje, ozubení se zhotovuje na univerzálních frézách (Obr. 3.4). Nástrojem je kotoučová nebo stopková tvarová fréza. Tvarovou kotoučovou frézou se vyrábějí kuželová kola s přímými a šikmými zuby. Stopkovou frézou lze navíc vyrábět ozubení se šípovými a zakřivenými zuby. Frézy jsou vyrobeny z rychlořezné oceli. Čepové frézy se používají pro výrobu ozubení větších rozměrů modulů do 50 mm.

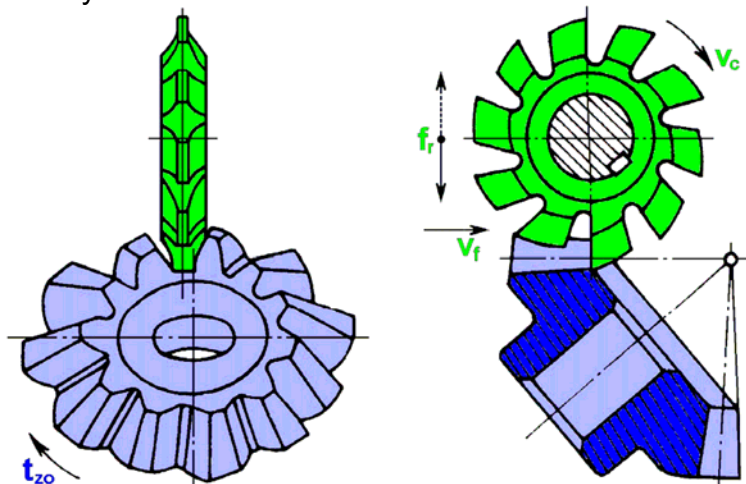


Obr. 3.1 Stopková tvarová fréza [5]



Obr. 3.2 Kotoučová tvarová fréza [5]

Frézování dělicím způsobem je metoda, při níž se frézuje každá zubová mezera zvlášť. Aby se zlepšila geometrická přesnost ozubení nejprve se vyhrubuje střed zubové mezery. Následně se frézují na čisto obě strany zubové mezery každá zvlášť. Po vyrobení první zubové mezery se nástroj otočí o jednu rozteč a celý cyklus se opakuje dokud není ozubení vyrobené po celém obvodu. Při výrobě zakřivených zubů se musí otáčet obráběné kolo kolem své osy.



Obr. 3.3 Frézování ozubení kuželového kola kotoučovou tvarovou frézou [6]

Vyrobené ozubení je nepřesné. Frézy mají správný tvar zubové mezery jen pro určitý počet zubů a jednu velikost modulu. Tvarovou frézou není možné vyrobit správné kuželové ozubení, protože nástroj není schopen lineárně zmenšovat modul ozubení směrem k vrcholu kuželového kola.



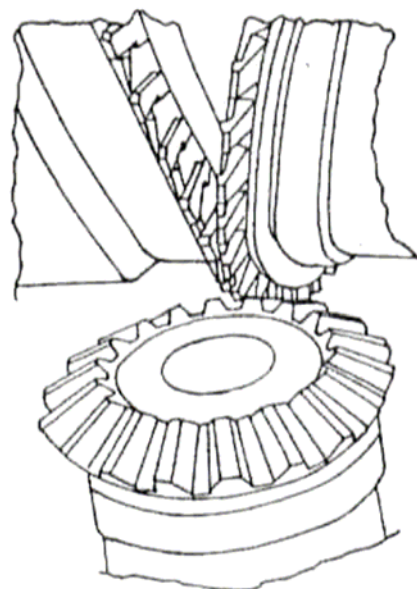
Obr. 3.4 Univerzální frézka [10]

Ten to způsob výroby je vhodný pro výrobu kuželových kol, kde nejsou kladeny nároky na přesnost ozubení. Nejčastěji se používá této metody k hrubování před dokončovacími metodami (např. obrázení podle šablony nebo odvalovacími metodami). Výroba jednoho kola trvá v řádu jedné hodiny v závislosti na rozměrech kola a ozubení. Tato metoda je vhodná pouze pro kusovou výrobu. [6]

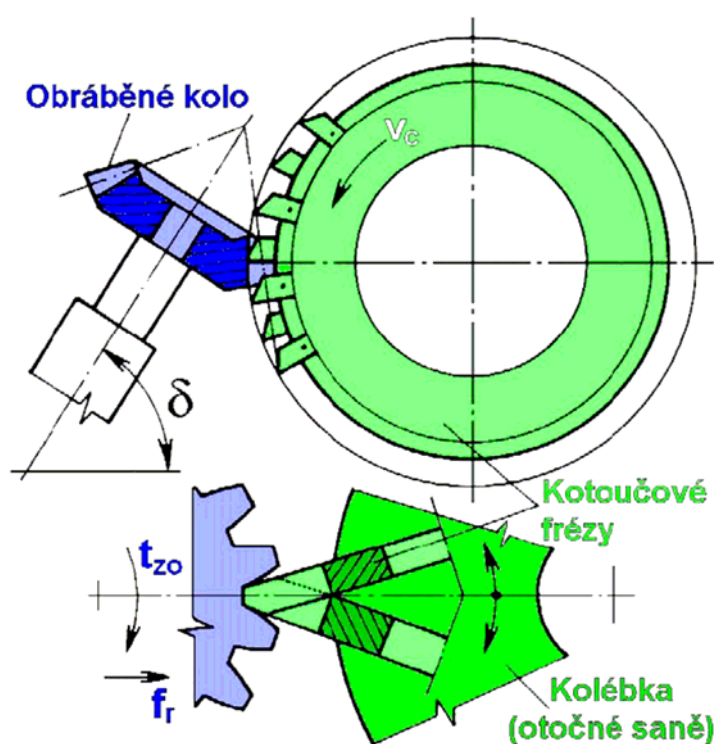
3.2 Frézování nožovými hlavami

Touto metodou se vyrábí kuželová kola s přímými a šikmými zuby. Nástroji jsou dvě kotoučové nožové hlavy se vsazenými břity, které se vzájemně překrývají v zubové mezeře. Ozubení se vyrábí dělicím způsobem. Zubová mezera je vyrobena zapichováním a odvalováním frézovacích hlav. Výroba zubové mezery se provádí odvalováním ozubení po plochem základním kole, kde zuby tvoří vnější břity frézovacích hlav. Otáčením obrobku a natáčením kolébky nebo odvalováním frézovací hlavy je zajištěn odvalovací pohyb. Obrobek při tom koná radiální posuv na hloubku zubu. Zubové mezery mají tvar kruhového oblouku. Zuby mají tvar soudečkový.

Tato metoda se používá k výrobě kuželových kol menších a středních rozměrů pro moduly od 0,3 do 10 mm. Vyrobené ozubení má přesný tvar, modul se lineárně zvětšuje směrem od středu kola. Frézování nožovými hlavami je vhodná metoda pro kusovou výrobu, kde jsou kladeny nároky na přesnost ozubení. [6]



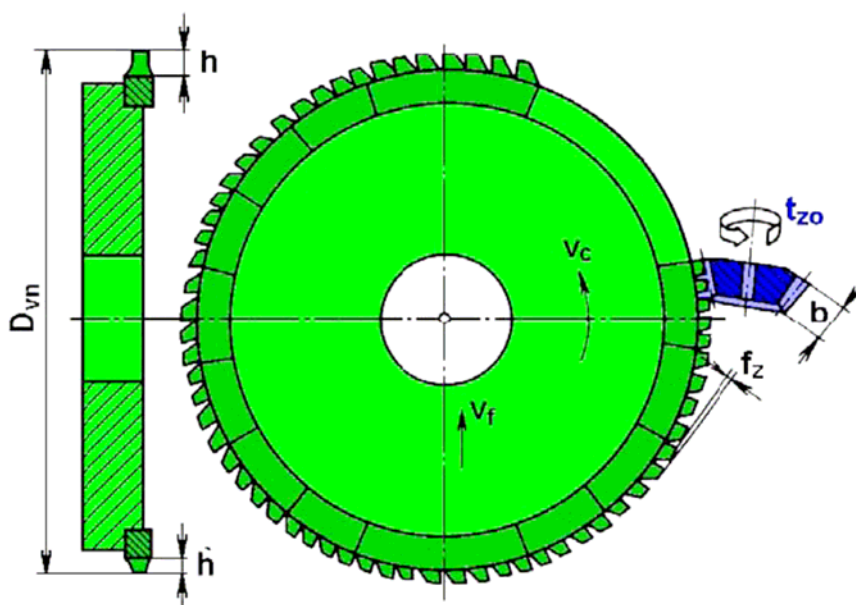
Obr. 3.5 Frézování dvěma kotoučovými nožovými hlavami [5]



Obr. 3.6 Frézování ozubení kuželového kola pomocí dvou kotoučových nožových hlav [6]

3.3 Protahování kotoučovým protahovacím nástrojem

Protahováním se vyrábějí kuželová kola s přímými zuby. Nástrojem je kotoučový protahovací nástroj o průměru 450 až 600 mm. Po větší části obvodu tělesa protahováků jsou upnuty segmenty se zuby. V místě kde nástroj má vynechané segment s břity, je obrobek otáčen. Každý segment má jiný tvar zubů. Velikost a tvar zubu se mění s polohou segmentu na obvodě tělesa protahováků. Zuby se postupně zvětšují v závislosti na tvaru zubové mezery. Profil břitu je vytvořen kruhovými oblouky, které nahrazují evolventní zakřivení boku zubu.



Obr. 3.7 Protahování ozubení kuželového kola [6]

Nástroj se otáčí a současně se osa nástroje posouvá do záběru. Záběr začíná v místě, kde má být nejmenší zubová mezera a pokračuje k větší zubové mezeře. Po vytvoření zubové mezery se kolo otočí o jednu rozteč dělicím zařízením.

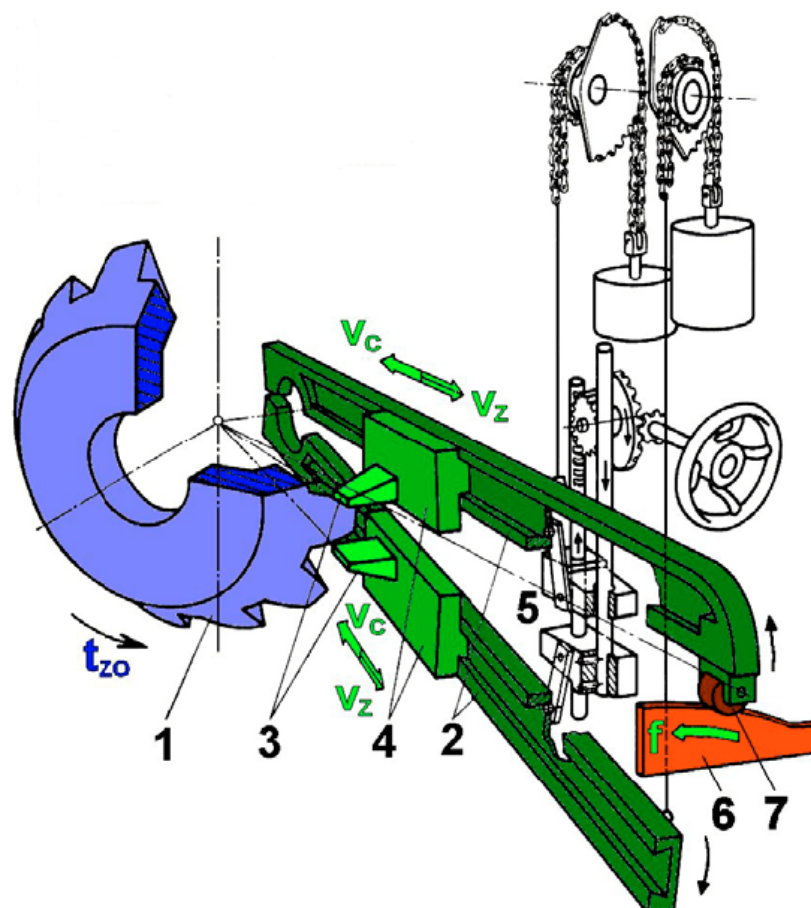
Tento druh výroby kuželových kol s přímými zuby se používá v hromadné a velkosériové výrobě. Jedná se o nejproduktivnější metodu výroby kuželových kol s přímými zuby. Výroba jedné zubové mezery trvá pouze několik sekund. Využívá se hlavně v automobilovém průmyslu. [6]

3.4 Obrázení podle šablony

Obrázení kuželového ozubení podle šablony se vyrábějí přesnější kola s většími moduly ($m = 20\text{mm}$). Kola bývají předhrubována frézováním dělicím způsobem.

Na obrázku je schéma obrázení ozubení kuželového kola podle šablony. Obráběné kolo (Obr. 3.8-1) je upevněno na hřídeli dělicího přístroje, který po obrobení zubové mezery pootočí obráběným kolem o jednu rozteč. Po vedení suportů (Obr. 3.8-2) se pohybují nožové hlavy (Obr. 3.8-4) přímočarým vratným pohybem. V každé nožové hlavě je upevněn jeden obrážecí nůž (Obr. 3.8-3). Obrážecí nože jsou vyrobeny z rychlořezných ocelí. Posuvné zařízení (Obr. 3.8-5) zajišťuje posuv po každém dvojzdvihu nožové hlavy o danou hodnotu. Přesnou polohu obrážecího nože určuje kopírovací kladka (Obr. 3.8-7). Ta je umístěna na konci suportu a odvaluje se po šabloně (Obr. 3.8-6), která má tvar zvětšeného boku zubu. Na obrázku je zobrazena pouze jedna šablona.

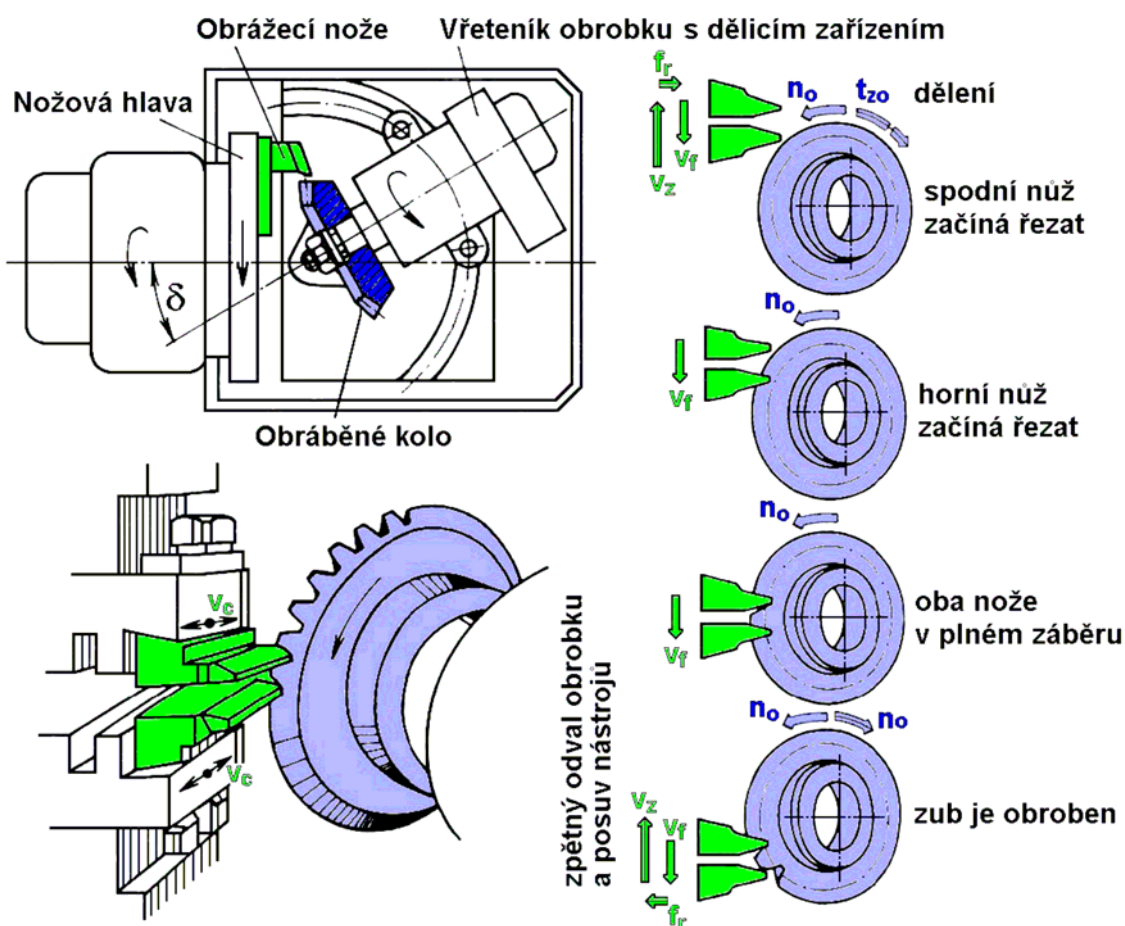
Výhodou obrázení podle šablony je výroba přesného ozubení se zmenšujícím se modulem zubu směrem k vrcholu kužele. Jednou šablonou lze obrážet kola se stejným počtem zubů, ale s různými moduly pouhou změnou vzdálenosti kola od roztečného vrcholu. Nevýhodou je nižší produktivita a nízká jakost boku zubů. [6]



Obr. 3.8 Schéma obrázení ozubení kuželového kola podle šablony [6]

3.5 Obrázení dvěma noži

Tou to metodou se vyrábějí kuželová kola s přímými nebo šikmými zuby. Technologie obrázení dvěma noži patří v naší zemi mezi nejrozšířenější výrobu přímých a šikmých zubů. Jedná se o odvalovací způsob výroby boků zubů (Obr. 3.9). Podobně jako u čelních kol vyráběných odvalovacím způsobem, kde se vytváří ozubení odvalem roztečného válce kola po roztečné rovině hřebenu, se u kuželových kol roztečný kužel odvaluje po roztečné rovině plochého kola. Ploché kolo je teoretické kuželové kolo s vrcholovým úhlem roztečného kužele 180° .



Obr. 3.9 Odvalovací obrázení ozubení kuželového kola dvěma noži [6]

Nástroje jsou dva obrážecí nože (Obr. 3.10), které mají tvar lichoběžníkového profilu. Nože jsou vyrobeny z rychlořezných ocelí. Ostří se brousí na vodorovných rovinných bruskách. Nože představují boky zubů pomyslného plochého základního kola. Nože jsou užší než zubová mezera.



Obr. 3.10 Obrážecí nože

Oba boky jednoho zubu jsou obráženy současně dvěma přímočaře se pohybujícími noži. V otočné nožové hlavě (Obr. 3.11) jsou upnuty obrážecí nože. Řezný pohyb je ve směru povrchových přímků boků zubů. Boky zubů ve tvaru evolventy se vyrábí jako obálka postupných poloh břitů nástrojů. Po obrobení jednoho zubu se nožová hlava vrátí do původní polohy. Dělicím zařízením se kuželové kolo pootočí o jednu rozteč. [6]



Obr. 3.11 Otočná nožová hlava s upnutými noži

Kola se obrábí na odvalovacích strojích Harbeck (Obr. 3.12), které slouží pro výrobu oktoidních kuželových kol s přímými nebo šikmými zuby. Na strojích Harbeck můžeme vyrábět zuby s modifikovaným profilem zubu. Modifikace máme dvojího typu příčnou a podélnou. Příčnou modifikací se rozumí zúžení hlavy nebo paty zubu. Příčnou modifikací se zlepšuje odvalování kuželových kol a snižuje se hlučnost převodu. Výhodnější je zúžení hlavy zubu, kdy nedochází ke snížení pevnosti zubu, jako u modifikace (zúžení) paty zubu. Příčná modifikace se nejčastěji používá u přímého ozubení. Podélná modifikace se používá u soukolí, kde není zaručena vzájemná poloha os kuželových kol. Přípravné časy se pohybují kolem třiceti minut. Výroba jednoho kola trvá hodinu až hodinu a půl podle rozměrů vyráběného kola.



Obr. 3.12 Obrábecí stroj Harbeck

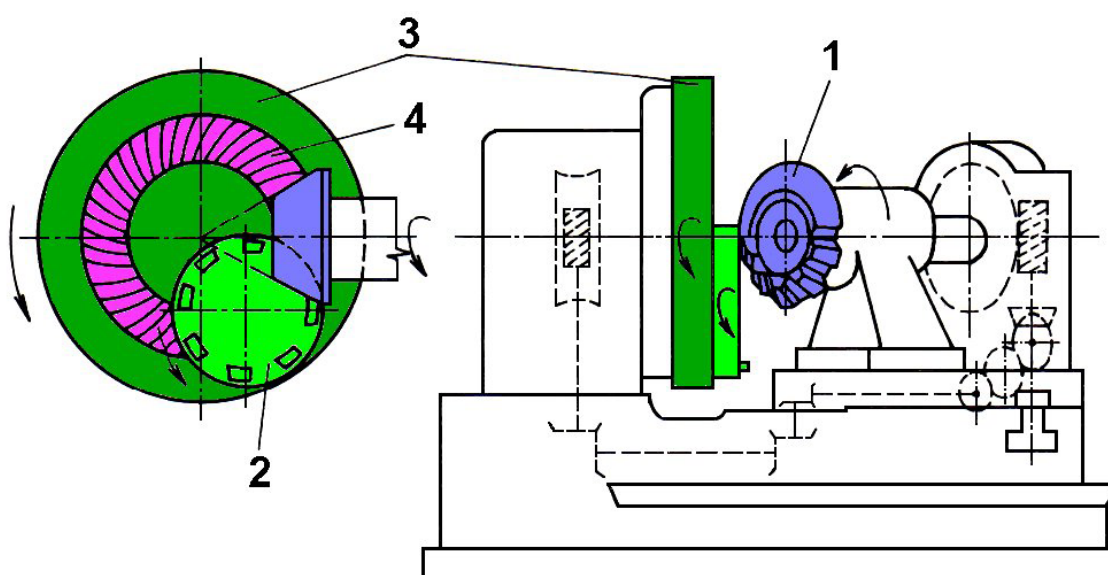
Po prvním vyrobeném soukolí se vždy provádí kontrola na kontrolním probíhacím přístroji (Obr. 3.13). Kontroluje se především plynulost chodu a pásmo dotyku. U velkých sériích se kontroluje soukolí při každé výměně nástroje.



Obr. 3.13 Kontrolní probíhací přístroj

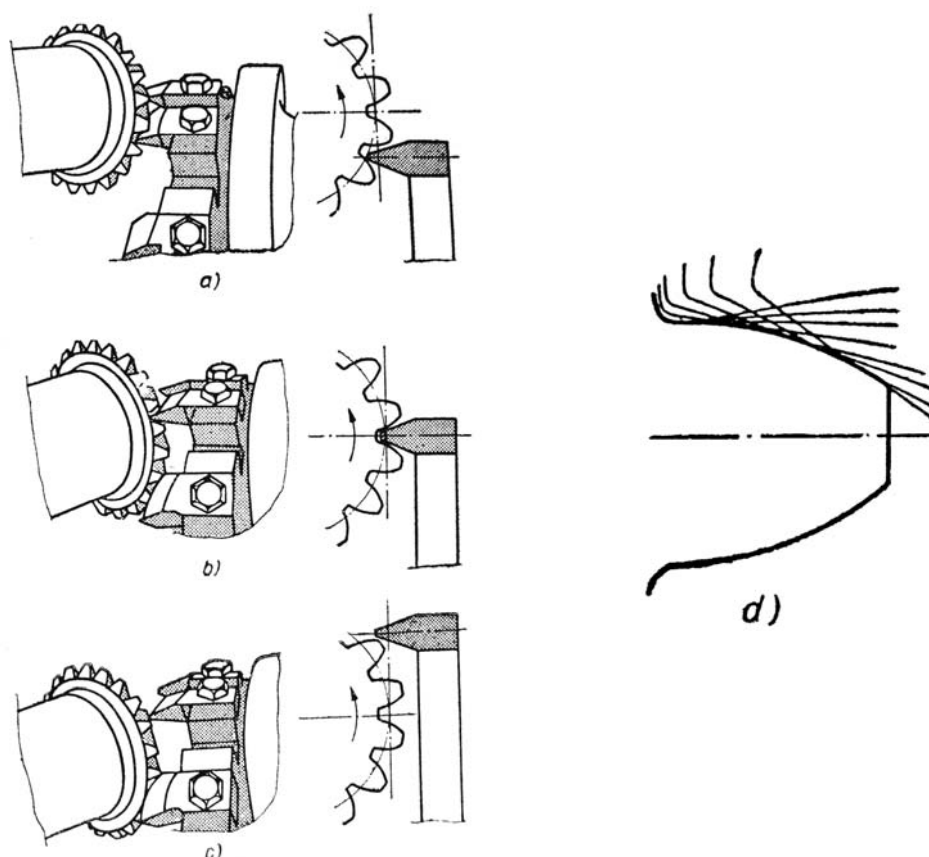
3.6 Metoda výroby - Gleason

Metodou Gleason se vyrábí kuželová kola s kruhovými zuby. Obloukový tvar ozubení se vytváří břitzy nožů. Nože mají lichoběžníkový tvar. V nožové hlavě jsou upnuty nože po obvodě střídavě s vnitřním a vnějším ostřím. Při otáčení nožové hlavy, vytvářejí nože s vnějšími břity prostorově dutý bok, s vnitřními břity vytvářejí prostorově vypouklý bok zubu. Řezná rychlost je dána rotací nožové hlavy. Další pracovní pohyby nemají vliv na řeznou rychlost.



Obr. 3.14 Frézování ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby způsobem Gleason [6]

Princip obrábění zubové mezery je odvalování pomyslného základního kola s obráběným ozubeným kolem. Základní kolo se skládá z unášecí desky na níž je upnuta nožová hlava. Obrobek se radiálně přisune na hloubku zubové mezery a automaticky se spustí odvalovací pohyby základního kola. Unášecí deska i nožová hlava se otáčí úhlovými rychlostmi. Tyto rychlosti jsou určeny z převodového poměru mezi základním kolem a obrobkem. Břity nožů tvoří zub základního kola. Po vyfrézování zubové mezery se obrobek odsune od původní polohy a pootočí o jednu rozteč. Na unášecí desce se změní smysl otáčení, aby se vrátila do původní polohy. Tímto opakovaným odvalovacím a dělicím pohybem se postupně obrobí všechny boky zubů. Jedná se o přerušovaný způsob výroby, čímž se liší od jiných způsobů frézování (paloidních a eloidních kuželových kol), kde se všechny zuby vyrábí nepřetržitě.



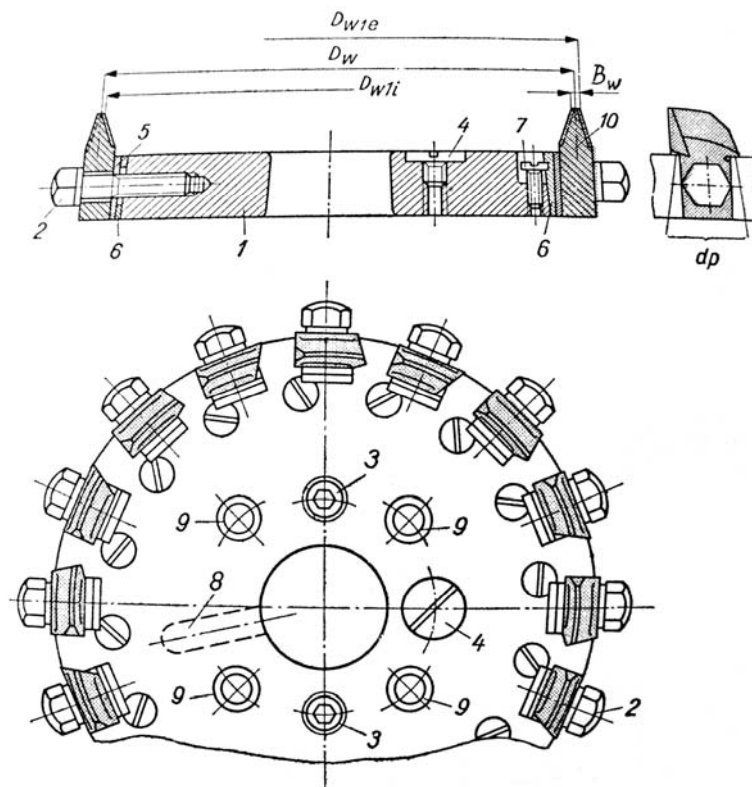
Obr. 3.15 Průběh frézování jednoho boku zubu [7]

- a) počátek odvalu
- b) střed odvalu
- c) konec odvalu
- d) profil zubu s jednotlivými polohami nástroje

Podle provedení rozlišujeme nožové hlavy na celistvé, segmentové a se vsazenými noži. Celistvé hlavy jsou nejmenší frézovací hlavy, které jsou provedeny v celku s noži. Segmentové frézovací hlavy mají přišroubovány skupiny dvou až čtyř nožů. Nožové hlavy se vsazenými noži mají tyto přednosti:

- Na jednu hlavu lze upnout různé velikosti nožů, které lze měnit podle obráběného kola.
- Lehká výměna poškozených nožů.
- Lehké nastavení nožů do jmenovité polohy.
- Levná výroba frézovacích nožů.

Těleso nožové hlavy (Obr. 3.16-1) je masivní kruhová deska se zářezy po obvodě, do níž se upínají nože (Obr. 3.16-10) pomocí šroubů (Obr. 3.16-2). Pro upnutí na vřeteno stroje má nožová hlava kuželovou díru s unášecí drážkou (Obr. 3.16-8). Čtyři díry (Obr. 3.16-9) slouží k upnutí hlavy k vřetenu a dvě díry (Obr. 3.16-3) pro stahovací šrouby při sundávání nožové hlavy. Na zátce (Obr. 3.16-4) jsou vyryty základní údaje o upnuté sadě nožů. Podložními destičkami (Obr. 3.16-5), regulačními klíny (Obr. 3.16-6) se šrouby (Obr. 3.16-7) se nastavují přesné umístění ostří nože na 0,002mm. Počet zubů závisí na průměru a druhu nožové hlavy. [6,7]



Obr. 3.16 Nožová hlava [7]

Kuželová kola s kruhově zakřivenými zuby se vyrábějí na strojích Gleason. Tato metoda byla vynalezena v USA v roce 1913. Z důvodů přerušované výroby ozubení je tato metoda málo produktivní, ale velmi přesná.

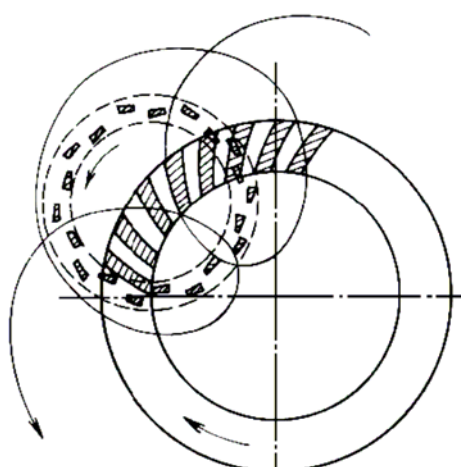


Obr. 3.17 Obráběcí stroj na výrobu kuželových kol [6]

3.7 Metoda výroby - Oerlikon

Metoda Oerlikon byla vynalezena ve Švýcarsku, vyráběná kuželová kola mají eloidní zakřivení zubů. Oerlikon je nejrozšířenější technologie výroby kuželových kol se zakřivenými zuby u nás.

Jedná se o odvalovací frézování s plynulým odvalem. Zubová mezera se vyrábí čelní nožovou hlavou s upnutými noži. Ozubení vzniká kombinací tří pohybů rotačním pohybem nožové hlavy, natáčením unášecí desky a rotačním pohybem obrobku. U této metody není potřeba dělicí zařízení, protože rotační pohyb obrobku je zároveň dělicím pohybem.



Princip vytvoření
prodloužené epicykloidy

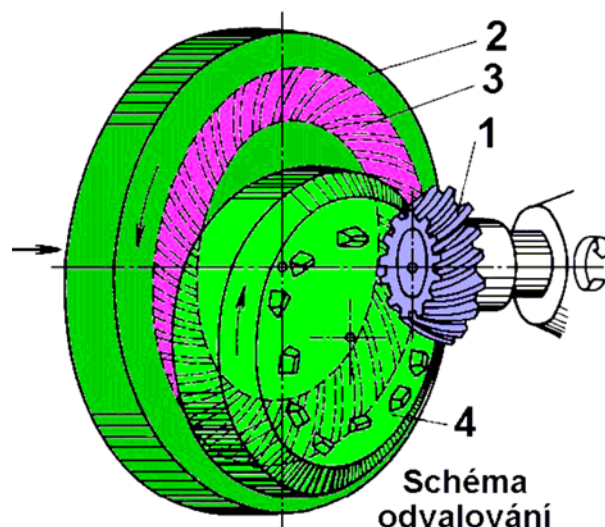
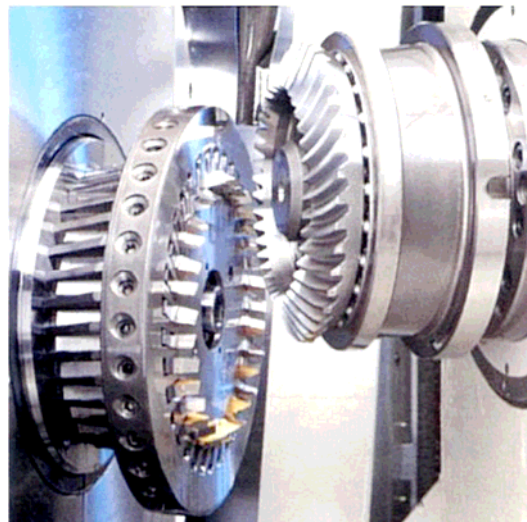
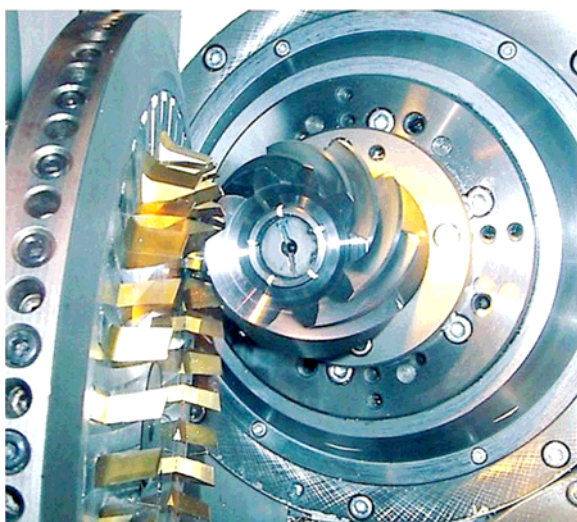


Schéma
odvalování



Obr. 3.18 Frézování ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby způsobem Oerlikon [6]

V unášecí desce je výstředně upnuta čelní nožová hlava. Nožové hlavy mají velmi podobnou konstrukci jako nožové hlavy Gleason (se vsazenými noži). V nožové hlavě jsou upnuty nože ve třech skupinách. První skupina nožů frézuje střed zubu, dvě zbývající skupiny nožů obrábí boky zubu. Jednotlivé břity nožů jsou uspořádány v nožové hlavě tak, že tvoří části samostatných spirál.

Ozubení se vyrábí na speciálních strojích Oerlikon (Obr. 3.19). Pro výrobu kuželového soukolí je potřeba dvou strojů. Jednoho na výrobu pastorku a druhého k výrobě kola, protože pastorek a kolo jsou k sobě párovány. Pokud dojde k poškození jednoho z kol (nejčastěji pastorku), musí se vyměnit i druhé kolo.



Obr. 3.19 Obráběcí stroje Oerlikon

Metoda Oerlikon vyrábí ozubení s nejhodnějšími vlastnostmi v porovnání s metodami Gleason a Klingelberg. Důvodem, proč je tato metoda u nás nejvíce rozšířena je její vysoká produktivita. Hodí se pouze pro sériovou výrobu. Přípravné časy se pohybují v řádu hodin (až 8 hod). Výroba jednoho kola zabere pouze několik minut. [6]

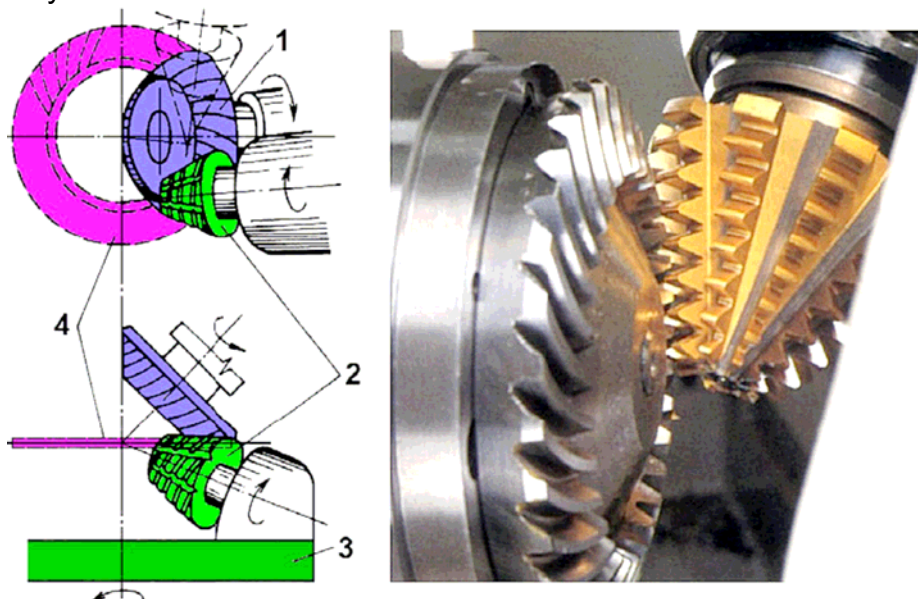
3.8 Metoda výroby - Klingelberg

Metoda Klingelberg vznikla v Německu, používá se od roku 1921. Jedná se o odvalovací frézování s plynulým odvalem. Vyráběná kuželová kola mohou mít zakřivení zubů dvojího typu (paloidní nebo cyklopaloidní). Kuželová kola s paloidním zakřivením zubů se vyrábí jinou technologií než kuželová kola s cyklopaloidními zuby.



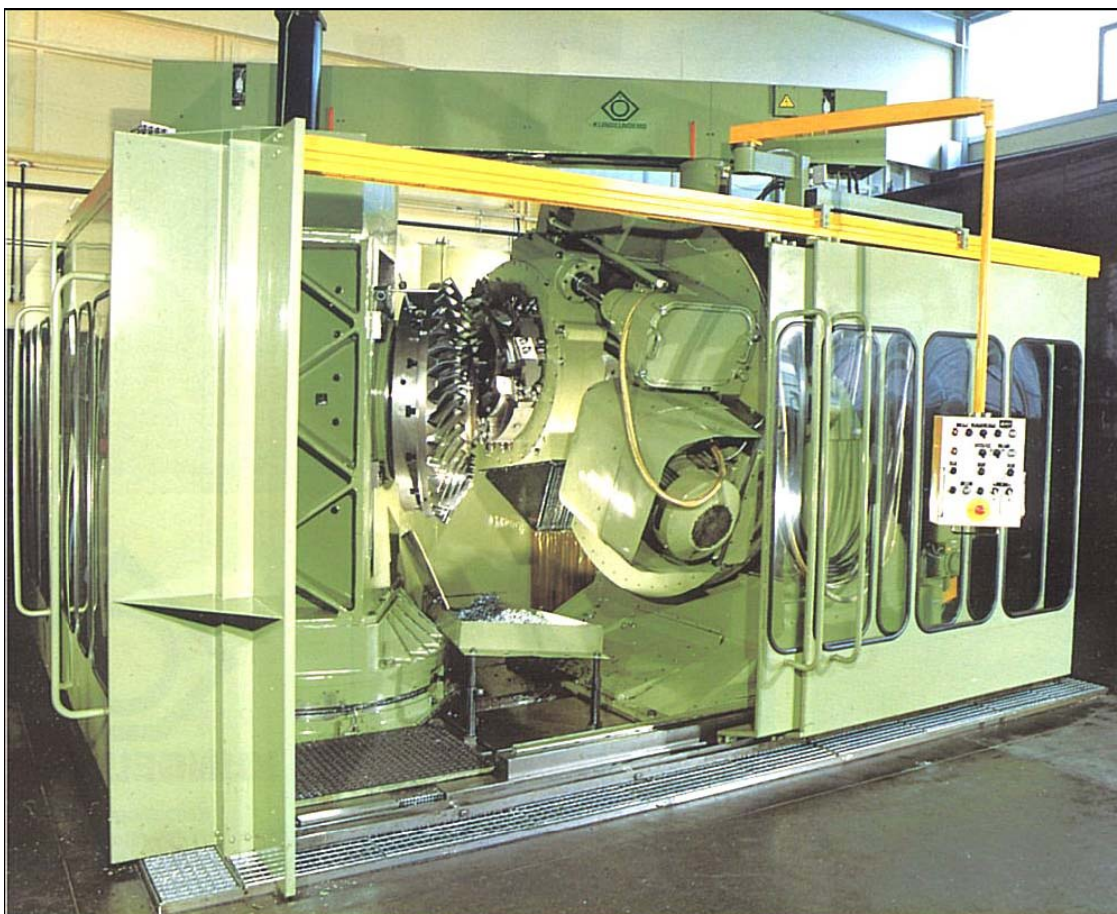
Obr. 3.20 Kuželové soukolí s paloidním ozubením

Kuželová odvalovací fréza (Obr. 3.21) se používá na výrobu kuželových kol s paloidním ozubením. Stejně jako u předešlých metod i zde se ozubení vyrábí odvalovacím frézováním. Ozubení je tvořeno kombinací tří pohybů: rotačního pohybu frézy, otáčení obrobku a odvalovacího pohybu frézy na unášecí desce. Kuželová odvalovací fréza je vyrobena z rychlořezného materiálu s povrchovou úpravou (nejčastěji povlakování). Na volbu nástroje má vliv pouze velikost modulu vyráběného ozubení. Přípravné časy se pohybují kolem třiceti minut. Výrobní časy se pohybují v řádech několika desítek minut, v závislosti na velikosti rozměrů ozubení. Tato metoda je vhodná pro malosériovou nebo kusovou výrobu. Vzniklé ozubení má velmi dobré vlastnosti.



Obr. 3.21 Frézování kuželových kol s paloidním ozubením metodou Klingelberg [6]

Kuželová kola s cyklopaloidním ozubením jsou vyráběna podobně jako u metody Oerlikon. Rozdíl je pouze v konstrukci nožové hlavy. Nožová hlava je dvoudílná. Všechny vnější nože jsou v jedné části frézy a vnitřní nože v druhé části. Obě části mají možnost vzájemného posuvu, díky tomu mohou jak vnitřní tak vnější nože měnit poloměry křivosti. To je zásadní pro výrobu zakřivení s podélnou modifikací tvaru zubu. Tato metoda je novější, v dnešní době více používaná, vysoce produktivní a vhodná pro kuželová kola do průměru 850 mm s malými a středními moduly ($m = 15 \text{ mm}$). [6]



Obr. 3.22 Obráběcí stroj Klingelberg AMK 1602 pro výrobu kuželových kol s cyklopaloidním ozubením [6]

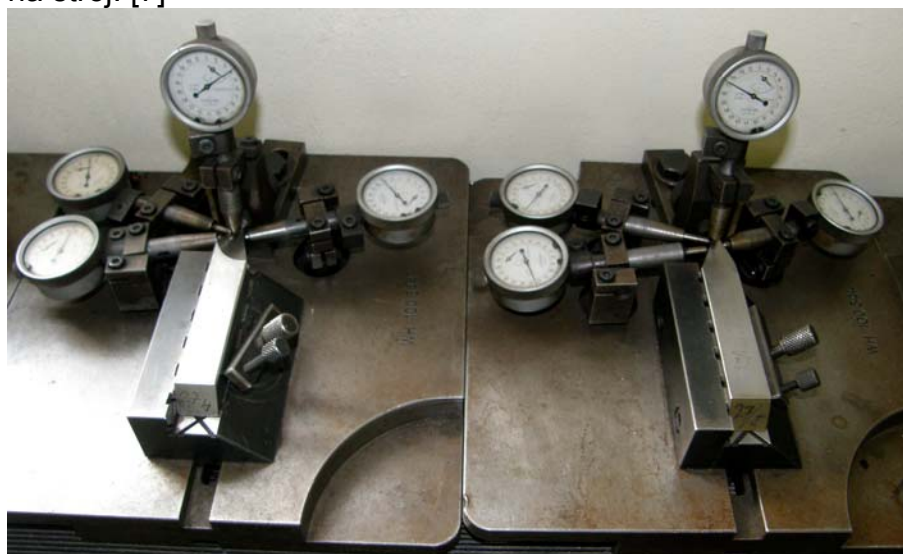
3.9 Ostření a nastavování nožů v nožových hlavách

Jedná se o nožové hlavy metod Gleason, Oerlikon a Klingelberg. Ostří nožů musí být takové, aby po jejich naostření zůstal zachován úhle záběrů nožů a jmenovitý průměr nožové hlavy. Nože se ostří na speciálních bruskách (Obr. 3.23). Nože se brousí najednou ve skupinách. Brusky se liší od klasických rovinných brusek upínáním. Na pracovním stole nemají elektromagnetickou desku, ale mechanickou upínací desku (Obr. 3.23).



Obr. 3.23 Speciální bruska na broušení nožů

Brousí se tři hrany nože na 0,002 mm. Po naostření se každý nůž musí zkontrolovat na speciálních přípravcích pomocí mikrometrů (Obr. 3.24). Pokud splňují dané parametry mohou se začít upevňovat do nožové hlavy. Velikost nožové hlavy se volí podle rozměrů kola a ozubení (Obr. 3.25). K upevňování nožů do nožové hlavy se používá přístroj na kontrolu břitů nožů nožové hlavy (Obr. 3.26). Nože se hlavně nastavují axiálně a radiálně. Přípustná velikost házení břitů je 0,002 mm. Po upnutí všech nožů je frézovací hlava přichystána k upnutí na stroj. [7]



Obr. 3.24 Přípravky na měření břitů nožů

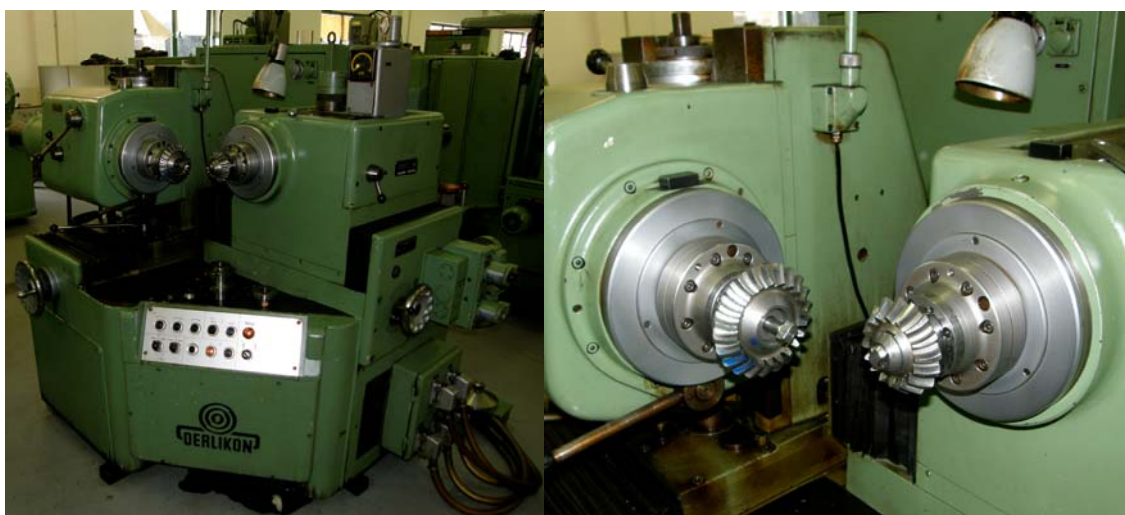


Obr. 3.25 Nožové hlavy

Obr. 3.26 Přístroj na kontrolu břitů nožů
nožové hlavy

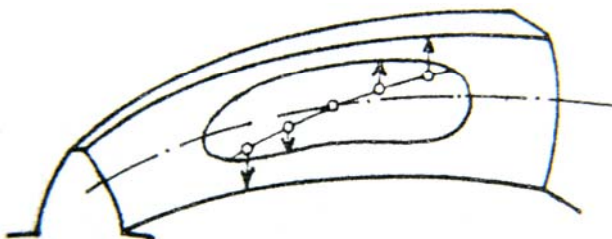
3.10 Zkoušení záběru kuželových soukolí se zakřivenými zuby

Správný záběr zubů zaručuje kuželovým kolům možnost malého přesazení os kol při montáži a bezhlučnost chodu i při kolísavém zatížení. Při zatížení se hřídel pastorku prohne působením sil v ozubení. Letmé uložení umožní pastorku přimknutí zubů u většího průměru. To má za následek přesunutí záběru k širšímu konci zubu. Proto se záběr umísťuje na střed nebo blíže k užšímu konci zubu. Přesná poloha záběru je dále závislá na tuhosti uložení a na tepelném zpracování (kalení) zubů. Deformace při kalení se snaží narovnávat zakřivení zubů. Poloha záběru se kontroluje při vyrobení prvního soukolí. Zkouška se provádí při každé výměně nástroje na speciálních zkoušejících strojích (Obr. 3.27).



Obr. 3.27 Speciální zkoušecí stroj

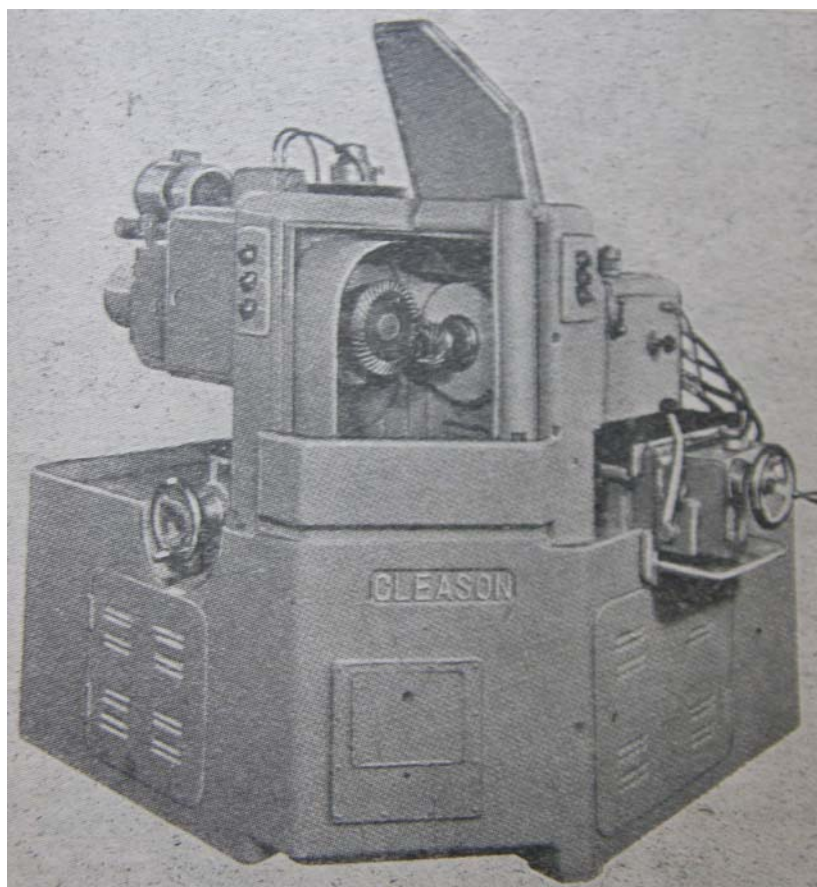
Ozubení pastorku se natře tuširovací barvou. Kolo je přibrzdováno tak, aby se dosáhlo přibližně stejných podmínek ve kterých bude soukolí pracovat. V místech, kde se zuby dotýkaly, se barva vytlačí, tím vznikne světlejší místo, které nám ohraničuje oblast záběru zubů. Světlejšímu místu se říká zrcátko. [7]



Obr. 3.28 Zrcátko na boku zubu [8]

3.11 Lapování kuželových kol se zakřivenými zuby

Z důvodů zvýšení jakosti povrchu boků zubů se lapují po tepelném zpracování na speciálních lapovacích strojích (Obr. 3.29). Lapovací stroj je velice podobný zkoušejícímu stroji. Jsou zde pouze dva rozdíly. Při lapování se do záběru stříká čerpadlem směs oleje s lapovacím práškem. Talířové kolo je uloženo na výstředníku, který se během lapování vykyvuje kolem středu speciální vačky. Časy na lapování jednoho soukolí se pohybují v řádu desítek minut. [7]



Obr. 3.29 Lapovací stroj [7]

3.12 Broušení kuželových kol se zakřivenými zuby

Broušení se provádí nejčastěji po kalení, ale brousí se i nekalené a nerezové oceli, kde potřebujeme vysokou přesnost ozubení. Broušení ozubení se provádí na speciálních bruskách (Obr. 3.30). Nástroji jsou dva brusné kotouče (Obr. 3.30) s odlišnou velikostí průměru.



Obr. 3.30 Bruska pro výrobu eloidního ozubení kuželových kol

Ozubení se brousí ponorným způsobem, kdy každý kotouč obrábí jednu stranu zubu. Ozubení je vyrobené na 0,005 mm. Nejčastěji se brousí ozubení s modulem od 1,5 do 8 mm. Po prvním vyrobeném kole se kontroluje ozubení na dotykovém měřícím přístroji (Obr. 3.31) s přesností na tisíciný.



Obr. 3.31 Měřící dotykový přístroj

3.13 Dosahované přesnosti a drsnosti povrchu ozubení

Frézování je nejméně přesná výroba ozubení. Protahováním a obrážením dosahujeme stejného stupně přesnosti i drsnosti povrchu. Dokončovací metodou broušením se dosahuje nízké drsnosti povrchu. Lapování je nejpřesnější dokončovací metoda, kde vyrobené ozubení má jak nízkou drsnost povrchu tak vysoký stupeň přesnosti.

Tab. 3.1 Dosahované přesnosti ozubení

Metoda obrábění	Stupeň přesnosti	Drsnost povrchu Ra [μm]
Frézování		
dělicím způsobem	9 až 12	3,2 až 12,5
odvalováním	6 až 10	0,8 až 3,2
Obrážení	5 až 9	0,8 až 3,2
Protahování	5 až 9	0,8 až 3,2
Broušení	5 až 7	0,1 až 0,4
Lapování	2 až 5	0,1 až 0,2

3.14 Materiály kuželových kol

Ozubená kuželová kola se vyrábějí z plastů, kompozitů, neželezných kovů a ocelí. Pastorek musí být vždy tvrdší a pevnější než kolo. Kola se vyrábějí samostatně a na hřídel se nasazují pomocí pera, případně drážkováním vytvořeného na hřídeli a na náboji ozubeného kola.

3.14.1 Plasty

Polyamid	Dobře tlumí rázy a chvění Je pevný, tuhý, houževnatý, odolný proti opotřebení do teploty 80 °C.
Ertacetal	Vyznačuje se odolností proti hydrolýze a působení silných zásad, vyšší mechanickou pevností, tuhostí a odolností proti tečení, nižší tepelnou roztažností a dobrými kluznými vlastnostmi. Vhodný pro ozubená kola s malým modulem
Zeder	Odolný na opotřebení, bezúdržbový provoz a nízké tření. Nemusí se mazat, je odolný proti rázům a vibracím. Velmi dobrá chemická odolnost. Používá se ve špinavém prostředí.

3.14.2 Kompozity

Textit Odolný proti kyselinám, velmi dobré kluzné a mechanické vlastnosti, tlumí rázy. Užívá se na větší ozubená kola.

Teflon Dobrá odolnost vůči kyselinám a zásadám, dobrá pevnost za vyšších teplot, velmi dobrá vrubová a rázová houževnatost. Kromě výroby ozubených kol se používá na armatury, pístní kroužky, ložiska a povrchové úpravy.

3.14.3 Neželezné kovy

Mosaz Dobrá tvárnost, odolnost proti atmosférické korozi, možnost povrchových úprav, špatně se obrábí.

Bronzy Vysoká odolnost proti korozi a únavovému namáhání, vyšší odolnost proti otěru, dobré kluzné vlastnosti. Používá se na ozubená kola s velkým zatížením.

Dural Malá hustota, dobrá elektrická a tepelná vodivost, dobrá obrobitelnost, pevnost a tvořivost, špatné kluzné vlastnosti.

3.14.4 Oceli

Nejpoužívanější oceli pro výrobu ozubených kol jsou:

11 423 Na mírně namáhaná ozubená kola, hřídele a čepy.

11 500 Na strojní součásti namáhané staticky i dynamicky např. ozubená kola, hřídele, čepy a kolíky.

11 600 Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé vlastnosti s vyšším obsahem uhlíku. Vhodná na strojní součásti namáhané staticky i dynamicky, u níž se nevyžaduje svařitelnost. Používá se na hřídele, ozubená kola, řetězová kola, páky, čepy a kolíky.

12 010 Konstrukční ocel k cementování. Na méně namáhané součásti: ozubená a řetězová kola, šrouby, kalibry a vačkové hřídele.

12 020 Ocel k cementování. Na méně namáhané součásti: ozubená a řetězová kola, šrouby, kalibry a vačkové hřídele.

12 050 Konstrukční ocel nelegovaná k zušlechťování, povrchovému kalení. Uklidněná ocel vhodná na hřídele těžních strojů, turbokompresorů a karuselů, na větší ozubená kola, šneky a ozubené věnce.

12 060 Ocel k zušlechťování. Na namáhané klikové a vačkové hřídele, ozubená kola, čepy, šrouby a pružiny k hospodářským strojům.

13 151 Ocel k zušlechťování Používá se na ozubená kola, šneky, věnce ozubených kol.

- | | |
|--------|--|
| 14 220 | Ocel k cementování a kyanidování. Ocel je dobře tvařitelná, po žíhání na měkko i za studena se dobře obrábí. Používá se na hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zubové spojky a pístní čepy. |
| 14 221 | Ocel určená k cementování a kyanidování. Ocel je dobře obrobitelná a tvařitelná za tepla. Užívá se na větší ozubená kola, vačkové kotouče, řetězová kola a hřídele. |
| 15 241 | Ocel k zušlechťování, povrchovému kalení. Svařitelnost za tepla a obrobitelnost po žíhání dobrá. Vhodná na strojní součásti, kde se vyžaduje velká pevnost a dostatečná tažnost např. ozubená kola, talířová kola a hřídele. |
| 16 220 | Ocel k cementování. Tvárnost za tepla a obrobitelnost dobrá. Na velmi namáhané strojní součásti s tvrdým povrchem s vyšší pevností a houževnatostí v jádře. Využívá se na ozubená kola převodovek, talířová kola, kola diferenciálů a kardanovy kříže. |
| 16 420 | Ocel k cementování. Tvárnost za tepla dobrá, v žíhaném stavu dobře obrobitelná. Vhodná na velmi namáhané strojní součásti např. hřídele a ozubená kola. [11] |

ZÁVĚR

Téma bakalářské práce bylo popsat moderní metody výroby kuželových kol. V úvodu se tato práce nejprve zabývá obecným využitím ozubených kol. Následně je popsáno rozdělení ozubených kol, se zaměřením na ozubená kuželová kola. Podrobně se potom práce zabývá charakteristikou kuželových kol, jejími klady a zápory. Hlavní část bakalářské práce, poskytuje detailnější rozbor používaných metod pro výrobu kuželových ozubených kol.

Ve strojírenském průmyslu se můžeme setkat s řadou technologií výroby kuželových kol. V bakalářské práci je například uvedena metoda frézování dělicím způsobem, která je v současné době zcela nedostačující zejména pro svoji výrobní nepřesnost. V automobilovém průmyslu se nejčastěji využívá metoda protahování kotoučovým protahovacím nástrojem. V tomto odvětví průmyslu se prosadila pro svoji vysokou produktivitu a samozřejmě i přesnost výroby ozubení. V naší zemi nejčastěji používanou metodou výroby kuželových kol s přímými a šikmými zuby je technologie výroby obrážení dvěma noži. Pro výrobu kuželových kol se zakřivenými zuby jsou používány tři metody: Gleason, Oerlikon, Klingelberg. Název technologie je shodný s názvem stroje, na kterém výrobní metoda probíhá. U kuželových kol, je kladen důraz na přesnost geometrie ozubení se často uplatňují dokončovací technologie broušení a lapování.

Výroba ozubených kuželových kol je ve světě všeobecně známá a široce používaná. Tyto metody patří neodmyslitelně ke strojírenskému průmyslu. Při zpracování bakalářské práce jsem se detailně seznámil s různými metodami výroby kuželových ozubených kol. Informace jsem získal nejen z odborné literatury, ale i z praxe. Během přípravy této bakalářské práce jsem několikrát navštívil průmyslové podniky, které se zabývají výrobou ozubených kol a kde jsem si ověřil získané poznatky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BOHÁČEK, František. *Části a mechanismy strojů III Převody*. 1. vyd. Ostrava : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1982. 267 s.
- [2] HELLER, Josef, HRUŠKA, Zdeněk. *Strojní součásti II : pro střední průmyslové školy strojnické*. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1986. 120 s.
- [3] KRÍŽ, Rudolf, VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka : Svazek 6 R - Části strojů a převody (2. část)*. 1. vyd. Praha : SCIENTIA, spol. s. r. o., 1995. 291 s. ISBN 80-85827-88-3 .
- [4] BOLEK, Alfréd. *Části strojů II : Převody a převodová ústrojí*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 1963.
- [5] KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno : AKADENICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno , 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [6] BUREŠ, Jan. *Kuželová kola s obloukovým ozubením Gleason*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1962. 136 s.
- [7] HUMÁR, A. *Výrobní technologie I* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia „Strojírenská technologie“. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2004. Dostupné na World Wide Web: http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobníTechnologie_I.pdf
- [8] BOLEK, Alfréd, KOČMAN, Josef. *Části strojů : Druhý svazek*. 5. přeprac. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990.
- [9] *Journal - DMG : 01*. DMG Vertriebs und Service GmbH. 2009. 36 s.
- [10] *Nejlevnejsihobby.cz* [online]. 2006 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <www.nejlevnejsihobby.cz/univerzalni-frezka-proma-fvv125pd-p-784.html>.
- [11] LEINVEBER, Jan, ŘASA, Jaroslav, VÁVRA, Pavel. *Strojírenské tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha : SCIENTIA, spol. s. r. o., 2000. 984 s. ISBN 80-7183-164-6.

