



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KUŽELOVÝCH OZUBENÝCH KOL **PRODUCTION OF BEVEL GEARS**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jan Nepauer

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Nepauer

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Výroba kuželových ozubených kol.

v anglickém jazyce:

Production of bevel gears.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza problematiky výroby kuželových ozubených kol. Členění kuželových kol podle základních parametrů. Metody výroby kuželových ozubených kol se zaměřením na kuželová ozubená kola se šikmými zuby. Možnosti využití ve strojírenské výrobě.

Cíle bakalářské práce:

- analýza problematiky
- rozdělení dle základních hledisek
- metody výroby
- zhodnocení moderních metod výroby kuželových ozubených kol

Seznam odborné literatury:

1. KLEPAL, Václav, et al. Výroba ozubených kol. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1959, 401 s.
2. DRAGO, Raymond J. Fundamentals of gear design. Woburn, Massachusetts : Butterworth-Heinemann, 1988. 520 s. ISBN 0750694025.
3. HUMÁR, Anton. Výrobní technologie II : Sylaby předmětu Výrobní technologie II. VUT v Brně : Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupný z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobníTechnologie_II.pdf>.
4. Gleason Corporation. GLEASON [online]. 2006-2009 , 2009 [cit. 2009-11-04]. Dostupný z WWW: <Gleason Corporation>.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá rozdělením a popsáním jednotlivých technologií výroby kuželových ozubených kol metodami obrábění a tváření. Tyto metody jsou podrobně popsány níže. V této práci se teoreticky popisují činnosti nástroje vůči obrobku. Posouzení jednotlivých metod a jejich porovnání vůči nákladům je v závislosti na možnostech každé firmy individuální.

Klíčová slova

Kuželová ozubená kola, přímé, šikmé a zakřivené ozubení, odvalovací frézy, Oerlikon, Gleason, Klingelnberg, CNC obrábění, přesné kování.

ABSTRACT

Bachelor thesis and describing the distribution of production technologies bevel gear machining and forming methods. These methods are detailed below. In this paper we theoretically describe the tool against the workpiece. Evaluation of different methods and comparing them against the costs, depending on the capabilities of each individual company.

Key words

Bevel gears, straight a helical rack, bend rack, hobbing cutters, Klingelnberg, Gleason, Oerlikon, CNC working, precision forging.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NEPAUER, J. Výroba kuželových ozubených kol. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 53s., příloh 4. Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Výroba kuželových ozubených kol vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....

Jan Nepauer

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	9
1 Kontaktní převody s tvarovým stykem ozubenými koly	10
1.1 Čelní soukolí s přímými zuby	10
1.2 Čelní soukolí se šikmými zuby	10
1.3 Kuželová soukolí s přímými a šikmými zuby	11
1.4 Kuželová soukolí se zakřivenými zuby	11
1.5 Šneková soukolí globoidní	12
2 rozdělení kuželových ozubených kol	13
2.1 Kuželová kola s přímými zuby	13
2.2 Kuželová kola se šikmým ozubením (tangenciálním)	13
2.3 Kuželová kola se spirálními zuby	14
2.4 Kuželová kola s paloidními zuby (Klingenberg)	14
2.5 Kuželová kola s cyklopaloidním ozubením (Klingenberg)	14
2.6 Kuželová kola s eloidními zuby (Oerlikon)	15
2.7 Kuželová kola s kruhovými zuby Gleason	15
2.8 Kuželová kola s kruhovými zuby Gleason - Zerol	15
3 rozdělení podle geometrie kuželových kol	16
3.1 Rozdělení a výpočet soukolí podle vzájemné polohy os	16
4 kOnstrukční kritéria kuželových kol	18
4.1 Silové poměry působící v kuželovém soukolí	18
4.2 Porovnávací (virtuální) kolo	19
4.3 Podřezání zubů	19
4.4 Korekce zubů	20
5 Materiály kuželových ozubených kol	20
5.1 Nekomové materiály	20
5.2 Kovové materiály	20
5.3 Lehké neželezné slitiny	21
6 Způsoby výroby kuželových kol	22
6.1 Hoblování (obrážení) přímého ozubení	22
6.2 Hoblování (obrážení) šikmého ozubení	22
6.3 Hoblování ozubení podle šablony	22
6.4 Odvalovací způsob výroby	23
6.5 Frézování dvěma kotoučovými nožovými hlavami	25
6.6 Protahování	25
6.7 Frézování tvarovou frézou (Čepová, Kotoučová)	26
6.8 Frézování tvarovou frézou (Kuželová odvalovací, Nožová)	27
6.9 Metody Výroby zakřiveného ozubení	28
6.10 Metoda Oerlikon	28
6.11 Metoda Gleason	29
6.12 Metoda Klingenberg	30
6.13 Kladný a záporný způsob frézování	33
6.14 Pravidla frézování	34

6.15	Hrubování a dokončování.....	35
6.16	Frézy s křivkovou korekcí základního hřebenu	35
6.17	Konstrukce frézy.....	35
6.18	Tvar roztečného kužele frézy	36
6.19	Frézy bez křivkové korekce základního hřebenu	37
6.20	Ostření kuželových fréz Klingenberg	39
6.21	Kuželová kola s cyklo – paloidním ozubením.....	39
6.22	Nástroj nožová hlava	40
7	Přesné kování kuželových kol s vykovanými zuby	40
7.1	Přesné kování	41
7.2	Tvar výkovku	41
7.3	Dělicí rovina.....	41
7.4	Přídavky na obrábění.....	42
7.5	Kovací úkosy.....	42
7.6	Menší poloměry zaoblení	42
7.7	Předkování děr	42
7.8	Úchytky rozměrů	43
7.9	Kovací stroje	43
8	Kování.....	43
9	CNC obrábění kuželových kol.....	48
	Seznam použitých zkratk a symbolů	52
	Seznam příloh	53

ÚVOD

Kuželová ozubená kola jsou nedílnou součástí strojírenské výroby. Za svou existenci prošly řadou konstrukčních a technologických změn. Posun ve výrobě ozubených kol nastal s používáním nových technologií výroby, strojů a nástrojů, které zvýšily kvalitu a produktivitu. Složitost konstrukce a výroby ozubeného kola nutně vytváří potřebu užívání speciálních strojů a nástrojů. Jedním z rozhodujících faktorů je cena, z které se vychází při konstrukci a následné výrobě. Nástroj na výrobu ozubení se musí volit tak, aby splnil dané požadavky z hlediska kvality a trvanlivosti, ale zároveň by jeho cena neměla výrazněji zasahovat do celkové ceny výrobku. V dnešní době jsou široce užívány CNC centra, a to spíše u velkých firem a podniků. Rozhodující jsou pořizovací náklady, a proto se ještě ve větší míře u menších firem používají zastaralé speciální stroje, které splňují dané požadavky na výrobu, ale jsou použitelné jen pro danou technologii výroby a nemají širší využití.

Kuželová ozubená kola se používají u přenosu mechanické energie z hnacího členu na hnaný tam, kde jsou osy hřídelů různoběžné nebo mimoběžné, používají se i na změnu pohybu z otáčivého na pohyb posuvný. Využití tohoto způsobu mechanického převodu se používá v automobilovém průmyslu (diferenciály a převodovky), v průmyslu obráběcích strojů, dále zemědělských strojů aj.:. Způsob výroby obráběním je pro každý typ kuželového kola speciální ve smyslu odlišných tvarů tvořících křivek zubů. Oblast používání kuželových kol se zakřivenými zuby (obloukovými Gleason, paloidními Klingenberg a eloidního Oerlikon) se v dnešní době rozšiřuje. Výhodou těchto soukolí je delší trvání záběru, tišší chod, větší životnost. Přenos výkonu je větší než u kol s přímými zuby.

Produktivita práce se v hromadné výrobě navyšuje použitím např.: přesného kování, lisování a přesným litím. U těchto metod tváření dochází k úspoře materiálu díky menšímu užívání mechanického obrábění.

V této práci jsou popsány jednotlivé metody výroby ozubení kuželových kol, jejich nástroje a stroje. Jedná se o obecný přehled metod používaných v dnešní době.

1 KONTAKTNÍ PŘEVODY S TVAROVÝM STYKEM OZUBENÝMI KOLY

Převody s ozubeným soukolím přenášejí otáčivý pohyb a mechanickou energii bez skluzu z jednoho hřídele na druhý. Používají se u převodů s malou osovou vzdáleností a tam, kde mají stálý převodový poměr. Ozubené převody mají velkou účinnost a životnost. Výroba ozubených kol vyžaduje speciální obráběcí stroje a nástroje. Jednotlivé typy soukolí jsou popsány níže.

1.1 Čelní soukolí s přímými zuby

Normální kola mají tvar boční křivky zubu, která je tvořena evolventním ozubením. Boční křivka vytvoří základní profil. Odvalováním roztečné přímky po roztečné kružnici je roztečná kružnice totožná s kružnicí valivou. Spolu zabírající kola mají tvar válcový. Zuby, které jsou umístěny na obvodu kola jsou rovnoběžné s osou otáčení. Normální ozubení je omezené minimálním počtem zubů, při kterém nenastane zeslabení paty zubu podříznutím nástroje. Menší únosnost zubů v ohybu je při zmenšujícím se průřezu a s klesajícím počtem zubů. Ozubení ve tvaru evolventy je výrobně jednodušší a používá se pro větší síly. Ozubení ve tvaru Cykloidy se používá pro přenos malých sil.



Obr. 1.1 Čelní ozubení se šikmými zuby [9]

1.2 Čelní soukolí se šikmými zuby

Čelní kola s evolventními šikmými zuby (jsou ve sklonu o úhel β od rovnoběžného směru s osou otáčení) mají ve skutečnosti zuby šroubovitě (Na šířce kola je tato šroubovice přímka). Odvalují se po hřebenu se šikmými zuby s rovinnými boky. Kolmý (normálový) řez tímto hřebenem je stejný základní profil jako u přímých zubů, pouze je nakloněn o úhel β , takže pro výrobu nepotřebujeme zvláštní nástroje. Šroubovitě zakřivení zubů zlepšuje vlastnosti čelních kol. Záběr je plynulý po délce zubu od jednoho konce k druhému. Soukolí má tichý chod i při vyšších rychlostech. V záběru jsou dva až tři páry zubů, na které se rozloží zatížení. Ozubení může přenášet větší výkony. Podřezání zubů nastává při menším počtu zubů než u přímých zubů. Nevýhodou je axiální síla, která působí nepříznivě na ložiska.



Obr. 1.2 Čelní ozubení se šikmými zuby [9]

1.3 Kuželová soukolí s přímými a šikmými zuby

Umožňují přenášet krouticí moment mezi dvěma různoběžnými hřídeli. Vzájemný pohyb kol se děje odvalováním po roztečných kuželech. U přímých zubů se všechny povrchové přímky sbíhají ve vrcholu základního kužele. Úhel mezi osami kuželových kol bývá z praxe většinou 60° , 90° a 120° , ale může být různý. Výroba a montáž je složitější oproti válcovým kolům, závisí na tvaru zubu.



Obr. 1.3 Kuželové soukolí s přímými zuby [9]

1.4 Kuželová soukolí se zakřivenými zuby

Odstraňují nedostatky kuželových ozubených kol s přímými zuby, jejichž používání v provozu je omezeno. Rovnoměrné přenášení rotačního pohybu způsobuje klidný chod soukolí a delší trvání záběru. Kluzné vlastnosti se zlepšují, v provozu se obrací měrný skluz v celé šířce ozubení na valivém kuželu, kde je čisté odvalování a měrný skluz roven nule.

Záběr kuželových kol se zakřivenými zuby během otáčení je v posouvání diagonálního skluzu posunutím po boku zubu od vnějšího průměru k vnitřnímu průměru. Změna směru skluzu u zakřivených zubů není v celé šířce ozubení, protože skluz, který směřuje dolů u jednoho zubu je vyrovnán opačným směrem zubu druhého, a to v důsledku většího trvání záběru a překrytí kroku. Namáhání je oproti kuželovým kolům s přímými zuby menší, protože dochází na jednom konci k dotyku paty zubu a díky postupnému otáčení se záběr přenáší diagonálně (úhlopříčně) po boku zubu k hlavě druhého konce zubu. Zakřivený zub kuželového kola je namáhán na ohyb ramenem $1/2$ výšky ozubení, oproti tomu přímý zub je namáhán na ohyb ramenem $1/1$ výšky ozubení.



Obr. 1.4 Kuželové soukolí se zakřivenými zuby [9]

1.5 Šneková soukolí globoidní

U šnekového soukolí jsou osy mezi dvěma spolu zabírajícími hřídeli mimoběžné. Jsou zvláštním případem pravoúhlých šroubových soukolí. Roztečný průměr pastorku se zmenší a zuby na šneku vytvoří souvislý vícechodý závit. Hnací kolem je šnek, který má počet zubů 1 až 10. Hnané kolo se nazývá šnekové. Soukolím lze přenášet velké výkony (50 až 60 kW). Jedním soukolím lze dosáhnout převodového čísla 60 až 70 i více. Výhodou je tichý chod soukolí důsledkem většího počtu zubů v záběru a možnost dosažení samosvornosti. Nevýhodou jsou axiální zatížení, složitá a drahá výroba, nutné chlazení a mazání. Výroba se provádí soustružením tvarovými noži na universálním soustruhu, které odpovídá malosériové výrobě šneku menších modulů. Frézování se šneky vyrábějí kotoučovými nebo čepovými frézami na universálních frézkách poté většinou následuje broušení tvarovými brousícími kotouči. Druhy šnekových soukolí:

a) šnek válcový a šnekové kolo válcové (dochází k bodovému dotyku, přenáší malé výkony).

b) šnek válcový a šnekové kolo globoidní (nejčastější provedení, pro přenos středních výkonů).

c) šnek globoidní a šnekové kolo globoidní (podmínky odvalování záběru jsou nejvhodnější).



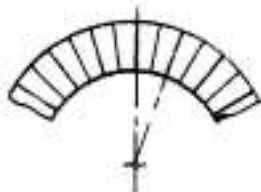
Obr. 1.5 Šnekové soukolí [9]

2 ROZDĚLENÍ KUŽELOVÝCH OZUBENÝCH KOL

Rozdělení podle tvaru boční křivky zubu.

2.1 Kuželová kola s přímými zuby

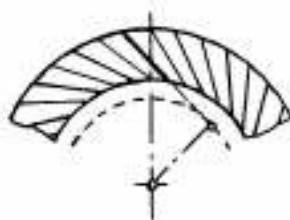
boční čára je radiální přímka, výška zubu je proměnlivá, $\alpha = 20^\circ(15^\circ)$, $\beta = \beta_m = 0$.



Obr. 2.1 Boční křivka ozubeného kola s přímými zuby [11]

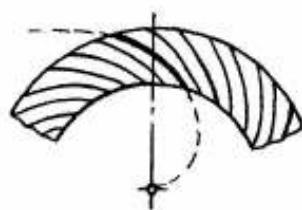
2.2 Kuželová kola se šikmým ozubením (tangenciálním)

boční čára je šikmá přímka, výška zubu je proměnlivá, použití: u vyšších obvodových rychlostí a zatížení, mají vyšší trvanlivost oproti přímému ozubení, používají se tam, kde se hůře vyrábí zakřivené ozubení např.: u kol větších průměrů. $\alpha = 20^\circ, 17^\circ30', 15^\circ, 14^\circ30'$; řídící křivka je přímka v úhlu: $\beta = \beta_m = 20^\circ-0^\circ$.



Obr. 2.2 Boční křivka ozubeného kola se spirálními zuby [11]

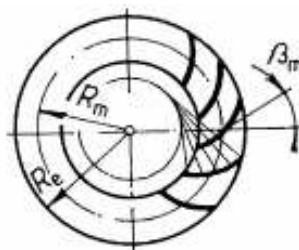
2.3 Kuželová kola se spirálními zuby



Obr. 2.3 Boční křivka ozubeného kola se spirálními zuby [11]

2.4 Kuželová kola s paloidními zuby (Klingenberg)

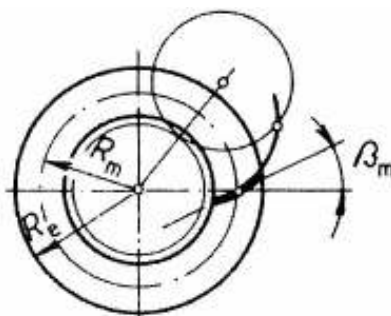
Řídící křivka (boční čára) je evolventa (paloida), Tečna evolventního oblouku na roztečném kuželi svírá úhel s příčnou osou kola $\beta = 30^\circ\text{--}38^\circ$, $\alpha = (20^\circ, 17^\circ30')$.



Obr. 2.4 Boční křivka ozubeného kola se šikmými zuby [15]

2.5 Kuželová kola s cyklopaloidním ozubením (Klingenberg)

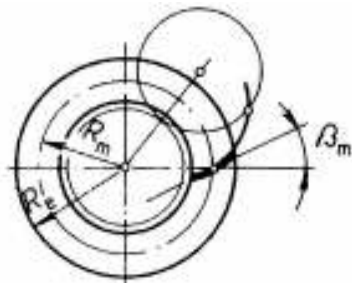
Řídící křivkou je epicykloida. Výška zubu je konstantní. Úhel záběru: $\alpha = 0\text{--}50^\circ$, $\beta = 0\text{--}45^\circ$.



Obr. 2.5 Boční křivka ozubeného kola se šikmými zuby [15]

2.6 Kuželová kola s eloidními zuby (Oerlikon)

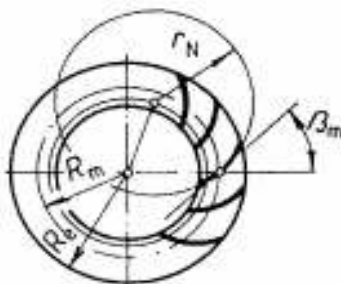
Řídící křivka je epicykloida – eloida (kružnice, která se odvaluje po kružnici), výška zubu je konstantní. Úhel záběru $\alpha = 17^\circ 30'$, používají se dva typy pro úhly, které jsou ve vztahu s řídící křivkou. Typ N: $\beta = 30^\circ - 50^\circ$, typ G: $\beta = 0 - 50^\circ$, pro $\beta = 0^\circ$ je označení Oerlikon-Zerol.



Obr. 2.6 Boční křivka ozubeného kola se šikmými zuby [15]

2.7 Kuželová kola s kruhovými zuby Gleason

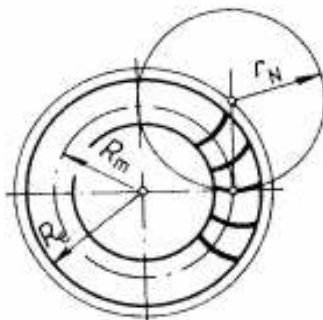
Řídící přímkou (boční čarou) je kruhový oblouk. „Hlavové, patní a roztečné kužele mají společný vrchol“ Speciální technologie obrábění [15]. Tečna řídící křivky je v úhlu s příčnou osou kola $\beta = 30 - 45^\circ$, úhel záběru $\alpha = (20^\circ, 17^\circ 30', 14^\circ 30')$.



Obr. 2.7 Boční křivka ozubeného kola s kruhovými zuby [15]

2.8 Kuželová kola s kruhovými zuby Gleason - Zerol

Řídící přímkou (boční čarou) je kruhový oblouk, který je tečný s příčnou osou kola, tzn. že $\beta = 0^\circ$, výška zubu je proměnlivá, úhel záběru $\alpha = (20^\circ, 17^\circ 30', 14^\circ 30')$.



Obr. 2.8 Boční křivka ozubeného kola s kruhovými zuby [15]

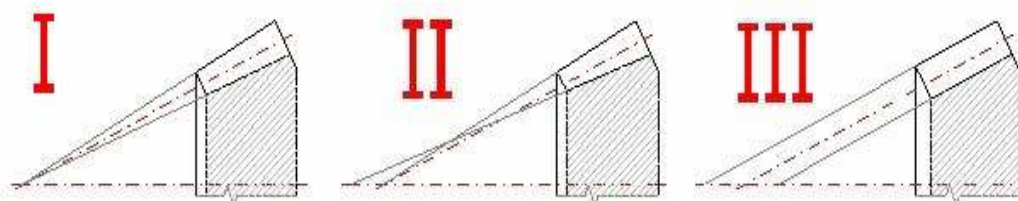
3 ROZDĚLENÍ PODLE GEOMETRIE KUŽELOVÝCH KOL

Patní a hlavový komolý kužel tvoří geometrii soukolí. Mezi nimi se nachází roztečný kužel. Typy kuželových kol podle polohy patního a hlavového kužele.

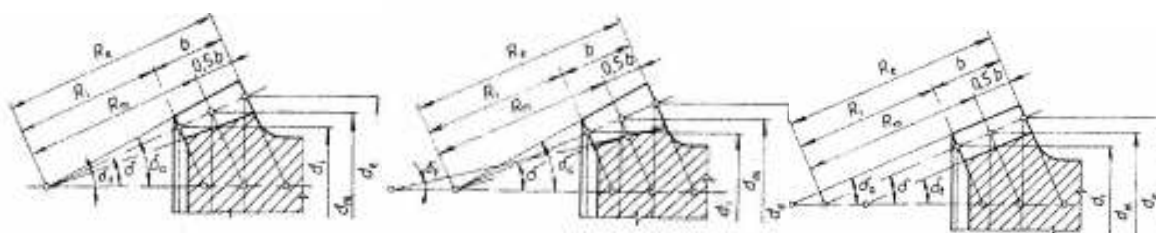
Typ I - plocha patního a hlavového kužele mají společný vrchol.

Typ II - Posunutí vrcholu patního kužele se provádí tak, aby šířka zubové mezery byla konstantní.

Typ III – Výška zubů je konstantní a povrchy všech kuželů jsou rovnoběžné.

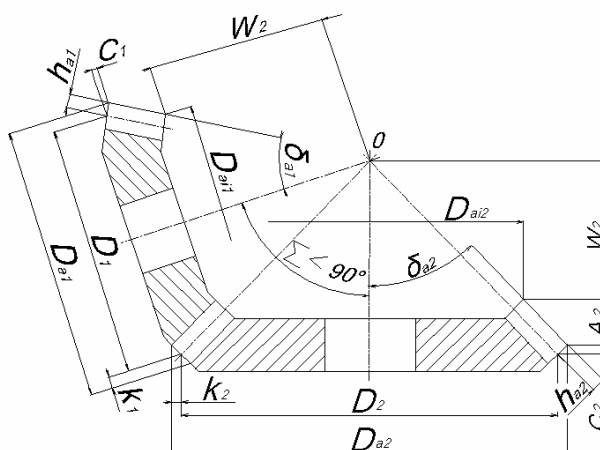


Obr. 3 Rozdělení kuželových kol podle patního a hlavového kužele [4]



Obr. 3.0.1 Rozdělení kuželových kol podle hlavového, patního a roztečného kužele [15]

3.1 Rozdělení a výpočet soukolí podle vzájemné polohy os



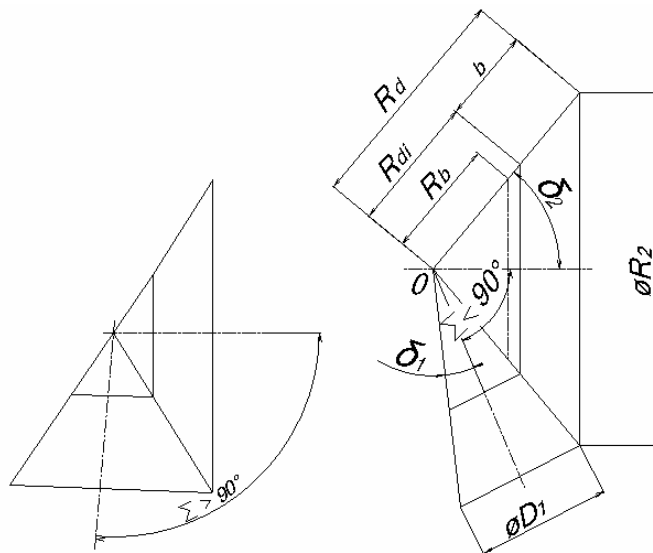
Obr. 3.1 Kuželové soukolí kosoúhlé s úhlem os $\Sigma \leq 90^\circ$

Převodový poměr:

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

Při úhlu Σ menším než 90° :

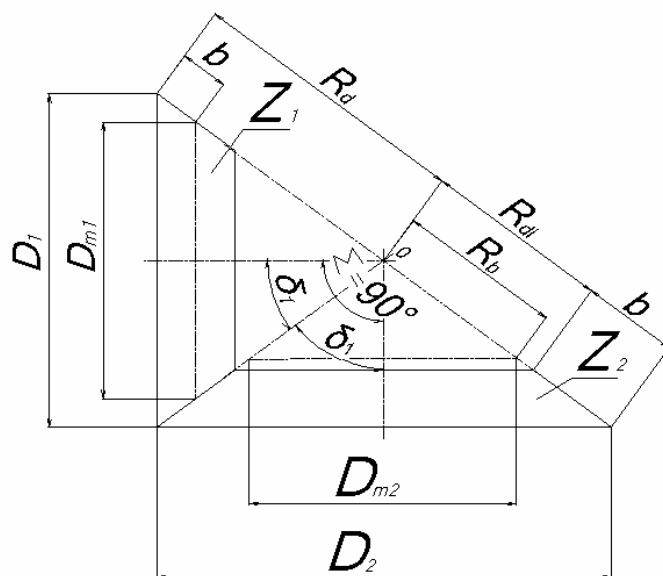
$$\cot g \delta_1 = \frac{i}{\sin \Sigma} + \cot g \Sigma$$

$$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$$


Obr. 3.1.1 Kuželové soukolí s úhlem os Σ ($\leq 90^\circ, \geq 90^\circ$)

Při úhlu Σ větším než 90° :

$$\cot g \delta_1 = \frac{i}{\sin(180^\circ - \Sigma)} - \cot g(180^\circ - \Sigma)$$

$$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$$


Obr. 3.1.2 kuželové soukolí s úhlem os $\Sigma = 90^\circ$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{z_2}{z_1} - \cot g(180^\circ - \Sigma)$$

Při úhlu $\Sigma = 90^\circ$

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \Sigma - \delta_2$$

$$\omega_k = \delta_{a2} - \delta_2$$

$$\delta_{a2} = \delta_2 + \varpi_k$$

$$\delta_2 = \delta_{a2} - \varpi_k$$

$$\delta_{a1} = 90 - \delta_{a2}$$

$$\delta_1 = \delta_{a1} + \varpi_k$$

Pro pastorek z_1 je:

$$R_d = \frac{D_2}{2 \cdot \sin \delta_{a2}} = u \cdot \delta_2$$

$$u = \frac{1}{2 \cdot \sin \delta_{a2}}$$

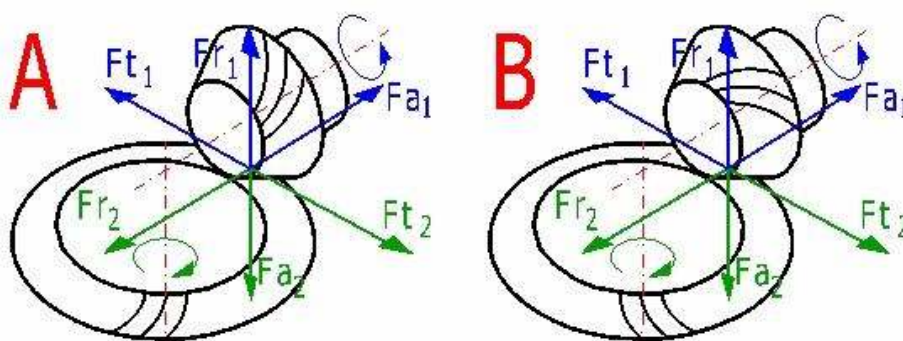
$$z_d = \frac{z_2}{\sin \delta_2} = 2 \cdot z_2 \cdot u$$

4 KONSTRUKČNÍ KRITÉRIA KUŽELOVÝCH KOL

Kuželová ozubená kola se při konstrukci a výrobě řídí podle hledisek, které jsou popsány níže.

4.1 Silové poměry působící v kuželovém soukolí

Při zatížení soukolí dochází k přenosu kroutícího momentu z hnacího kola na hnané kolo. Tam, kde se kola stýkají v jednom bodě dochází ke vzniku sil. Tyto síly jsou definovány velikostí, které jsou stejně velké a opačně orientované. Radiální a axiální síla působí vždy do zubu. Směr zakřivení zubů určuje přenášení kroutícího momentu z hnacího kola na hnané. Síly vznikají při styku dvou kol, které mají stejnou velikost, ale opačný směr. Síly obvodové, radiální a axiální mají smysl působení působící vždy do zubu. Směr zakřivení zubů a smysl působení kroutícího momentu ovlivňuje smysl axiální síly. V soukolí, které je zatíženo vznikají síly. Ty jsou přenášeny na konstrukci stroje. Pokud je velikost síly záporná, působí ve smyslu opačném, než je naznačeno na obrázku. Obrázek A je pro levý smysl stoupání, obrázek B pro pravý.

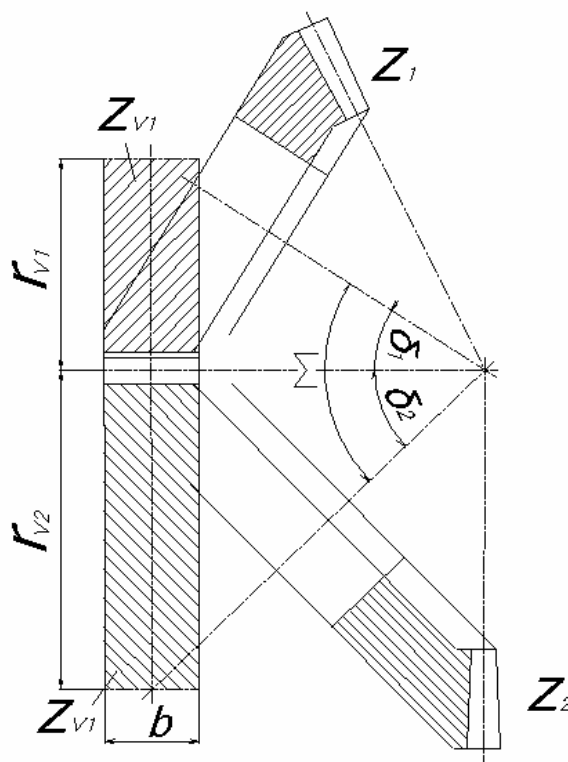


Obr. 4.1 Rozdělení kuželových kol podle patního a hlavového kužele [4]

Zuboměrem se měří zuby o konstantní tloušťce a výšce (kuželová, šneková a čelní kola). Zuboměr je kombinace posuvného měřítka s hloubkoměrem, v konstantní tloušťce a výšce – závisí pouze na modulu a úhlu záběru, nikoliv na počtu zubů, šikmé zuby se měří v normálné rovině), měření rozměru zubů přes válečky.

4.2 Porovnávací (virtuální) kolo

Ke každému kuželovému kolu (přímé, šikmé) je možné přiřadit pomyslné válcové kolo s přímými zuby, jejichž profil je prakticky stejný, jako normálový profil kuželového kola v jeho středním příčném řezu.



Obr. 4.2 Porovnávací virtuální kolo

b – šířka kol kola, δ_1 – roztečný úhel prvního kola, δ_2 – roztečný úhel druhého kola, r_{v1} – roztečný poloměr prvního virtuálního kola, r_{v2} – roztečný poloměr druhého virtuálního kola, VK1 – virtuální kolo prvního kola, VK2 – virtuální kolo druhého kola z_1 – počet zubů prvního kola, z_2 – počet zubů druhého kola, z_{v1} – náhradní počet zubů prvního kola, z_{v2} – náhradní počet zubů druhého

4.3 Podřezání zubů

Vzniká, když je záběr hlavy zubu v patě zubu protikola mimo funkční část evolventy. Při výrobě ozubených kol dochází k tomu, že zaoblení hlavy zubu nástroje podřezává patu zubu kola. Podřezaný zub porušuje záběrové poměry v důsledku nesprávného tvaru. Podřezaný zub je v patě zeslabený a dochází na vzniklé hraně ke koncentraci napětí. Toto napětí nepříznivě působí při ohybovém namáhání. Dochází k snížení únosnosti zubu. Počet zubů kuželového kola je rozhodujícím faktorem pro podřezání.

4.4 Korekce zubů

Běžné ozubení má určité nedostatky, které se dají zmírnit nebo odstranit vhodnou korekcí zubů. Korekcí se zlepši pevnostní a záběrové podmínky pro ozubení. Změnou úhlu záběru nebo výšky zubu ozubení se získá korigovaný profil. Roztečná přímka základního profilu se posune o danou vzdálenost. Posunutím základního profilu se mění profil a rozměry zubu kola, ale nebude se měnit základní kružnice a evolventa.

5 MATERIÁLY KUŽELOVÝCH OZUBENÝCH KOL

Hlediska pro výběr materiálu na výrobu ozubených kol jsou závislá převážně na provozních podmínkách ozubení.

5.1 Nekovové materiály

Nekovové materiály nahrazují ocelové součásti, které mají malou životnost a malou přesnost. Používají se plasty a kompozity z nekovových materiálů, které mnohonásobně snižují výrobní náklady.

Termoplast polyformaldehyd – dobrá obrobiteľnosť, malé opotrebení, mají malou hustotu a téměř neabsorbují vodu.

Polymer teflon – používají se tam, kde není nutnost mazání a je nízké tření .

5.2 Kovové materiály

Šedá litina (ČSN 42 2415-ČSN42 24 30) – má kluzký povrch, cenově vychází levně při větším počtu kusů, má menší pevnost, a proto musí mít silnější stěny a větší přídavek na obrobení.

litá ocel 422719 – kola mají vyšší pevnost

Tvárná litina (ČSN 42 2305-42 2308) – tvárnou litinou se nahrazují litá ocelová kola, protože tvárná litina je levnější. Má nižší měrnou hmotnost než ocel. A také se snadněji vyrábí. Lepší mechanické vlastnosti zaručuje lobulární grafit oproti šedé litině.

Ocel na odlitky (legované: ČSN 42 2650, 42 2660; nelegované: 42 2719-42 27 67) – Tepelně se zpracovávají povrchovým kalením, normalizačním žíháním nebo zušlechťováním. Mají lepší mechanické vlastnosti oproti litinám.

Uhlíková Ocel (konstrukční: ČSN ocel 11500, 11523, 11600; ušlechtilé: 12020, 12050) – tepelné zpracování se provádí u ušlechtilých ozubených kol. Kola se povrchově kalí, cementují, nitridují. Po těchto tepelných zpracováních je houževnaté jádro a tvrdý povrch.

Legovaná ocel (ČSN ocel 13 242, 14 140, 16 436-16 526) – používají se u převodů, které jsou extrémně zatěžovány. Dále se tepelně zpracovávají zušlechťováním, povrchovým kalením, cementováním a nitrocementováním.

Vysoce legovaná ocel (ČSN ocel 17 243, 17 248) – tyto ocele pro výrobu ozubených kol se používají v reaktivních prostředích, např.: korozivní prostředí nebo při vysokých teplotách.

5.3 Lehké neželezné slitiny

Hliníkové slitiny (tvářené slitiny: AlCu4Mg, AlCu4Mg1, ...; odlévané slitiny: AlSi8Cu4Mn, AlCu4Si5Mn,...) – používají se pro středně namáhané díly které mají mez pevnosti 300 – 500MPa. U tvářených slitin s obsahem Mg se používá název dural, u odlévaných slitin s obsahem Si se používá název silumin.

Bronzy (CuSn8, CuSn12, CuSn12Ni, CuSn5ZnPb, CuAl10Fe,...), (ČSN 42 3048; 42 3123) - používají se pro kola s větším zatížením, mají dobré kluzné vlastnosti a velmi malé opotřebení. Polotovary se obvykle vyrábějí litím, spoluzabírající ozubené kolo je obvykle ocelové.

Mosazi (CuZn25Al5, CuZn39Pb1,...) – mají nízký koeficient tření, jsou korozivzdorné, mají dobré mechanické vlastnosti, použití: jemná mechanika,...

Titanové slitiny (TiAl6V4, TiAl6V6Sn2,...) – využívá kombinaci výhod korozivzdornosti a nízké hmotnosti při dosažení vysoké pevnosti kola, která se dá přirovnat ke konstrukčním ocelím. Nevýhodou jsou vysoké náklady na výrobu.

Slinuté materiály (Sint D39-FeNiCuMo, Distaloy AB-FeNiCuMo, Astaloy 85 Mo,...) – tyto slitiny se dají použít i na silně zatížená kola. Používají se „pro hromadnou výrobu méně přesných ozubených kol pro střední zatížení“ Speciální technologie obrábění, kapitola: Ozubená kola a ozubené převody [15]. Dále se mohou obrábět v závislosti na použitých materiálech nebo se tepelně zpracovávají.

Pastorek by měl mít vyšší tvrdost než kolo (20-60 HB). Rozdíl v tvrdostech roste s převodovým poměrem a s rostoucí tvrdostí kola. Rozdělení materiálů do 8 skupin označených písmeny A-H.

Tab. 5.3 Rozdělení materiálů [11]

A	Kola málo namáhaná	kusová, malosériová výroba	menší rozměry
B	Kola málo namáhaná	kusová, malosériová výroba	větší rozměry
C	Středně namáhaná	maloseriová výroba	menší rozměry
D	Středně namáhaná	maloseriová výroba	větší rozměry
E	Značně namáhaná	seriová výroba	menší rozměry
F	Značně namáhaná	sériová výroba	větší rozměry
G	Nejvíce namáhaná kola		
H	Rychloběžná kola		

Materiály A,B,C,D (měkká kola) – U těchto kol se ozubení vyrábí až po tepelném zpracování. Mají dobrou zabíhavost. Soukolí z tohoto materiálu nemá zvláštní požadavky na přesnost a tuhost uložení a postačuje jedno kolo v soukolí ze zvoleného materiálu, aby toto platilo.

Materiály E,F,G,H (tvrdá kola) – Mají vyšší výrobní náklady (kalení, cementování, nitridování). Tepelné zpracování následuje až po výrobě ozubení. Dosahuje se horší požadované přesnosti. Většinou se po tepelném zpracování materiál dokončuje (broušení, lapování).

6 ZPŮSOBY VÝROBY KUŽELOVÝCH KOL

Popis výroby ozubení jednotlivými obráběcími operacemi.

6.1 Hoblování (obrážení) přímého ozubení

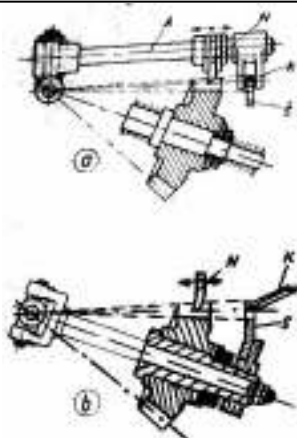
Při hoblování (obrážení) směr každého řezu prochází vrcholem roztečného kužele vyráběného kola. Výroba se provádí hoblováním podle šablony a hoblováním odvalovacím způsobem.

6.2 Hoblování (obrážení) šikmého ozubení

Obrábění kuželových kol se šikmými (tangenciálními) zuby se provádí šikmým řezem nástroje, a to tečně ke kružnici s daným průměrem (směry řezů nástroje nesměřují do vrcholu kužele). Při výrobě tohoto ozubení vznikají zuby jako záběr s myšleným rovinným protikolem.

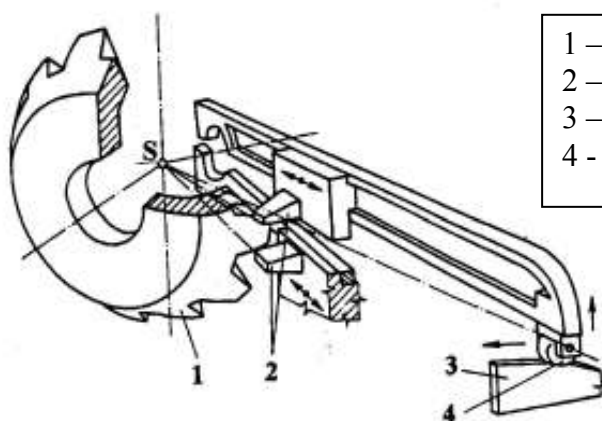
6.3 Hoblování ozubení podle šablony

Je to nejstarší způsob výroby kuželových kol. Použití této metody je u kol velkých průměrů a modulů. Výhodou je jednoduchost nástroje a seřízení. Dělicím způsobem podle šablony lze vyrobit jakýkoliv profil zubu. Šablona má tvar boku zubu na doplňkovém kuželu. Přesnost ozubení je závislá na přesnosti šablony. „Velikost šablony je dána její vzdáleností od vrcholu“ Technologie obrábění, 1. část [13]. Obrábí se špičkami nástroje, a proto tato metoda nedosahuje vysoké jakosti povrchu. Pro daný počet zubů a modulu musí být jiná šablona, ale kuželová kola se stejným počtem zubů s různými moduly lze obrábět jednou šablonou. Nevýhodou je malý výkon stroje kvůli velkým řezným odporům. Postup pohybu nástroje: nástroj se pohybuje v pouzdře po vodícím čepu do vrcholu roztečného kužele. Na konci vedení je v držáku kladka, která sleduje šablonu (kladka se po šabloně pohybuje a udává polohu obráběcích nožů upevněných na smykadlech). Po každém dvojzdvihu se posune vedení i s nožem po šabloně. Současně se vedení s nožem natáčí kolem dvou kolmých os. Kolo je upnuto pevně na trnu. Trn se pootáčí o rozteč po každém obrobení jednoho zubu.



A – vedení
K - kladka
N – nástroj
Š - šablona

Obr. 6.3 Hoblování ozubení kuželových kol podle šablony [3]

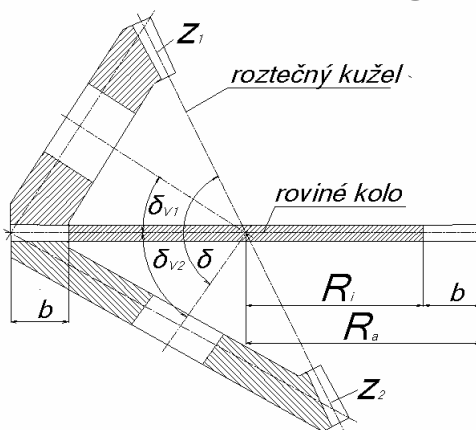


1 – kuželové kolo
2 – obrážecí nože
3 – Šablona
4 - kladka

Obr. 6.3.1 Obrážení kuželových kol podle šablony [2]

6.4 Odvalovací způsob výroby

Při odvalovacím způsobu výroby dochází k vzájemnému pohybu obrobku a nástroje, při kterém se odvaluje základní kužel ozubeného kola po rovině a natáčí se zuby kola vůči nástroji. Osa otáčení je ve vrcholu kužele obráběného kola. „Nástroj má boky skloněny pod úhlem tvořící přímky a představuje zub myšleného ozubeného kola viz obr.: 6.4.“ Technologie obrábění, 1. část [13].



Obr. 6.4 Vzájemné nastavení obrobku u odvalovacího pohybu (pohled v řezu)

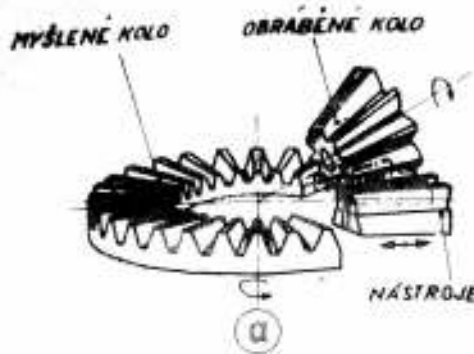
Na malém průměru kužele musí být nástroj užší než zubní mezera. Pracovní postup probíhá vyhrubováním zubní mezery, potom se obrobí na čisto jeden bok zubů a následně druhý.

Při použití dvou obrážecích nožů se vytvářejí při dokončování oba boky jednoho zubu. Každý nůž obrábí jeden bok zubu. Po obrobení se nožová hlava s obrobkem vrací do výchozí polohy a dělicí zařízení pootočí obrobek o jednu rozteč. Lichoběžníkový profil nožů upnutých v otočné hlavě tvoří řezný pohyb ve směru povrchových přímků boků zubů. Za současného natáčení nožové hlavy a obráběného kola vytváří břity nožů pracovním pohybem boky zubů ve tvaru evolventy. Touto metodou se kuželová ozubená kola hrubují a dokončují do průměru 1200 mm a modulu 20 mm. Na některých strojích lze vyrábět šikmé ozubení s výškovým a podélným nastavením profilu.

Podle odvalovacího pohybu mezi myšleným rovinným kolem (nástrojem) a obráběným kolem, rozdělujeme výrobu kuželových ozubených kol do dvou skupin podle typů stoje:

- A) Nástroj koná řezný pohyb, myšlené rovinné kolo se nepohybuje a obráběné kolo se odvaluje proti nástroji. Osa kola se pohybuje v prostoru.
- B) Nástroj a obráběné kolo se mezi sebou vzájemně pohybují. Osa obrobku a rovinného kola je stálá, jenom se otáčí.

Použití dvou obrážecích nožů. Tento způsob se používá u strojů Heidenreich – Harbeck a Gleason. Odvalovací pohyb vykonává obrobek i smýkadlo ve kterých se pohybují obrážecí nože. Vzájemné nastavení obrobku a nástrojů je na obrázku 6.4. Vnitřní ostří obrážecích nožů představují boky zubu myšleného rovinného kola (viz. obrázek 6.4.1) a vytváří jeden zub, který by při záběru těchto kol ležel v zubní mezeře.



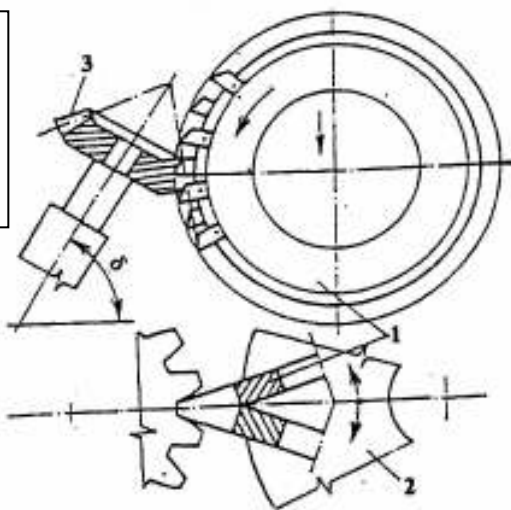
Obr. 6.4.1 Vzájemné nastavení obrobku a nástrojů u odvalovacího pohybu [3]

„Vnější ostří obrážecích nožů jsou v záběru pouze při načinání prvního zubu vyráběného kola“ Technologie obrábění, 1. část [13]. Obrobek se začne odvalovat a do jeho věnce začne zabírat nejdřív spodní nůž. Při dalším pohybu zabírá do věnce horní nůž. Zub kola je zhotoven po proběhnutí odvalovací délky. Po dokončení obrobení jednoho zubu se hlava s obráběcími noži natočí do počáteční polohy rychloposuvem. Obrobek se současně pootočí o další rozteč. Pracovní chod stroje s obrážecími noži je automatický. Cyklus obrábění se opakuje až je obrobek dokončen.

6.5 Frézování dvěma kotoučovými nožovými hlavami

V této metodě se frézují kuželová kola dvěma kotoučovými nožovými hlavami (pravou a levou), kde jsou vsazeny jednotlivé břity po obvodu kola. Tyto dva nástroje se při frézování překrývají v zubové mezeře, která se vytvoří zapichováním (při záběru radiálního posuvu na hloubku zubu). Dále se frézuje odvalováním bok zubu. Frézování ozubení se provádí dělicím způsobem (to je odvalování frézovaného ozubení na plochem kole). Následkem výše uvedených výrobních operací mají zuby soudečkovitý tvar a dno zubové mezery s patou zubu jsou ve tvaru kruhového oblouku. Tato metoda je produktivnější a frézují se s ní kola malých šířek.

- 1 – kotoučové frézy
- 2 – kolébka
- 3 – obráběné kuželové kolo



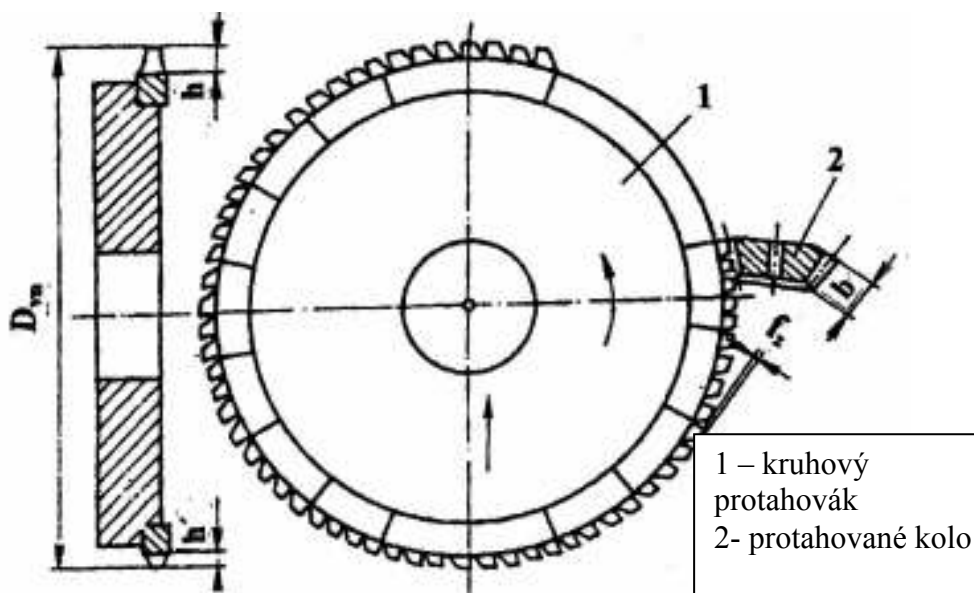
Obr. 6.5 Frézování ozubení kuželových kol dvěma kotoučovými nožovými hlavami [2]

6.6 Protahování

Tato metoda se používá v sériové a hromadné výrobě kuželových kol s přímými zuby. Obrábění ozubení se provádí dělicím způsobem, a to nástrojem kruhovým protahovákem o průměru 450 až 600 mm. Kruhový protahovák má uloženy po obvodu odstupňované břity s tvarem zubové mezery. Kruhové oblouky s poloměrem křivosti evolventy nahrazují evolventní profil. Pohyb nástroje je rotační a zároveň dochází při protahování k radiálnímu posouvání podél zubu od menšího profilu k většímu. Doba protažení zubové mezery je 4 až 6 sekund. Touto metodou se vyrábí kola s menšími průměry v sériové a hromadné výrobě. Využití této metody výroby kuželových ozubených kol je v automobilovém průmyslu.

Při výrobě kuželových kol protahováním na stroji Gleason se používá upraveného protahovacího nástroje, který má zuby trnu v kruhu. Nástroj je konstruován tak, že zuby jsou odstupňované. Poslední úsek trnu zubní mezeru dokončí na předepsaný tvar a rozměr. Mezi hrubovacími a dokončovacími zuby protahovacího trnu je nutná mezera pro dělení, která se používá k pootáčení vyráběného kola. Při protahování se mění poloha středu protahovacího kola. Protahovací nástroj je nákladný, a proto se tento způsob výroby používá pro hromadnou výrobu.

Protahovák se otáčí řeznou rychlostí a přitom mění výšku vůči stojícímu obrobku tak, aby docházelo k vytvoření správného profilu zubu. Nástroj se otáčí ve směru šipky a během první fáze pracovního cyklu se střed kotouče přesouvá o záběr zubu protahováku a dosahuje plné hloubky zubové mezery. Zubovou mezeru dokončí zuby na obvodu. Po dobu záběru zubu se uskuteční pohyb protahováku. Obráběné kolo se pootočí o další rozteč v době průchodu části nástroje bez nožů.

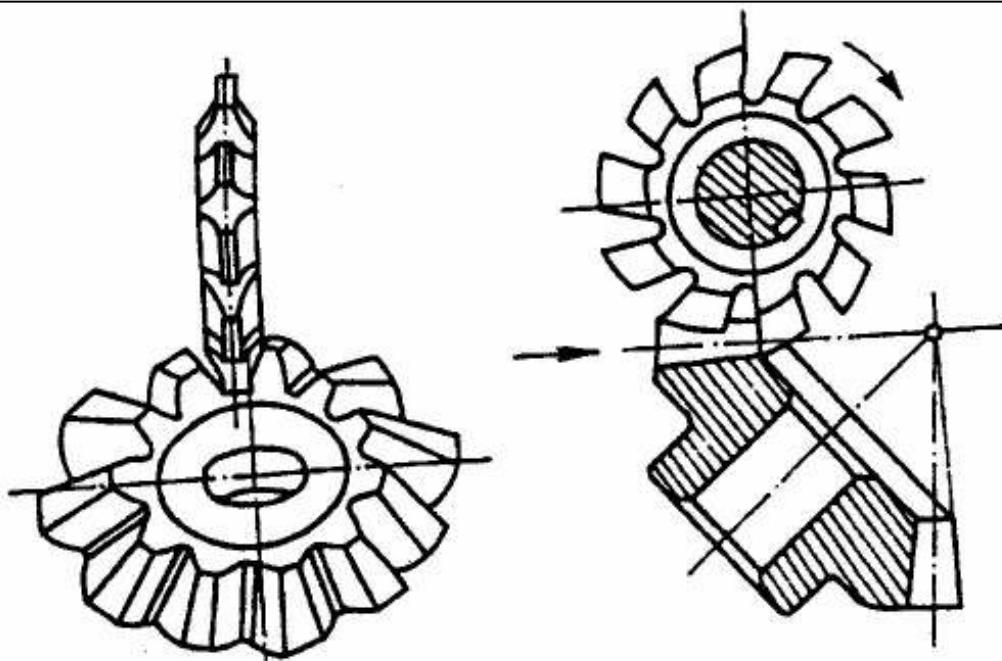


Obr. 6.6 Protahování kuželových kol s přímými zuby [2]

6.7 Frézování tvarovou frézou (Čepová, Kotoučová)

Frézuje se čepovou frézou, na které lze frézovat ozubení se zakřivenými zuby nebo modulovanou (tvarovou kotoučovou) frézou, na které se vyrábí kuželová kola s přímými nebo šikmými zuby. Na trn se upne kolo, které se bude obrábět. Dále se upnou desky na upínací vřeteno stroje a polohují se do požadovaného sklonu. Pro kuželová kola vyráběná frézováním se potřebný sklon nastavuje natáčením upínacího vřeteníku, maximálně až 90°. Ve vřeteníku upnutá fréza koná pohyb díky elektromotoru. Obráběné kolo se musí natáčet kolem své osy. Hydraulicky je vázán posuv frézy s pohybem kola a stroj pracuje jako poloautomat.

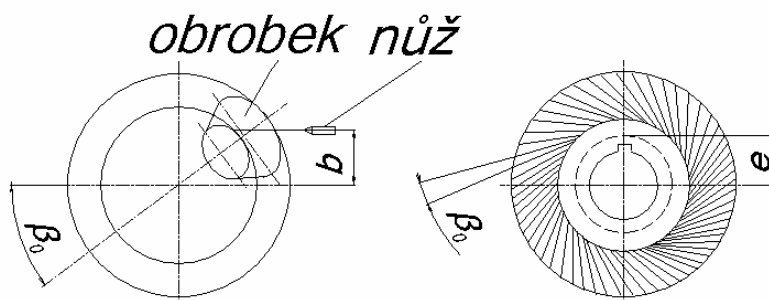
Tato metoda je méně přesná, a proto se používá i k hrubování kol před dokončením odvalovacími způsoby. Teoreticky s ní nelze vyrobit správné ozubení. Je to způsobeno tím, že klesající výška zubu, a tím i modul kuželového ozubení, se směrem k vrcholu lineárně zmenšují. Obrábění zubové mezery je postupné ve třech operacích. Nejdříve se hrubuje střed zubové mezery. Po natočení kola se frézuje jeden bok zubu, fréza se pohybuje rovnoběžně s tímto bokem zubu s určitým přídkem. Po frézování jednoho boku zubu v zubní mezeře následuje druhý bok zubu. Ofrézováním jedné zubové mezery následuje pootočení kuželového ozubeného kola o jednu rozteč a postup se opakuje.



Obr. 6.7 Frézování kuželových kol s přímými zuby tvarovou kotoučovou frézou [2]

6.8 Frézování tvarovou frézou (Kuželová odvalovací, Nožová)

Frézováním se většinou vyrábí kuželová ozubená kola se zakřivenými zuby. Nástroj je kuželová odvalovací fréza nebo nožová hlava se vsazenými zuby. Kuželová ozubená kola se zakřivenými zuby se vyrábí na stroji Klingelnberg a to nástrojem kuželovou odvalovací frézou lichoběžníkového profilu, o jednom nebo více chodech. Na obrázku 20 je popis nástrojů při obrábění, kde fréza představuje hnací kolo a obrobek hnané kolo. Během jedné otáčky obráběného kola musí fréza vykonat tolik otáček kolik má kolo zubů. Obrobek je z počátku předhrubován, pak vyhrubován na plnou hloubku zubu a dokončen. Odvalovacím způsobem frézování nožovými hlavami se vyrábí kuželová kola se zakřivenými zuby, a to hlavami se zuby ve spirále, to je Oerlikon – Spiromatic, nebo se zuby v kruhu Gleason. V současné době se používají na hrubování kol v hromadné výrobě celokarbidové, povlakované frézy. Dají se s nimi obrábět předhrubovaná, zakalená kola, ty mají větší životnost.



Obr. 6.8 Popis nástrojů při obrábění

6.9 Metody Výroby zakřiveného ozubení

Obrábění ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby se frézuje odvalovacím způsobem.

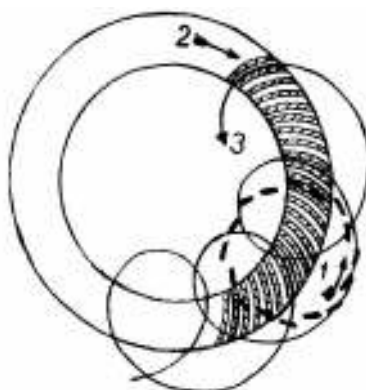
Gleason – ozubení (Zerol, Hypoid) s kruhově zakřivenými zuby.

Oerlikon – ozubení je eloidní se zuby zakřivenými podle prodloužené epicykloidy.

Klingenberg – ozubení je paloidní a zuby jsou zakřiveny podle prodloužené evolventy nebo je ozubení cyklopaloidní a zuby jsou zakřiveny podle prodloužené epicykloidy.

6.10 Metoda Oerlikon

Na strojích Oerlikon – Spiromatic je výroba kuželových ozubených kol se zakřivenými zuby kombinací tří vzájemných pohybů (viz. Obrázek 6.10), a to z frézovací hlavy, která koná řezný pohyb 1, obráběného kola, které koná dělicí a odvalovací pohyb 2, lícní deska koná odvalovací pohyb 3, na ní je excentricky uložena frézovací hlava.



Obr. 6.10 Popis vzájemných pohybů nástroje a obrobku [3]

„Vyrobené křivky zubů jsou části epicykloidy“ Technologie obrábění, 1. část [13]. Výroba zubních profilů se dosáhne záběrem obráběného kola s myšleným kolem, jehož zuby představuje nástroj. Opracování kuželového kola probíhá tak, že dva nože v nožové hlavě procházejí jednou zubní mezerou a každý nůž opracovává jeden bok zubu. Tento způsob výroby se používá v automobilovém průmyslu.

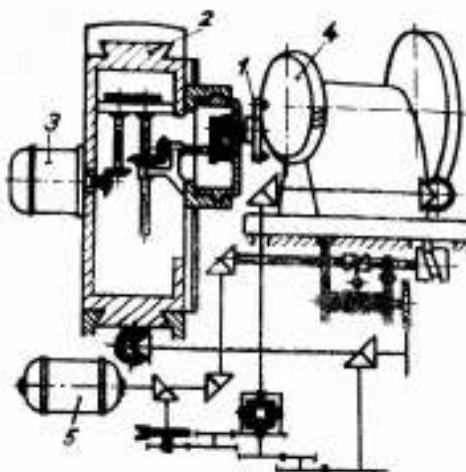
Kuželová ozubená kola se podle tohoto způsobu vyrábí odvalovacím frézováním čelní nožové hlavy. Ta má plynulý odval. Čelní nožová hlava je výstředně upnuta v kolébce. Čelní nožová hlava obsahuje břity s přímkovým ostřím uspořádané do skupin, tyto břity jsou tvořeny částmi samostatných spirál. Obrábění zubových mezer se provádí nožovou, na které jsou seskupeny nože do 3 až 11 skupin obsahující tři nože lichoběžníkového profilu pro předřezávání, pro řezání obou boků (levého i pravého). Každý soubor nožů je částí jiné spirály. Z tohoto procesu vzniká pohyb pro každou skupinu nožů, která prochází konkrétní zubovou mezerou. Břity vnějších a vnitřních zubů vytvářejí prodloužené epicykloidy. Osa otáčení nožové hlavy je totožná s osou myšleného kola. Touto metodou lze frézovat normální spirální kola u

kterých se osy obou kol (základního a obráběného) protínají nebo hypoidními soukolími s osami mimoběžnými.

6.11 Metoda Gleason

Dochází k zmenšování výšky zubu po celé délce. Výroba se provádí pomocí nožové hlavy se vsazenými noži v kruhu. Osová vzdálenost obráběných kol určuje rozměr nožové hlavy. Frézování ozubení se provádí postupně zub po zubu.

Postup práce na stroji Gleason: V tělese 2 je uložena frézovací hlava 1. Při nastavení dané excentricity tělesa se dá posouvat ve vedení vzhledem k ose obrobku. Zuby myšleného rovinného kola reprezentují nože nástroje. Elektromotor 3 pohání nástroj. Ozubenými koly se pohání obrobek 4, který koná dělicí a odvalovací pohyb. Dělicí a odvalovací pohyb vyvozuje druhý elektromotor 5. Vřeteník nese obráběné kolo a jeho osa je rovnoběžná s bubnem, na něm je upnut nástroj. Při frézování se vřeteník posouvá proti nožové hlavě. Pootočení o rozteč (dělení), probíhá po ofrézování jednoho zubu, kdy se vřeteník s obrobkem posune od nožové hlavy o určitou vzdálenost a dochází k dělení. Nastavení dělicího pohybu se provádí výměnnými ozubenými koly. Použití stroje Gleason je pro kusovou i hromadnou výrobu.

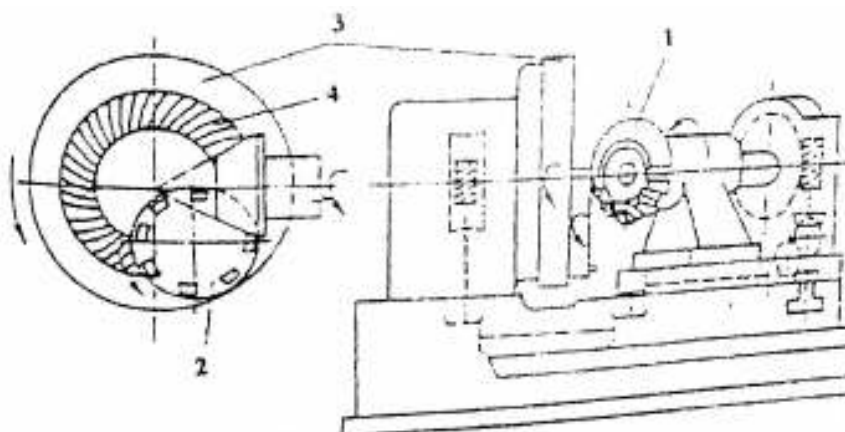


Obr. 6.11 Schéma stroje Gleason [3]

Kuželová kola se frézují dělicím způsobem čelní nožovou hlavou. Způsob obrábění je odvozen ze záběru obráběného a základního kola. Unášecí deska s čelní nožovou hlavou nahrazuje kolo základní. Otáčení řeznou rychlostí čelní nožové hlavy je pohyb nezávislý na ostatních pohybech. Natáčením unášecí desky s nožovou hlavou a otáčivým pohybem obrobku vzniká odvalovací pohyb. Posunutím obrobku na hloubku zubové mezery a následným odvalovacím pohybem se frézuje celá zubová mezera. Obrobek se přemístí a dochází k odvalu do výchozí polohy. Při tomto odsunutí nastane dělení na další zub. Tento postup se opakuje.

Frézování nožové hlavy se vyrábí zuby. Tyto zuby mají lichoběžníkový tvar a jejich uspořádání je za sebou, záběru vyráběného kola. Na začátku výroby je obrobek přesunut radiálně na hloubku zubové mezery a dojde

k zapnutí odvalovacích pohybů. Nástroj a unášecí deska se pootáčí úhlovými ω_1 a ω_2 . Ty jsou dány převodovým poměrem obráběného kola a základního kola. Výměnnými koly mezi unášecí deskou a vřetenem dosáhneme potřebného převodu. Správného odvalu se dosáhne když, Pro dosažení správného odvalu je nutné, aby vrchol roztečného kužele byl totožný se středem kola a rovina vrcholů ostří nožů procházela povrchovou přímkou patního kužele. Kombinací otáčivého pohybu a na táčení unášecí desky s nožovou hlavou se dosáhne odvalovacího pohybu.

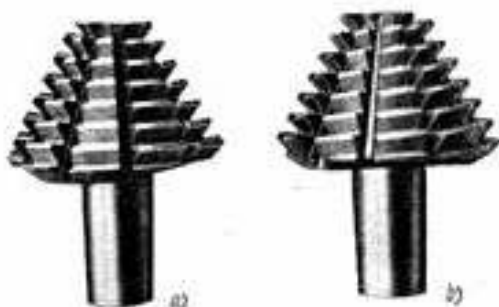


- 1 – obrobek
- 2 – nožová hlava
- 3 – unášecí deska
- 4 – pomyslné základní kolo

Obr. 6.11.1 Schema stroje Gleason [2]

6.12 Metoda Klingenberg

Kuželová kola se zakřivenými zuby jsou vyráběna odvalovacím frézováním, a to kuželovou odvalovací frézou s plynulým odvalem. Kombinace tří pohybů tvoří ozubení kuželového kola stejně jako u metody Oerlikon. Otáčení obrobku, rotační pohyb frézy, ovalovací pohyb frézy na unášecí desce. Tato metoda výroby kuželových ozubených kol s evolventním zakřivením zubů je vhodná pro kusovou a malosériovou výrobu. Kuželová kola s paloidním ozubením se tedy vyrábějí odvalovacím frézovacím způsobem kuželovými frézami (obrázek 6.12), které přicházejí do záběru s kuželovým kolem, a to na obrázku 6.12.1, kde na dráze tvaru oblouku, který představuje základní kolo.

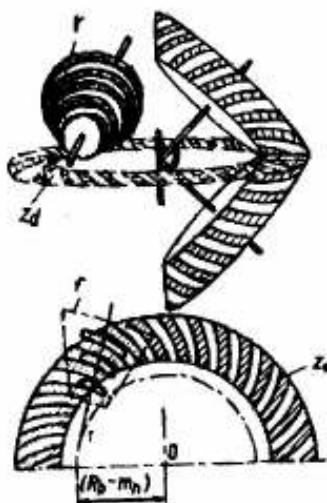


- a) stoupání zubů levé
- b) stoupání zubů pravé

Obr. 6.12 Dvojice odvalovacích fréz Klingenberg [3]

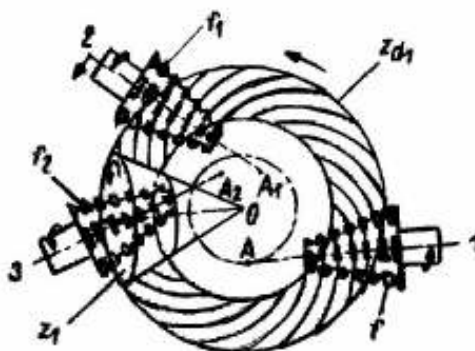
Nástroj, který koná odvalovací pohyb s přímým bokem zubu tvoří evolventní profil boku kola odpovídajícího průměru, počtu zubů frézovaného kola a

roztečného úhlu. Polohy zubů frézy Klingenberg obrázek 6.12.1 znázorňují vytváření obalové křivky zubu kuželového kola. Fréza Klingenberg má kuželový tvar. Každý závit frézy v řezu představuje základní hřeben, který je u pastorkových fréz mírně prohnutý dovnitř. Tangenciálním způsobem se uvede kuželová fréza do záběru s frézovaným kuželovým kolem. Fréza Klingenberg se pohybuje při frézování paloidního ozubení během svého záběru na dráze základního kola F_{Zd} . Seřízení frézy se provádí tím, že jeden konec frézy leží ve vzdálenosti od středu otáčení O_1 než druhý konec. Površka frézy opisuje při výkyvném pohybu kolem vrcholu kužele O_1 plochu základního kola F_{Zd} . Šířka základního kola musí mít nejméně velikost šířky zubu frézovaného kola. Mezi dráhou základního kola vyráběnou nástrojem a rozměry kuželového, frézovaného kola se dají určit: paloidní soukolí ozubených kol, které mají společný vrchol O , zabírají se společným základním kolem a to má také střed otáčení O . Kuželová fréza je vedena po kruhové dráze, která představuje základní kolo kuželového kola. Osa frézy se dotýká v bodě 1 kružnice ($R_B - m_N$) na obr. 6.12.1.



Obr. 6.12.1 Kuželové soukolí se základním kolem a frézou [3]

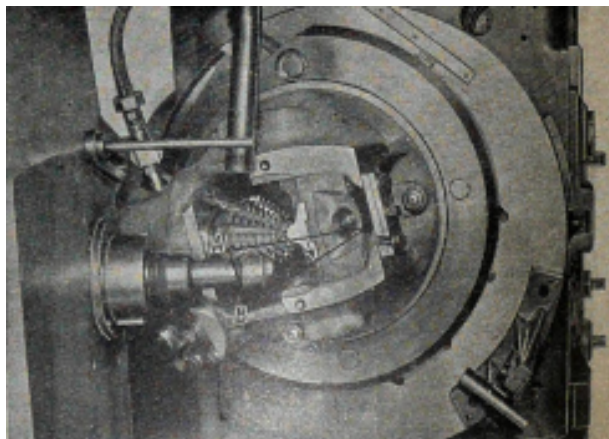
Fréza se kruhovým pohybem dostane nejdříve do záběru s kuželovým frézovaným kolem na vnějším průměru frézy. Fréza se musí správně nastavit, aby nebyly poškozeny boky zubů.



Obr. 6.12.2 Poloha frézy při frézování pastorku [3]

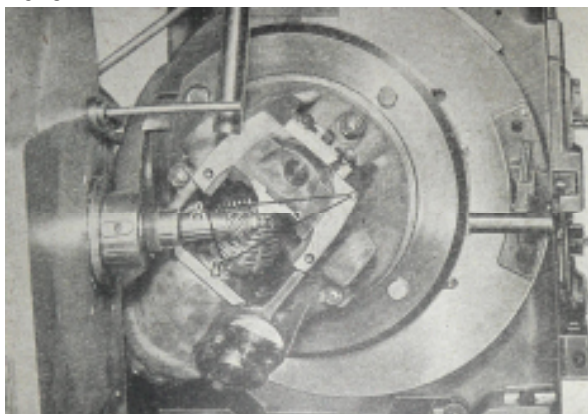
V poloze 1 je fréza F v teoretické poloze na kružnici o poloměru R_b . Osa frézy se dotýká v bodu A kružnice R_b . Ozubení frézy má tvar kuželovitého

závitů a ten má v každém místě spirály nástroje jiný úhel stoupání kuželového závitů. Úhel sklonu zubu, řídící křivky a stoupání, musí být stejný v místech dotyku, které v tomto teoretickém postavení není, a tak nelze frézovat správný profil zubů. V poloze 2 je osa frézy posunuta do bodu 1, který je nyní v A1 na kružnici ($R_b - M_n$). Fréza se natočí do této polohy, a tím dosáhneme v počátečním bodě frézování toho, že zub frézy řeže v tomto okamžitém místě frézování kolmo na řídící křivku ozubení. Při dalším frézování se do řezu dostávají další zuby frézy a ty jsou také vždy kolmé na řídící křivku ozubení, a to do konečného frézování na správnou hloubku ozubení. Každá fréza má vyznačen úhel stoupání zubu, který je vztažen ke kontrolnímu zubu, a ten je výchozím bodem pro všechny polohy frézy. V poloze 3 fréza znázorňuje frézování kola, která se otáčí danou rychlostí a kolo Z1 kopíruje tento pohyb a je v záběru s kuželovou frézou. Fréza, která se otáčí, koná odvalovací pohyb, a tím tvoří profil zubu. Frézovací hlava základního kola při natočení se řídí výměnnými koly a diferenciálem v požadovaném poměru dle frézovaného kola. Znázornění počáteční polohy frézy při frézování pastorku je na obrázku 6.12.2 .



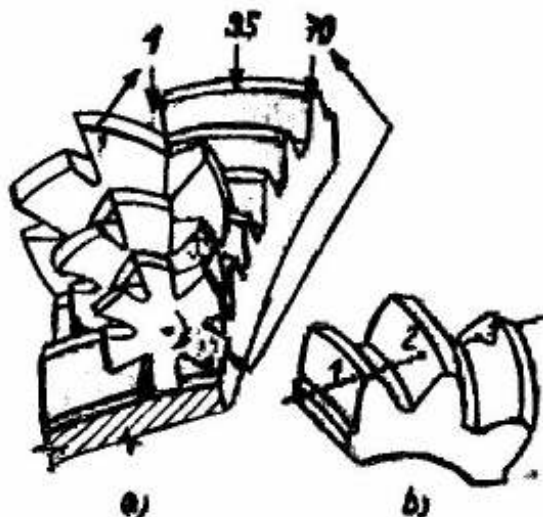
Obr. 6.12.3 Počáteční poloha frézovací hlavy [3]

Pro vytvoření profilu zubu na potřebnou hloubku po celé šířce ozubení se musí pootočit základní kolo nástrojové hlavy o daný úhel, na který má vliv úhel roztečného kužele, velikost modulu, počet zubů a převodu. Fréza v konečné poloze je na obrázku 6.12.4.



Obr. 6.12.4 Konečná poloha frézovací hlavy [3]

Ozubení se obrábí tak, že každý zub frézy je vyfrézován určitou částí boku zubů od hlavy až k patě zubu. Všechny zuby frézy proto pracují na určitém průměru frézovaného kola na (obrázek 6.12.5).



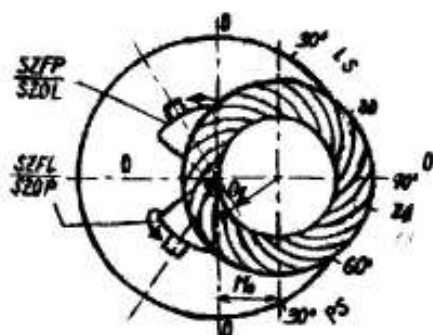
Obr. 6.12.5 Konečná poloha frézovací hlavy [3]

Zub 1 frézuje plošku 1, která leží na vnějším průměru kola, střední zub 35 plošky 35 a zub 70 obrábí plošku 70, která leží na vnějším průměru kola. Jednotlivé obrobené úseky při frézování jsou malé a nelze je ani rozpoznat na vyfrézovaném ozubení. Během obrábění zabírají tři zuby frézy a jejich řezy jsou v bodech 1, 2, 3 na obrázku 29. Jednotlivé závity frézy obrábějí v daném bodě.

6.13 Kladný a záporný způsob frézování

Frézování ozubení Klingelnberg - Paloid používá kuželového soukolí dvou fréz s pravým stoupáním, pro kuželová kola s levým stoupáním a obráceně. Tento způsob se nazývá záporný. Kladný způsob frézování je při použití pravé paloidy frézy s pravým stoupáním a levé paloidy frézy s levým stoupáním. Toto frézování se používá při výrobě pastorku diferenciálu s pravou spirálou a kuželového kola s levou spirálou za použití tvaru ozubení III. Tvar ozubení III znázorňuje pravou frézu pro frézování levé spirály na pastorku a frézují se s ní silnější zuby než s frézou levou pro kolo. Dosažení zesílení zubů na pastorku u tvaru ozubení III se provede kladným způsobem. Nevýhoda záporného způsobu je v použití dvou fréz, ale výhody oproti kladnému způsobu jsou v menším úhlu stoupání zubu (větší úhel u kladného způsobu vytváří větší tlak na zub), křivka tvaru zubu frézovaná záporným způsobem má proti kladnému lepší vlastnosti v porovnání zkrácené a prodloužené evolventy. "Prodloužená evolventa tvaru řídicí křivky základního kola u záporného způsobu frézování má výhodu oproti kladnému, že úseky u základní kružnice, které mají příliš velké zakřivení, nejsou použity pro ozubení. U zkrácené evolventy je použito kladného způsobu" Kuželová ozubená kola s paloidními zuby Klingenberg [3]. Proto se doporučuje jedině záporný způsob frézování.

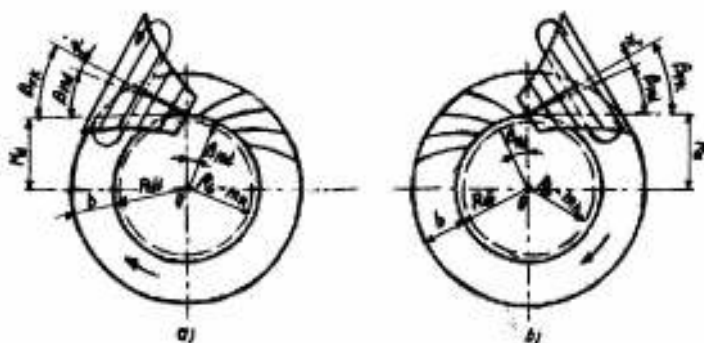
6.14 Pravidla frézování



SZFP – stoupání zubů
frézy pravé
SZOP – stoupání zubu
obrobku pravé
SZFL – stoupání zubů
frézy levé
SZOL – stoupání zubu
obrobku levé

Obr. 6.14 Deska základního kola frézovací hlavy [3]

Seřízení nástroje pod střed dolní stupnice se označuje jako pravá spirála (pravé stoupání zubu). Seřízení nad střed platí stupnice, která se označuje jako levá spirála (levé stoupání zubu). Je nutné stanovit správný smysl otáčení obrobku a desky základního kola. Při záporném způsobu frézování zubů s levým stoupáním frézou s pravým stoupáním, je smysl otáčení desky základního kola shora dolů (z pohledu na frézovací suport otáčení doleva). V počáteční poloze A je fréza nad středem obrobku (frézovaného kola) a v konečné poloze B je pod středem obrobku na obrázku 6.12.4 a 6.12.5. Deska základního kola se u záporného způsobu otáčí doleva. U frézování zubů s pravým stoupáním frézou s levým stoupáním je smysl otáčení desky základního kola ve směru hodinových ručiček, tedy pravotočivý. Počáteční poloha nástroje u záporného způsobu frézování je na obrázku 6.14.1.



a) SZFL a SZOP
b) SZFP s SZOL

Obr. 6.14.1 Základní poloha frézy [3]

U kladného způsobu frézování jsou zuby frézovány s levým stoupáním frézou s levým stoupáním. Smysl otáčení desky základního kola je zdola nahoru na obrázku 6.14.1 (otáčení doprava). U frézování zubů s pravým stoupáním frézou s pravým stoupáním se deska základního kola otáčí dolů, to je doleva. Pro seřízení úhlu nástrojové hlavy β_{FK} se ve stroji přičítá úhel stoupání frézy γ k počátečnímu úhlu stoupání zubu β_{Md} a to v případě, že stoupání zubu obrobku a nástroje je rozdílné (záporný způsob). Odečítání úhlu stoupání frézy od úhlu nástrojové hlavy je tehdy, jsou-li úhly stoupání obrobku a nástroje shodné (kladný způsob). Směr stoupání zubu frézy a obrobku se smyslem otáčení základní desky (základního kola) jsou v tabulce.

Tab. 6.14 Tabulka pro orientaci frézy

		Stoupání zubu frézy	
		Levé	Pravé
Stoupání zubu kola	Pravé	Záporný způsob	Kladný způsob
		Levotočivý pohyb základní desky	
	Levé	Kladný způsob	Záporný způsob
		Pravotočivý pohyb základní desky	

6.15 Hrubování a dokončování

Pro větší přesnost ozubení v hromadné výrobě se osvědčily talíře (kola o větším průměru počtu zubů), které se frézují na jednom stroji s přídavkem (hrubovat) a na jiném dokončovat. Pastorky (kola o velmi malém počtu zubů) se pak frézují na třetím stroji. Hrubování i dokončování se v kusové výrobě provádí na jednom stroji. Při vytížení jednoho nebo více strojů u hrubování talířových kol se používá speciálních strojů pro výrobu talířových kol. Tyto stroje mají vyšší výkon a mají zvlášť zesílená pracovní vřetena a ta tlumí chvění i otřesy při frézování, to způsobuje hladší povrch boku zubů frézovaných kol a delší životnost nástroje. Se stroji Klingenberg se frézují také hypoidní soukolí, u menší mimoběžnosti os normálními frézami, u většího přesazení se musí použít speciální frézy pro frézování pastorku nebo stroje Klingenberg s výškově představovacím vřetenem.

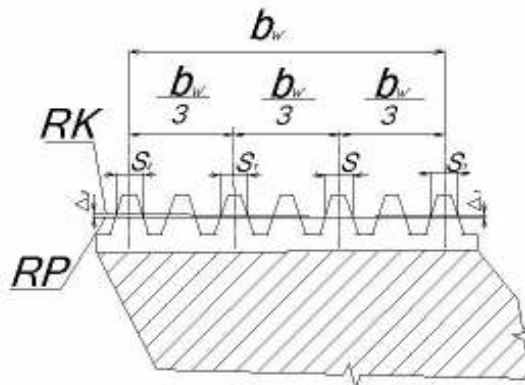
6.16 Frézy s křivkovou korekcí základního hřebenu

U paloidních kol je výška zubů po celé šířce ozubení stejná a tloušťka zubů měřená na normále zubní křivky je přibližně stejná. Ve střední části šířky ozubení se většinou umísťuje záběr ozubení kuželových kol Klingenberg – paloid. Na obou koncích šířky zubů je vůle, která brání vlivu ložiskového posunutí a zadření zubů při malém přesazení pastorku. Paloida je odvozená z evolventy obecné křivky (řídící křivka zubů základního kola). Výroba ozubení jednoho kuželového soukolí vyžaduje dvou kuželových odvalovacích fréz. Pro kuželové kolo s levým stoupáním zubu je zapotřebí frézy s pravým stoupáním (pravochoďou frézu). Kuželové kolo s pravým stoupáním zubu je v kombinaci s frézou, která má levé stoupání (levochoďá fréza).

6.17 Konstrukce frézy

Konstrukce kuželových fréz Klingenberg jsou konstruovány pro určitý modul, úhel záběru, tvar zubů a směr stoupání zubů. Použití velikosti modulu závisí na typu stroje a pohybuje se v rozmezí $m = 1$ až $m = 7$. Úhel záběru se stanovuje podle potřeby nejčastěji $17,5^\circ$ nebo 20° . U odvalovacích fréz se musí rozlišit tvary zubů I a III. Rozdíl těchto tvarů zubů je v tloušťce. Tvar zubů I má stejnou tloušťku zubů pravé i levé frézy, a proto se dá tato fréza univerzálně použít pro pastorky i pro kola, bez ohledu na směr jejich stoupání. Tvar zubu III má většinou pravou frézu pro frézování pastorků s levým stoupáním, kde se frézují tlustší zuby než u frézy určené pro kola. U kol se používá levé frézy, která mají kola s pravým stoupáním. Jestliže nemáme speciální frézy pro frézování pastorku s pravým stoupáním a tvarem ozubení

III používá se kladného způsobu (pravochodá fréza frézuje pravé stoupání na pastorku). Kuželová fréza Klingenberg je vlastně šnek, který má závit navinut na komolém kuželu (obrázek 6.17). Řezný nástroj vzniká profrézováním drážek, podsoustružením zubů a vybroušením profilu zubů. Závit frézy je jednochodý a má konstantní stoupání.

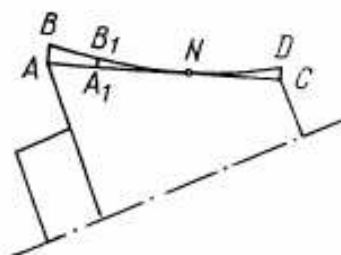


Obr. 6.17 Řez profilem ozubení frézy Klingenberg s křivkovou korekcí základního hřebenu

6.18 Tvar roztečného kužele frézy

Fréza má profil navinutý na roztečný kužel. Ten má vrcholový úhel v osovém řezu velikost 60° . Povrch kužele se vždy neskládá z přímky, ale také z křivky, která je mírně prohnutá s velkým poloměrem křivosti (obrázek 33). Tato odchylka prohnutí je nepatrná od přímky a je ve velikosti přibližně $0,01\text{modulu}$. V praxi se používají frézy s prohnutím až $0,5\text{mm}$, protože záběr zubů je posunut k vnějšímu konci zubu. Zuby směrem k malému průměru frézy by měly být nepatrně tlustší než u průměru velkého kola (měřeno na přímce roztečného kužele). Tento nástroj pak frézuje tenčí zuby u vnitřního průměru ozubení než u vnějšího průměru. Tím se záběr zubů soukolí přesouvá k vnějšímu konci zubu. Při výrobě frézy pro pastorky se místo přímky roztečného kužele vybrušuje nesymetrická křivka. Ta má vrchol posunutý blíže k většímu průměru frézy. Toto je znázorněno na 6.18.

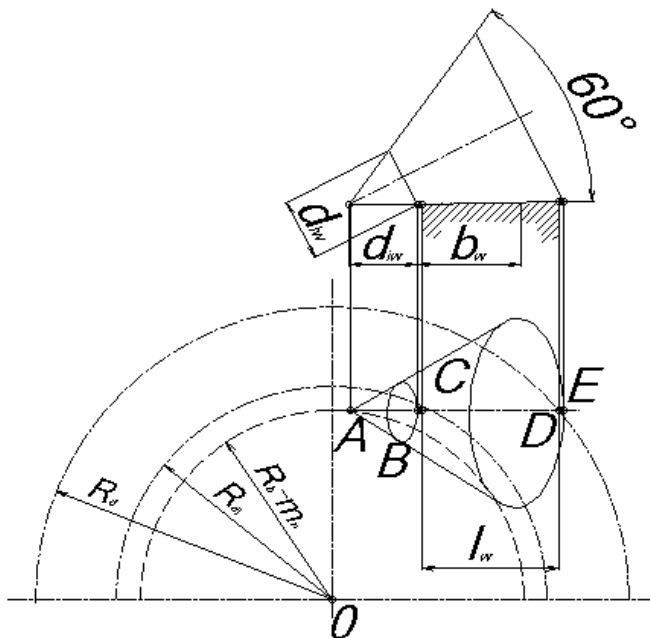
AC – celková pracovní šířka frézy b_w



Obr. 6.18 Průběh křivkové korekce ozubení frézy Klingenberg [3]

kde úsečka AB na fréze je o danou hodnotu větší než úsečka CD. Tato podmínka závisí na poloze křivky, která se mění podle potřeby. Pro univerzální použití frézy na výrobu kol různé velikosti a šířky ozubení, proto se vychází z tloušťky zubů $(\pi m)/2$. Tato tloušťka zubu na roztečné přímce se volí ve vzdálenosti jedné třetiny řezné šířky frézy (měřeno od okraje malého

průměru frézy). Na malém průměru frézy se volí tloušťka prvního zubu $(\pi m)/2 + A_1$ a tloušťka posledního zubu frézy (na velkém průměru) se volí $(\pi m)/2 + A_2$. Hodnoty A_1 a A_2 se určí přibližně. $A_1 = 0,01$ modulu, $A_2 = 0,02$ modulu. U frézování zabírá ta část nástroje, která odpovídá odebíranému úseku kuželového kola l_w . Poloha frézy a frézovaného kola je na obrázku 6.18.1.

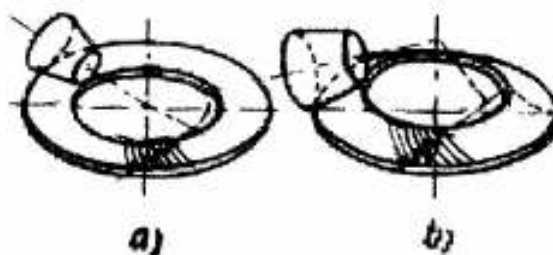


Obr. 6.18.1 Poloha frézy na základním kole

Délka frézovaného úseku kuželového kola l_w se může vyjádřit vzorcem:
 $l_w = \sqrt{(R_d^2 - x^2)} - \sqrt{(R_{d1}^2 - x^2)}$, $x = (R_b - m_n)$. Závit frézy je jednoduchý s konstantním stoupáním šroubovice. Stoupání šroubovice ($L = \pi m$) se měří na roztečné přímce. Výška hlavy zubu závisí na úhlu záběru. Pro jednotnost se používá pro všechny frézy výška hlavy $h_a = 1,3$ modulu a výška paty $h_f = 1,2$ modulu. Celková výška zubu je potom $h = 2,5$ modulu a je nezávislá na úhlu záběru.

6.19 Frézy bez křivkové korekce základního hřebenu

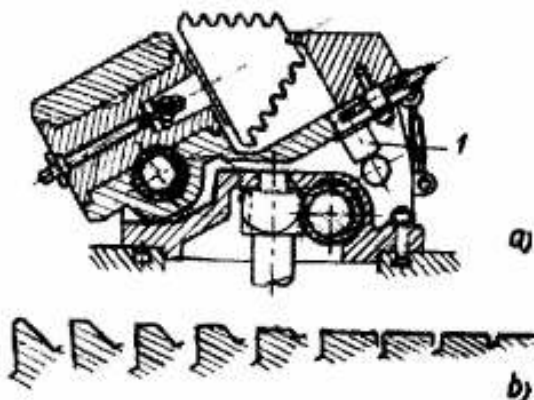
Obtíže u fréz s křivkovou korekcí (například, že záběr zubu, který má vliv na uložení šířky ozubení, lze měnit v rozsahu křivkové korekce základního hřebenu), které se objevovali u paloidního ozubení se odstraní použitím kuželové frézy bez křivkové korekce základního hřebenu s konstantní roztečí zubu v přímce na kuželu úhlem 60° . Frézovací hlava umožňuje naklonění osy frézy v rovině kolmé na osu kola. Seřizování frézy při frézování se provádí tím, že se přímka roztečného kužele frézy neshoduje s roztečnou přímkou povrchy roztečného kužele základního kola, ale je k ní nakloněna pod malým úhlem. Osa odvalovací kuželové frézy neprotíná osu základního kola, ale dotýká se základní kružnice R_b , a proto povrchy jejího kuželového pláště neopisují při otáčení základního kola plochu kruhového oblouku, ale opisují plášť plochého hyperboloidu (obrázek 6.19).



Obr. 6.19 Seřízení kuželové frézy [3]

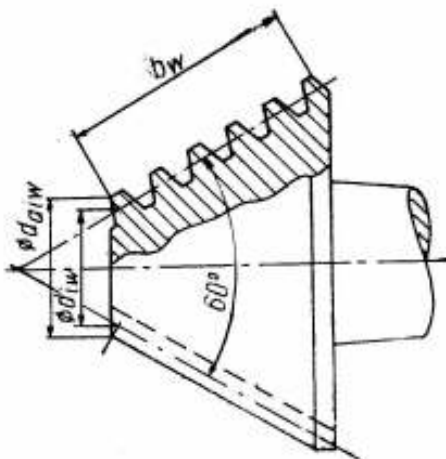
- a) s křivkovou korekcí základního hřebenu
- b) bez křivkové korekce základního hřebenu

Výsledkem je hyperbolické základní kolo místo rovinného. Hyperbolické základní kolo má povrchy mírně zakřiveny. Proto fréza při odvalovacím frézování frézuje větší hloubku na obou koncích šířky zubu. Tím vznikne omezený záběr zubu. Koncovými měrkami na obrázku 6.19.1 se může měnit



Obr. 6.19.1 Řez rekonstruované frézovací hlavy nových strojů Klingenberg s frézou bez křivkové korekce základního hřebenu [3]

velikost úhlu sklonu frézy, a to změnou pásma dotyku zubů. Tyto odvalovací frézy mají kuželovou část (řeznou šířku) pouze tak dlouhou, že odpovídají frézovacímu úseku frézovaných kuželových kol l_w . Zbývající část je válcovitá (obrázek 6.19.2).

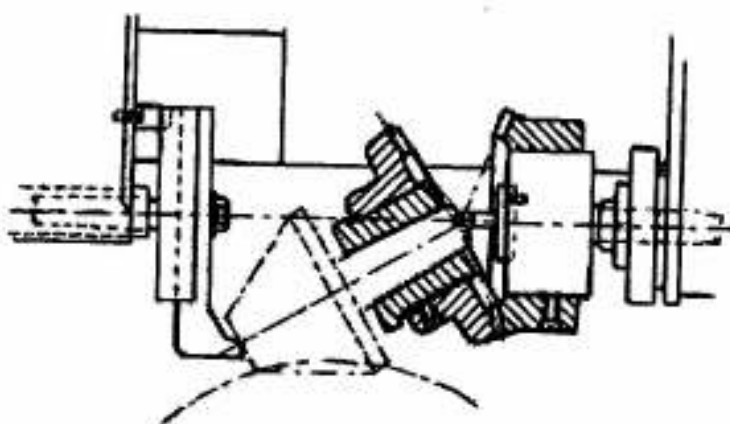


Obr. 6.19.2 Kuželová fréza bez křivkové korekce základního hřebenu [3]

Proto jsou zuby na velkém průměru frézy zesíleny a odebrání třísek při hrubování je rozloženo na víc zubů, a to zlepšuje řezné podmínky. Výška zubu se postupně zvětšuje od válcové části na plnou výšku na obrázku 6.19.2, toto je podobné s protahováním. Takto upravená fréza pracuje s větší životností a s menším opotřebením zubů na velkém průměru. Další výhodou je práce bez nárazů. Možnost větších řezných a posuvových rychlostí. Použití v sériové výrobě.

6.20 Ostření kuželových fréz Klingenberg

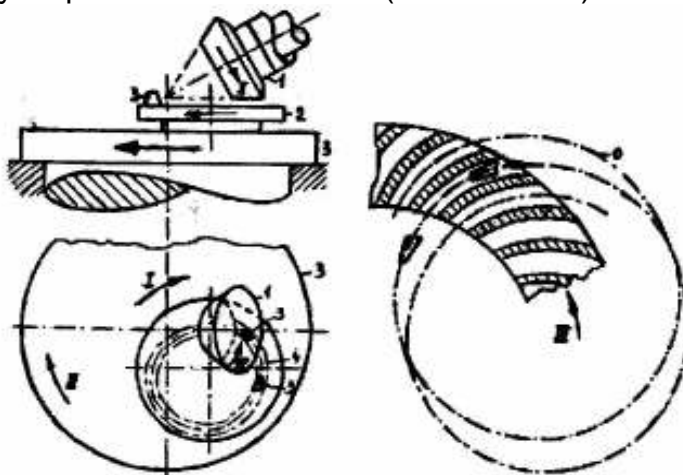
Odvalovací kuželové frézy Klingenberg se brousí na normální brusce Klingenberg s použitím přípravku nebo použitím speciálních strojů.



Obr. 6.20 Přípravek pro ostření a broušení profilu fréz Klingenberg [3]

6.21 Kuželová kola s cyklo – paloidním ozubením

Cyklo – paloidní ozubení se vyrábí na speciálních strojích Klingenberg s nožovou hlavou. Pracuje odvalovacím způsobem, ale místo kuželové odvalovací frézy se používá nožová hlava (obrázek 6.21).



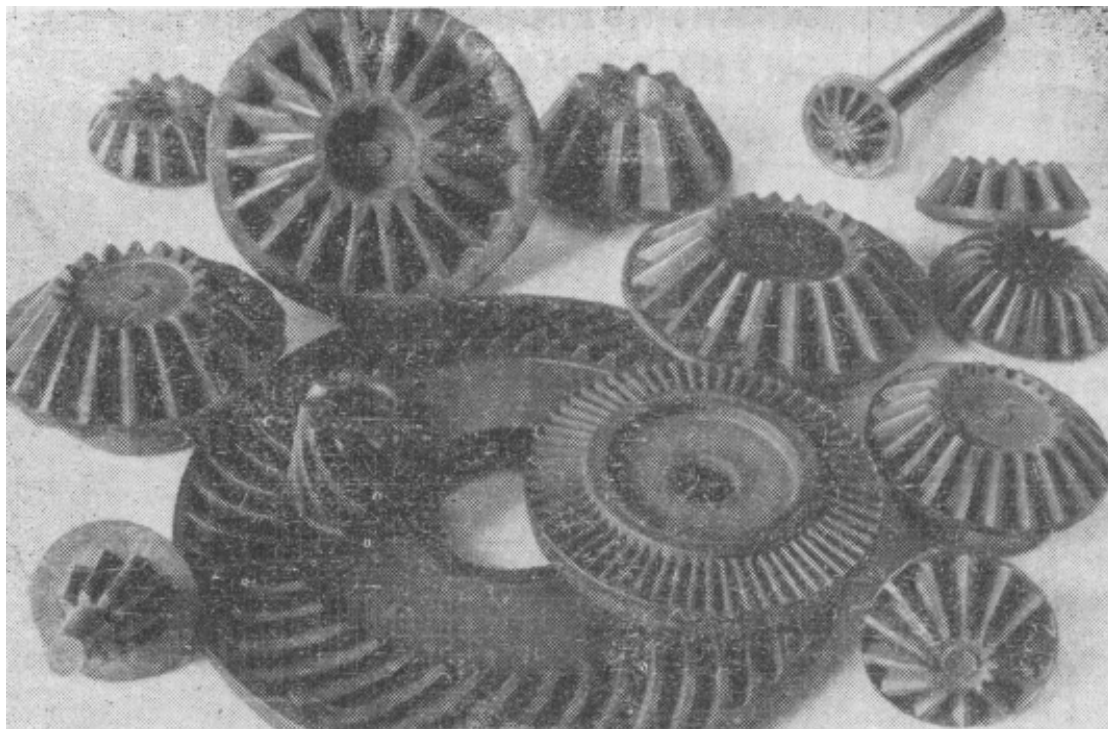
Obr. 6.21 Poloha nástroje a obrobku (kola) při frézování cyklo – paloidního ozubení a vytvoření hypocykloidní dráhy břitu nožů [3]

Tato nožová hlava je při frézování v záběru s frézovaným kolem. Nožová hlava 2 je excentricky umístěna na desce základního kola 5. Zuby nožové hlavy jsou umístěny po Archimédově spirále. Při otáčení ve směru šipky I se hlavní pohyb v koncové fázi dostává do řezu při současném otáčení frézovaného kola I ve směru II a posuvného pohybu základního kola 5 ve směru III. Nožová hlava 2 se otáčí a tím koná řezný pohyb. Odvalovací pohyb koná otáčení základního kola 5 a kola 1. Spojením těchto tří pohybů se vyfrézuje na kuželovém kole 1 ozubení. Dráha každého bodu břitu nožů tvoří hypocykloidu 6. Vzniklé ozubení se výrobcem nazývá cyklo – paloidní. Vyfrézované ozubení má stejnou výšku zubů po celé šířce ozubení (jako u velkých kol Klingelnberg – paloid) a má omezené pásmo dotyku.

6.22 Nástroj nožová hlava

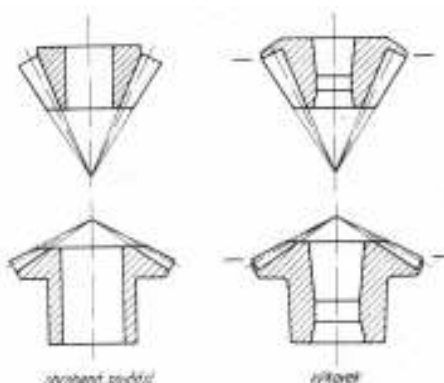
Pro frézování kuželového soukolí se používá dvou nožových hlav pro pravé a levé stoupání zubu. Tyto nožové hlavy používají dvě skupiny nožů, a to nože pro frézování konkávního (vypouklého) boku zubu a nože pro konvexní (vydutý) bok zubu. Používají se i nožové hlavy s jedním a dvěma chody. Hlava s jedním chodem má dva nože. Dvouchodá hlava má čtyři nože. Stejnými noži se dají frézovat kola s různými moduly. Nože se dají použít pro oba boky zubu podle toho jak se seřídí v nožové hlavě. Nože se konstruují jako kotoučové nože k řezání závitů s profilem zubu základního kola. Nastavením koncových měrek lze předem určit dlouhé nebo krátké pásmo dotyku.

7 PŘESNÉ KOVÁNÍ KUŽELOVÝCH KOL S VYKOVANÝMI ZUBY



Obr. 7 Ukázka kuželových ozubených kol vyrobených přesným kováním [1]

U velkých sérií dochází k postupnému nahrazování mechanického obrábění polotovary produktivnějšími metodami (přesným kováním, přesným litím, lisováním). Přesným kováním ozubených kol s vykovanými zuby v zápustkách za tepla lze vyrábět kuželová ozubená kola s přímými zuby, kuželová ozubená kola nezakřivenými zuby, čelní ozubená kola. Ozubená kola všech tří skupin lze vykovat s přídavkem na obrábění na boku zubu (0,3 až 0,5 mm), nebo bez přídavku na čisto. Ozubená kola vykovaná s přídavkem na obrábění na boku zubu mohou být zhotovena na zbývajících plochách také na čisto nebo s přídavkem na obrábění. Po konečném obrobení a úpravě se montují do převodů automobilů, taktorů apod.. Ozubená kola vykovaná bez přídavku obrábění v ozubení, to je na čisto, se montují do zemědělských a stavebnicových strojů, universálních sklíčidel a méně náročných převodů automobilů a traktorů.



Obr. 7 Srovnání obrobené a vykované součásti [1]

7.1 Přesné kování

Kola s přímými zuby jsou výrobně nejjednodušší. Výroba všech ozubených kol musí splňovat potřebné podmínky jako správně zvolený tvar výkovku, vhodný kovací stroj, přesný kovací nástroj, vhodně zvolený nebo předkovaný výchozí materiál, správně provedené vlastní kování. Porovnání ozubených kuželových kol obrobených a kovaných je na obrázku 7.

7.2 Tvar výkovku

Pro stanovení správného tvaru výkovku je potřebné znát výkres součásti s rozměry součásti, tvarem tolerancemi, jakostí povrchu, předepsaným obráběním a tepelným zpracováním. K určení správného tvaru výkovku je zapotřebí stanovení dělicí roviny, přídavků na obrábění, kovacích úkosů, poloměrů zaoblení a polohy tloušťky blány u děrovaných výkovků. Je potřebné určit výchozí plochu pro upnutí při obrábění. Dále se musí zjistit jakou tvárnost má předepsaný materiál jeho odpor proti deformaci a rozmezí jeho kovacích teplot. Podle toho se určí počet ohřevů výkovku a jeho tepelné zpracování

7.3 Dělicí rovina

Dělicí rovina se umísťuje mezi dva největší vzájemně kolmé rozměry. Sleduje vnější nebo vnitřní obrys výkovku podél obrysu ostřížení. Zápustkové úkosy vycházejí od dělicí roviny. Jejím posunutím ve směru rázu se zmenšují nebo zvětšují. Dělicí rovina by neměla být lomená.

7.4 Přídavky na obrábění

Určují se podle největšího rozměru hotové součásti ve směru kolmém k rázu a podle největší výšky hotové součásti. Vtahují se na plochu. Přídavky pro boky zubů se volí 0,3 až 0,5 mm.

7.5 Kovací úkosy

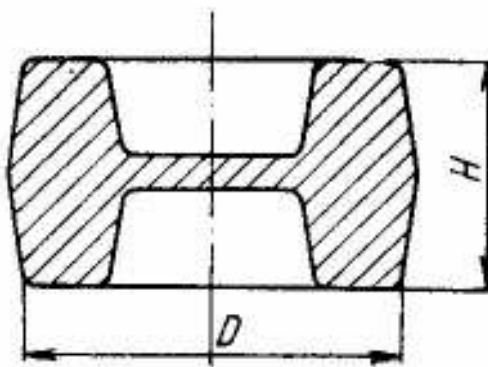
„Kovací úkosy usnadňují vyjímání výkovku ze zápustky“ Přesné kování kuželových kol [1]. Podle tvaru a složitosti výkovku se určuje velikost úkosu. Úkosy pro vnější tvary má sklon 3, 5, 7 až 10 stupňů. Chladnutím se výkovek smršťuje, a následně se uvolňuje ze zápustky. Pro vnitřní tvary (otvory) se používá větších úkosů se sklonem 5, 7, 10, 12, a více stupňů, protože při smršťování výkovků dochází ke svírání předrážených výstupků v zápustce.

7.6 Menší poloměry zaoblení

Menší poloměry zaoblení v dutině zápustky zhoršují zaplňování materiálu. Malé poloměry v dutině zápustky jsou příčinou vzniku trhlin i zničení zápustky. Malý vnitřní poloměr hran v zápustce způsobí předčasné otupení a napěchování. Výkovek se v dutině přilepuje a špatně se vyndává ze zápustky. „Větší zaoblení hran a rohů v dutině zápustky prodlužuje její trvanlivost“ Přesné kování kuželových kol [3]. U přesného kování ozubených kol se ozubení, kde jsou ostré hrany a malá zaoblení probíhá kování nadvakrát. V jedné zápustce se výkovek předkove a v druhé se přesně kove na čisto.

7.7 Předkování děr

Ozubená kola, která mají mít průchozí díru se předkovají v zápustce. Blána která vznikne se prostřihne při ostřihování. Tlustá blána sťažuje děrování. Tenká blána způsobí napěchování výstupků, které zhoršují vyjímání výkovku ze zápustky. Pokud je poloměr přechodu blány do stěny výkovku větší, než na bláně nezůstane rovná část, musí se blána zaoblit jedním větším poloměrem. Místo děrování výkovku se musí výkovek vyvrtat. Pokud je díra tak malá, že se ani nepředkove, nechá se výkovek plný a díra se musí vyvrtat.



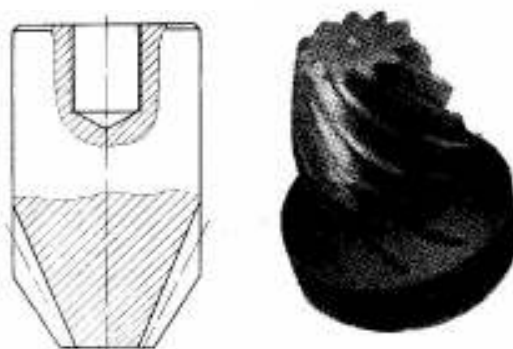
Obr. 7.7 Předkovaná díra [1]

7.8 Úchytky rozměrů

Závisí na složitosti výkovku. Úchytky se počítají od jmenovitých rozměrů výkovků. Příčiny úchylek jsou výškové nedokování, neúplné zaplnění dutiny zápustky, nestejnoměrné smrštění materiálu při ochlazování, zakovky a okuje, odstraňování vnějších vad, opotřebení zápustky. Výkovky, které jsou v přesném provedení, mají o jeden stupeň přesnosti přesnější provedení. Ve velmi přesném provedení jsou o dva stupně přesnější než stejně výkovky v obvyklém provedení. Vzniklé úchytky mají hlavní příčinu v opotřebení kovací zápustky, hlavně u vyrobených kovaných kol na čisto (bez přídavku na obrábění v ozubení). Proto se musí úchytky dodržet v předepsaných mezích. Zápustka, která přestane odpovídat tomuto meznímu rozsahu, se musí vyřadit.

7.9 Kovací stroje

Ozubená kola se většinou kovou na vřetenových lisech. Přesnější výkovky ozubených kol se vyrábí na mechanických kovacích lisech. Přehřívání zápustky se děje při delším setrvání výkovku v dutině zápustky, proto jsou kovací stroje vybaveny zařízením k vyjímání výkovků z dutiny zápustky (mechanické vyrážače, pneumatické vytlačování). Zápustky mají negativní tvar zubů, který odpovídá ozubení kovaného kola. Lisovníkem se vylisuje negativní tvar ozubení do dutiny zápustky. Jeho tvar ozubení odpovídá ozubení vyráběného ozubeného kola. Ostřížení výronku a děrování se provádí na klikových nebo výstředníkových lisech. Upnuté zápustky se rovnoměrně ohřívají na teplotu 250 až 300°C. Při této teplotě mají zápustky nejvhodnější pevnost a houževnatost.

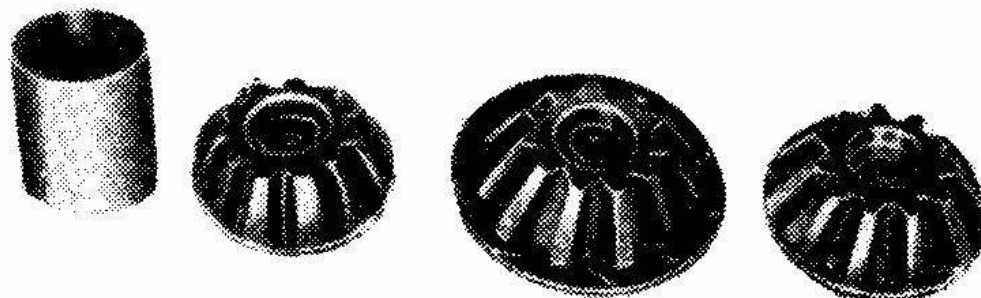


Obr. 6.9 Lisovníky pro přímé a zakřivené zuby [1]

8 KOVÁNÍ

Polotovary se také rovnoměrně předehtřívají, a to na teplotu až 1100°C. Poté se polotovary očistí a zbaví okují. Kove se v několika operacích, podle toho jak je ozubené kolo složité. Nejdříve se předlisuje (předkove) ozubení a středový otvor výkovku kola. Pro zvětšení životnosti zápustek se používají speciální maziva např.: na bázi grafitu s vodou v poměru 1:100, která zápustky také pomáhají ochlazovat. Tepelné zpracování výkovků zajišťuje potřebné

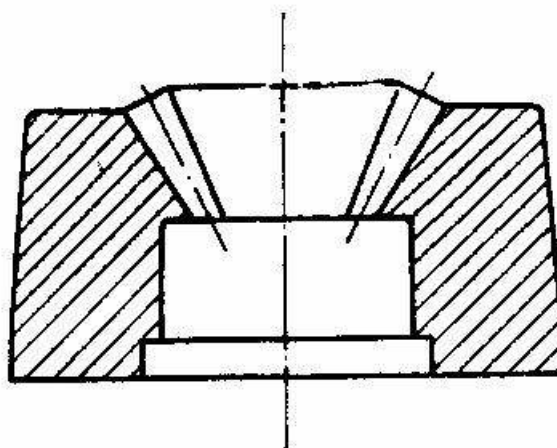
metalurgické vlastnosti. Podle velikosti výkovku a jeho materiálu se provádí vybraný druh žíhání, cementování, zušlechťování. Výkovky se čistí mořením v roztocích (např.: v kyselině solné) dále tryskáním (např.: ocelovým pískem).



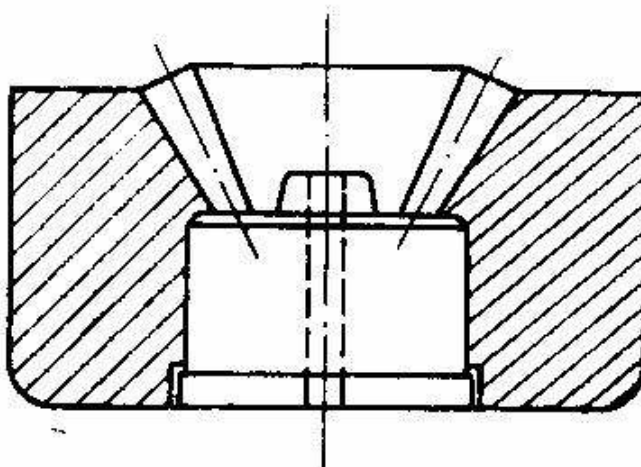
Obr. 8.0 Průběh jednotlivých kroků od polotovaru až k hotové součásti [1]



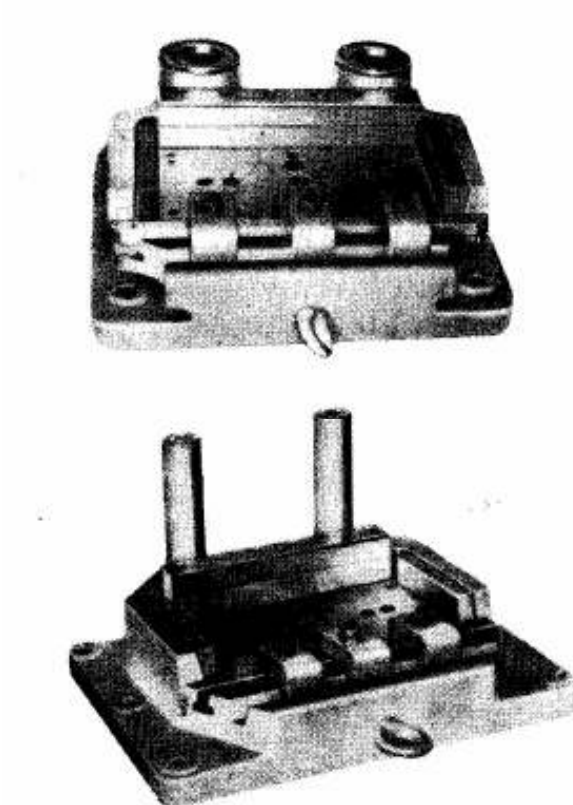
Obr. 8.0.1 Výkovky se zakřivenými zuby zhotovené přesným kováním [1]



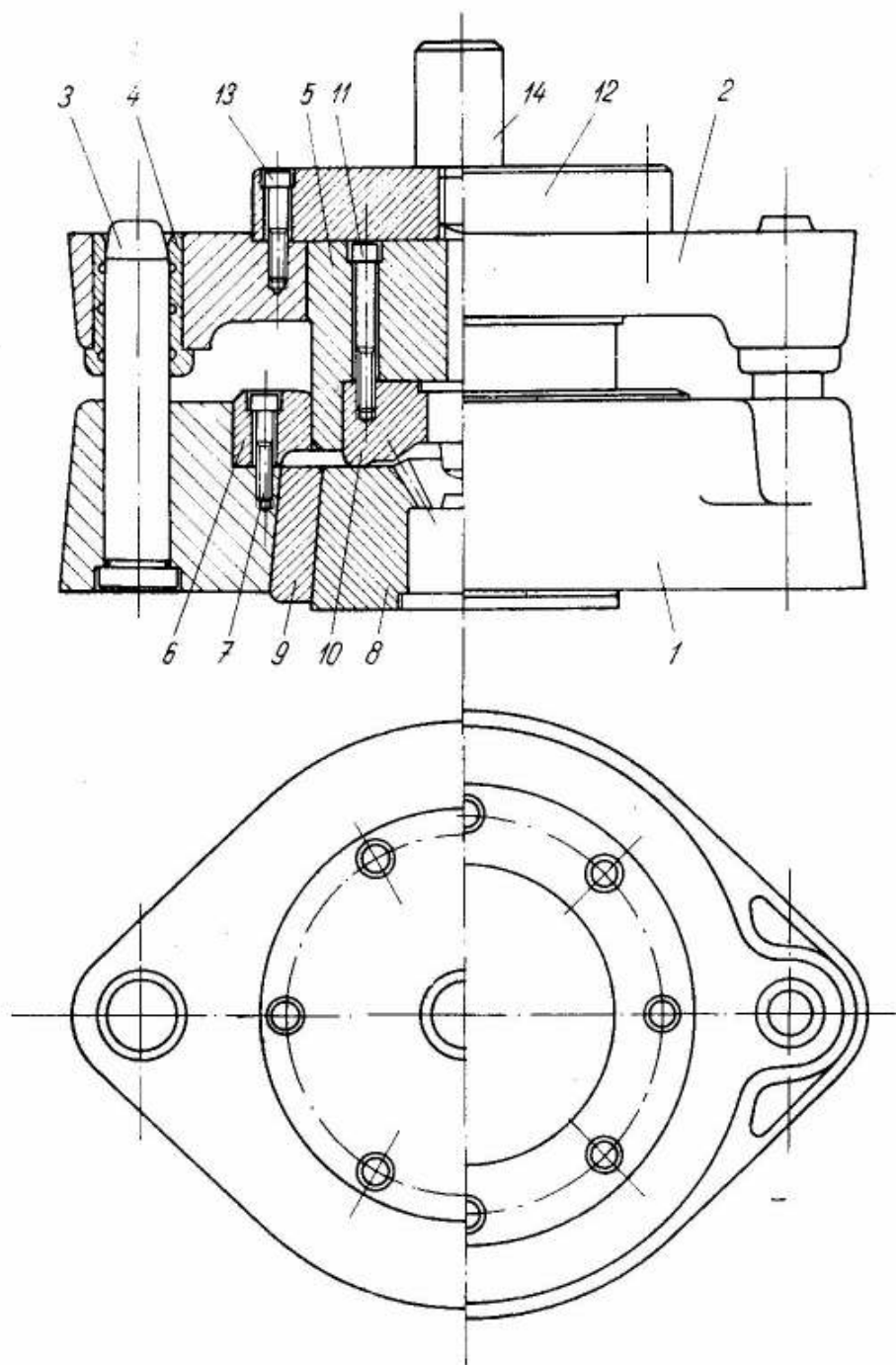
Obr. 8.0.2 Zápustka pro vřetenový lis [1]



Obr. 8.0.2 Zápustka s vložkou pro lis LKM [1]

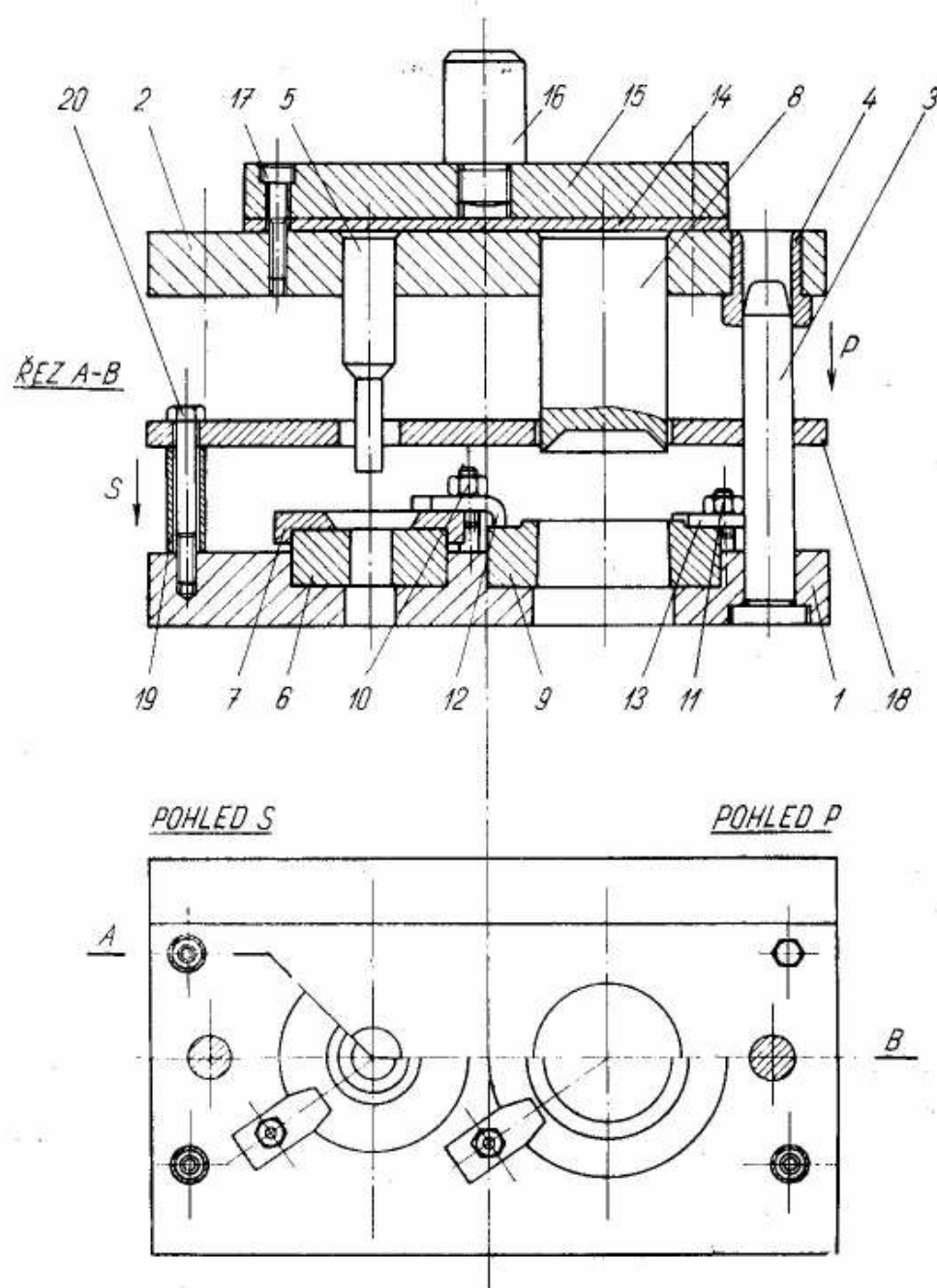


Obr. 8.0.3 Držák zápustky



Obr. 8.0.4 Kovací nástroj pro vřetenový lis [1]

1 – těleso nástroje (spodní část), 2 – těleso nástroje (horní část),
 3 – vodící sloupek, 4 – vodící pouzdro, 5 – razník, 6 – vodící prsten,
 7 – šroub, 8 – spodní část zápustky, 9 – vložený ocelový prsten,
 10 – horní část zápustky, 11 – šroub, 12 – hlava nástroje,
 13 – šroub, 14 – upínací čep.



Obr. 8.0.5 Ostřihovací a děrovací nástroj [1]

1 – základová deska, 2 – horní deska, 3 – vodící sloupek, 4 – vodící pouzdro, 5 – střížník, 6 – děrovací střížnice, 7 – středící kroužek, 8 – střížník, 9 – ostřihovací střížnice, 10, 11 – šroub, 12, 13 – upínací příložky, 14 – ocelová kalená vložka, 15 – hlava nástroje, 16 – upínací čep, 17 – šroub, 18 – stírací deska, 19 – rozpěrací trubka, 20 – upevňovací šroub.

9 CNC OBRÁBĚNÍ KUŽELOVÝCH KOL

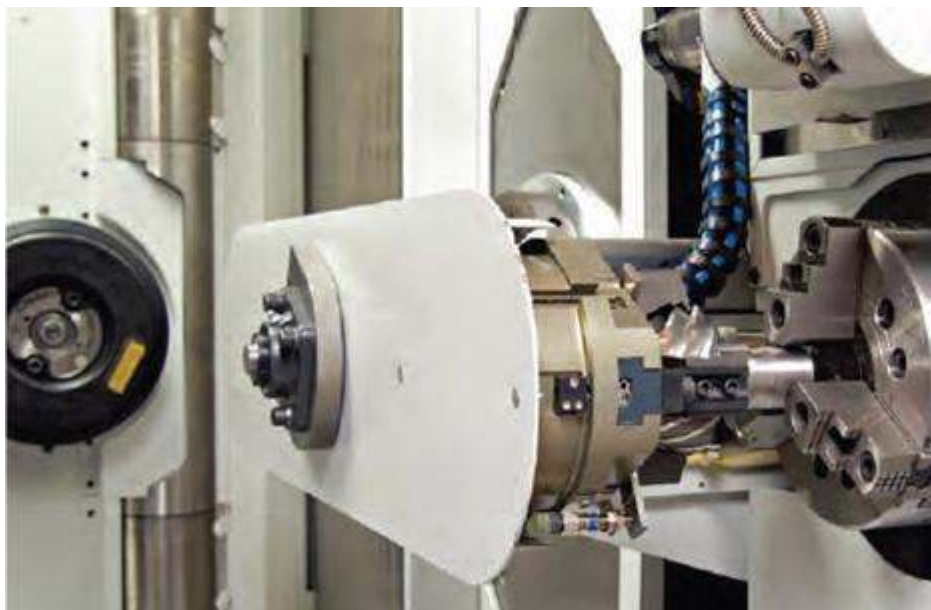
Číslicově řízené obráběcí stroje využívají vysoký stupeň automatizace v obrábění, avšak u výroby ozubení se strojní čas může pohybovat v řádu hodin podle velikosti kola a složitosti ozubení. Touto metodou lze obrábět jakýkoliv typ kuželových ozubených kol. Při obrábění se používají universální nástroje (válnové, stopkové, kulové frézy). Pro výrobu ozubení se používá pro malosériovou až kusovou výrobu u CNC center (s modulem ozub. kola větším než 2mm). Hromadné výroby se využívá u speciálních CNC strojů pro jednotlivé metody výroby kuželových ozubených kol. „Pro zajištění optimální přesnosti a kvality povrchu vyráběného ozubení je třeba zajistit polohu nástroje vůči povrchu zubu tečně k vektoru řezné rychlosti“ Speciální technologie obrábění, kapitola: Ozubená kola a ozubené převody [15]. CNC systém má v paměti počítače uložený program, který je používán u jednotlivých funkcí číslicového řízení. Z paměti je podle potřeby dané operace vyvolán. Vstupní data se zaznamenávají na děrnou pásku, magnetickou pásku, pružný magnetický disk. Ty pak slouží pro plynulé nahrávání partprogramu do řídicí paměti CNC systému. CNC stroj na výrobu ozubení obsahuje pět až osm NC os.

Výhodou je dialogové (obrazové) programování těchto strojů, které se objevilo v letech 1990 až 1995. CNC umožňuje vyrobít ozubené kolo nebo šnek i méně kvalifikovanému pracovníkovi. CNC ševingy se objevily mezi lety 1997 a 2000, zpřesnily nahrubovaná kola i díky dokonalejšímu měření. V této době se zavedla technologie suchého obrábění ozubení a došlo ke konstrukčním změnám, které zajišťovaly odvod horkých třísek z pracovního prostoru hrubovacích strojů. Tlakovým vzduchem se ofukuje a chladí pracovní prostor. Ofukování nahradilo chlazení olejem, který se používal při řezu nástroje s obrobkem. To přispělo ke snížení exhalací (odpadů), které vznikaly ze spalovaných olejů. Navířila se, ale hluchnost. Další vývoj přišel v období 2002 až 2005, kdy se objevily vysoce výkonné nástroje pro hrubování kol v hromadné výrobě. HSS frézy měly vysokou produktivitu, ale s nástroji odvalovacími celokarbidovými a povlakovanými frézami se životnost nástrojů zdvojnásobila. To přineslo velké úspory a tím došlo ke snížení cen výrobků. Tyto nástroje umožňují tvrdé obrábění předhrubovaných zakalených kol. Vybavení stroje musí obsahovat odměřování vzájemné polohy vyhrubovaného kola a nástroje.

Obráběcí stroje na ozubení se vyznačují schopností dlouhodobě udržet přesnost výroby ozubených kol. Důležité je udržení teplotní stabilizace celého stroje a chlazení zdrojů tepla. Trvale chlazeny jsou stojany a lože strojů. Největším výrobcem ozubárenských strojů je americká firma Gleason. Používá svůj vlastní systém výroby kuželových kol. Stroje Gleason mají konstrukci s velmi tuhými monolitickými stojany, které jsou konstruované tak, aby se tříska nedostala do styku s konstrukcí stroje a byla rychle přemístěna mimo stroj.

Odvalovací frézka Phoenix 280C (obr.8) má o 20 až 35% vyšší produktivitu než srovnatelné stroje. Dají se sní měřit sondou kola přímo na stroji. Má zrychlené upínání obrobku i nástroje a speciální vřeteno pro srážení hran zubů. Obsahuje vestavěnou diagnostiku stavu stroje proti předchozím

poruchám. Na otočném suportu je umístěno vřeteno. To dovoluje nastavit minimální vyložení nástrojového a obrobkového vřetena a tím zaručuje nejvyšší možnou tuhost. Tlumení vibrací a termostabilita se řeší pomocí polymerbetonového stojanu. Použití k hromadné výrobě kol do průměru 280 mm technologií suchého obrábění. Nástrojový i obrobkový pohon vřetena je přímý. Výhodou je automatická výměna obrobku a nástroje.



Obr.9 Gleason Phoenix 280C odvalovací frézka na kuželová kola. Nahoře je automatické upínání obrobku [14]

ZÁVĚR

V této práci se popisují jednotlivé metody výroby kuželových ozubených kol pro obrábění a tváření. Kuželová ozubená kola s přímými a šikmými zuby mají horší vlastnosti oproti kolům se zuby zakřivenými. Pro více namáhaná kola se ve větší míře používají zuby zakřivené.

Nástroje na výrobu přímého a šikmého ozubení jsou totožné pouze u šikmého ozubení je nástroj vůči obrobku (nebo naopak) nakloněn o daný úhel naklonění ozubení. Šikmé ozubení má oproti přímému ozubení klidnější chod a může přenášet vyšší výkony. Zakřivené zuby využívají menších rozměrů a zároveň s nimi lze přenášet velké výkony. Zakřivení ozubení má za následek používání složitějších nástrojů. K výrobě zakřivených zubů se nejčastěji používají odvalovací metody. Tyto metody jsou rychlé a přesné. Výroba přímých zubů dělicím způsobem je méně přesná než u odvalovacích metod se zakřivenými zuby. Výroba ozubení se převážně obrábí. Tváření se používá u hromadné výroby. Musí se zajistit rentabilita a produktivita. Přesnost tvářených kuželových ozubených kol je horší řádově v desetinách milimetru. U obráběných kuželových ozubených kol se přesnost pohybuje v setinách milimetru. Nevýhodou u tváření ozubených kol za tepla jsou tepelné dilatace (smrštění) a horší jakost povrchu. Výroba zakřivených zubů se nedá vyrábět ve větších seriích pro přesné kování. Tyto metody tváření jsou stále ve vývoji. Výhodou tvářeného ozubení jsou neporušená vlákna, která sledují tvar zubu a minimální odpad oproti obráběným.

V hromadné výrobě je snaha docílit především zvyšování produktivity práce při neustálém snižování vlastních výrobních nákladů. Záleží však na finančních možnostech firmy, a na tom jak je firma orientována, zda vyrábí malosériově až kusově nebo hromadně.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1 POSPÍŠIL, Bohumil. Přesné kování kuželových kol. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 80 s..
- 2 KOČMAN, K. – PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. 271 s., ISBN 80-214-3068-0.
- 3 Klepal V. – Bureš J.,P. Kuželová ozubená kola s paloidními zuby Klingenberg. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury Praha: 1961. 122 s..
- 4 Kuželové ozubení s přímými, šikmými a zakřivenými zuby, [online] poslední aktualizace 10.1. 2010. Dostupné na
< <http://www.mitcalc.com/doc/gear2/help/cz/gear2txt.htm> >
- 5 TOS ZNOJMO, [online]. Poslední aktualizace 4.5.2010. Dostupné na:
< <http://www.tos-znojmo.cz/> >
- 6 WAPEDIA, Gear, [online]. Poslední aktualizace 11.5.2010
Dostupné na:
< http://wapedia.mobi/cs/Ozuben%C3%AD_%28technika%29 >
- 7 KLINGELNBERG, [online]. Poslední aktualizace prosinec.2007.
Dostupné na: < <http://www.klingelberg.com> >
- 8 GLEASON, [online]. Poslední aktualizace 2006. Dostupné na:
< <http://www.gleason.com/> >
- 9 Ozubená kola, [online]. Dostupné na:
< http://cs.wikipedia.org/wiki/Ozuben%C3%A9_kolo >
- 10 ARROW GEAR COMPANY, [online]. poslední aktualizace 2008.
Dostupné na: < <http://www.arrowgear.com/> >
- 11 VUT BRNO, Studijní materiály a opory, [online]. poslední aktualizace 2008. Dostupné na: < <http://www.fme.vutbr.cz/> >
- 12 Převody ozubenými koly, přednáška 1. [online]. Ústav konstruování FSI VUT Brno, 2007, [cit. 2008-04-26]. Dostupné na: < <http://www.uk.fme.vutbr.cz> >.
- 13 DOSTÁL F.- HORÁK V, Technologie obrábění 1. část. 2. vyd. Brno: Vojenská akademie Antonína Zápotockého, 1960. 240s..
- 14 BACH P. – HOVORKA J. – SMOLÍK J., Stroje na ozubení, aktualizace 2009, Dostupné na:
http://www.czspos.cz/akce/20100225.emo2009/06_stroje_na_ozubeni.pdf
- 15 PÍŠKA M. – ZEMČÍK O., Speciální technologie obrábění, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 246 s., ISBN 978-80-214-4025-8.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
b	mm	Šířka zubu
c_a	mm	Hlavová vůle
d_{aiw}	mm	Vnitřní hlavový průměr frézy
d_m	mm	Střední průměr kola
d_{iw}	mm	Vnitřní roztečný průměr frézy
g	mm	Hodnota bezpečnostní vzdálenosti
h_a	mm	Výška hlavy zubu
h_f	mm	Výška paty zubu
h'	mm	Profilové posunutí ve středu šířky ozubení
l_w	mm	Frézovací úsek kuželového kola
i		Převodový poměr
m_n		Modul normální
m_t		Modul čelní
m_w		Modul nástroje
t_n	mm	Rozteč normální
t_t	mm	Rozteč čelní
t_b	mm	Rozteč základní
t_m	mm	Rozteč střední
v	$m \cdot s^{-1}$	Obvodová rychlost
z		Počet zubů
z_d		Počet zubů základního kola
z_n		Počet zubů porovnávacího kola
x	mm	Hodnota profilového posunutí
A	mm	Montážní vzdálenost
D_a	mm	Průměr hlavové kružnice kola
D_{af}	mm	Vnitřní hlavový průměr kola
R_b	mm	Poloměr základní kružnice základního kola
R_d	mm	Délka površky roztečného kužele
R_{di}	mm	Vnitřní poloměr základního kola
x_m	mm	Posunutí profilu ve středu
α	°	Úhel záběru
β	°	Úhel sklonu zubu
δ	°	Úhel roztečného kužele
δ_α	°	Výrobní úhel hlavového kužele
Σ	°	Úhel os soukolí kuželových kol
ω	°	Úhlová korekce
λ	°	Úhel vychýlení frézovací hlavy

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Heidenhain TNC 410
Příloha 2 Vertikální obráběcí centrum MCFV 2080
Příloha 3 Frézovací stroj Klingenberg
Příloha 4 Linka na kování ozubených kol
Příloha 5 Náprava k tatře
Příloha 6 Koncept nápravy

Příloha 1

6.2 Základy k dráhovým funkcím

Zadání více než tří souřadnic (není u TNC 410)

TNC může současně řídit až 5 os. Při obrábění s 5 osami se současně pohybují například 3 lineární a 2 rotační osy.

Program pro takovéto obrábění běžně generují CAD-systémy a na stroji nemůže být vytvořen.

Příklad:

N50 G01 G40 X+20 Y+10 Z+2 A+15 C+6 F100 M3 *



Pohyb více jak 3 os není v TNC graficky podporován.

Kruhy a kruhové oblouky

Při kruhových pohybech pojíždí TNC dvěma strojními osami současně. Nástroj se pohybuje po kruhové dráze relativně k obrobku. Pro kruhové pohyby můžete zadat střed kruhu.

S dráhovými funkcemi pro kruhové oblouky naprogramujete kruhy v hlavních rovinách: hlavní rovina je definována při vyvolání nástroje definicí osy nástroje:

Osa vřetena	Hlavní rovina	Střed kruhu
Z (G17)	XY, též UV, XV, UY	IJ
Y (G18)	ZX, též WU, ZU, WX	KI
X (G19)	YZ, též VW, YW, VZ	JK



Kruhy, které neleží rovnoběžně s hlavní rovinou, naprogramujete pomocí funkce „Naklápění roviny obrábění“ (viz kapitola „8.8 Naklápění roviny obrábění“) nebo s pomocí Q-parametrů (viz kapitola 10).

Smysl otáčení při kruhových pohybech

Pro kruhové pohyby bez tangenciálního připojení na jiné prvky obrysu zadejte smysl otáčení:

Otáčení ve směru hodin: G02/G12

Otáčení proti směru hodin: G03/G13

