



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Výroba kuželového ozubení

Bevel gear production

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Studijní obor: bez oboru

Vedoucí práce: Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Vlastimil Liška

Praha 2016

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje výrobě kuželového ozubení. Zabývá se typy kuželových ozubených kol. Dále práce stručně popisuje jednotlivé výrobní metody kuželových ozubených kol. V poslední kapitole je možné nalézt vybrané metody kontroly kuželových ozubených kol, podle normy TNI ISO/TR 10064-6 a normy ČSN 01 4671.

Klíčová slova

Kuželové ozubení, Gleason, Oerlikon, Klingelberg, kuželové přímé ozubení, kuželové šikmé ozubení, kuželové zakřivené ozubení, metrologie.

ABSTRACT

This Bachelor thesis focuses on bevel gear production. There are types of bevel gears. This thesis describes methods of bevel gear production. The last chapter describes methods of bevel gear measurement according to TNI/ISO 10064-6 and ČSN 01 4671.

KEY WORDS

Bevel gears, Gleason, Oerlikon, Klingelberg, straight bevel gear, helical bevel gear, curved bevel gear, bevel gear measurement

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LIŠKA, V. *Výroba kuželového ozubení*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2016. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba kuželového ozubení vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Praze, dne: 24. 6. 2016

.....
Vlastimil Liška

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Pavlovi Novákovi, Ph.D. za trpělivost, cenné připomínky, rady a ochotu, kterou mi při vypracování bakalářské práce věnoval a také Ing. Liborovi Beránkovi, Ph.D. za ochotnou radu, kde hledat informace k poslední kapitole.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých symbolů	7
Úvod.....	8
1. Typy kuželových ozubených kol	9
1.1. Rozdělení podle tvaru věnce	9
1.1.1. Tvar I.....	9
1.1.2. Tvar II.....	10
1.1.3. Tvar III	10
1.2. Rozdělení podle tvaru řídicí křivky zubu.....	11
1.2.1. Kuželová kola s přímými zuby	11
1.2.2. Kuželová kola se šikmými zuby.....	11
1.2.3. Kuželová kola s kruhovými zuby	12
1.2.4. Kuželová kola s kruhovými zuby – Zerol	12
1.2.5. Kuželová kola s paloidními zuby	13
1.2.6. Kuželová kola s evolventními zuby.....	13
2. Výrobní metody kuželových ozubených kol	15
2.1. Protahování	15
2.2. Frézování nožovými hlavami	16
2.3. Frézování dělicím způsobem	17
2.4. Obrázení ozubení podle šablony	18
2.5. Obrázení dvěma noži	19
2.6. Metoda Oerlikon	20
2.7. Metoda Gleason	21
2.8. Metoda Klingelnberg	22
2.9. Víceosé obrábění	24
2.9.1. Pětiosé frézování kuželových ozubených kol	25
3. Metody kontroly kuželových ozubených kol	26
3.1. Měření rozteče	26
3.1.1. Měření rozteče indexovací metodou.....	26
3.1.2. Měření rozteče srovnávací metodou	27
3.2. Měření tloušťky zubu zuboměrem	27
3.3. Souřadnicové měřicí stroje (CMM-Coordinate measuring machine).....	28
3.4. Kontrola pásma záběru	29
3.5. Kontrola jednobokým odvalem	30
3.6. Kontrola dvoubokým odvalem	31
3.7. Měření radiálního házení kuželového ozubeného kola	32
4. Závěr.....	33
5. Seznam použitých zdrojů	34
6. Seznam obrázků	37
7. Seznam tabulek	39

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
D_a	[mm]	průměr hlavové kružnice kola
D_b	[mm]	průměr patní kružnice kola
F_i'	[μm]	kinetická úchylka jednobokého odvalu
F_i''	[μm]	kinetická úchylka dvoubokého odvalu
F_r	[μm]	obvodové házení ozubení
L_e	[mm]	kuželová vzdálenost vnější
L_i	[mm]	kuželová vzdálenost vnitřní
L_m	[mm]	kuželová vzdálenost střední
b	[mm]	šířka ozubení
d_e	[mm]	průměr patní kružnice
d_i	[mm]	průměr hlavové kružnice
d_m	[mm]	průměr roztečné kružnice
f_i'	[μm]	místní kinematická úchylka kola jednobokého odvalu
f_i''	[μm]	místní kinematická úchylka kola dvoubokého odvalu
f_r	[mm]	radiální posuv
f_z	[mm]	posuv na zub
h	[mm]	výška hlavy zubu
h_k	[mm]	konstantní výška zubu
m_{mn}	[mm]	střední normální modul
n_o	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	rotace obráběného kola
s_k	[mm]	tloušťka zubu
v_c	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	řezná rychlost
v_f	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	posuvová rychlost
v_o	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	posuvný pohyb obrobku
z	[-]	počet zubů
α_{mn}	[$^\circ$]	úhel záběru střední normální
α_t	[$^\circ$]	úhel záběru čelní
β_m	[$^\circ$]	střední úhel sklonu boční křivky zubu
δ	[$^\circ$]	úhel roztečného kužele
δ_a	[$^\circ$]	úhel hlavového kužele pastorku
δ_f	[$^\circ$]	úhel patního kužele kola

Úvod

V dnešní době se setkáváme skoro ve všech oborech s tím, že se něco pohybuje a otáčí - jsou ve hře kola a ozubení. Ozubená kola hrají ústřední roli především v automobilovém průmyslu, ve strojírenství, při výrobě pohonů, ale také v oboru průmyslových převodovek.

Ozubené převody pracují na principu zazubení s bezprostředním dotykem spoluzabírajících členů. Ozubené kolo je strojní součást a základním konstrukčním prvkem ozubených převodů. Ozubené kolo se skládá z těla kola a z ozubeného věnce. Ozubené převody představují nejvýznamnější a nejrozšířenější druh převodových mechanismů, konstrukčně i technologicky propracovaných v mnoha variantách.

Kuželová ozubená kola se používají při přenosu rotačního pohybu a momentu různoběžných os hřídelí. Nejsou ale typem ozubených kol, která patří mezi nejpoužívanější ozubená kola, ale využívají se tam, kde je potřeba dosáhnout větších nároků na ozubení. Protože je konstrukce a technologičnost kuželových ozubených kol složitější, je potřeba používat při výrobě speciální stroje a nástroje, které se mohou v důsledku vyšších nákladů projevit na ceně výrobku.

Tato práce se zabývá popisem typů kuželových ozubených kol, následně jakou metodou je možné je vyrobit a obsahuje stručný přehled, jakými metodami je ozubené kuželové kolo kontrolováno.

1. Typy kuželových ozubených kol

1.1. Rozdělení podle tvaru věnce

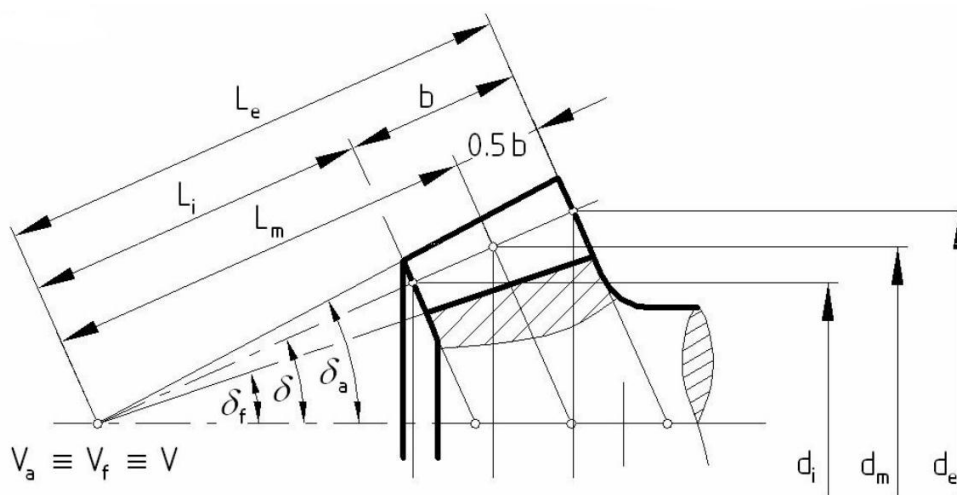
Geometrický základ kuželového soukolí tvoří dvojice komolých kuželů, vymezená na sledovaných roztečných plochách dvěma páry příčných řezů. Ozubený věnec je radiálně vymezen kuželem patním a kuželem hlavovým. Podle polohy kuželů vůči kuželu roztečnému, se rozlišují tři základní tvary věnce. [3]



Obrázek 1: Tvary věnce I, II, III [12]

1.1.1. Tvar I

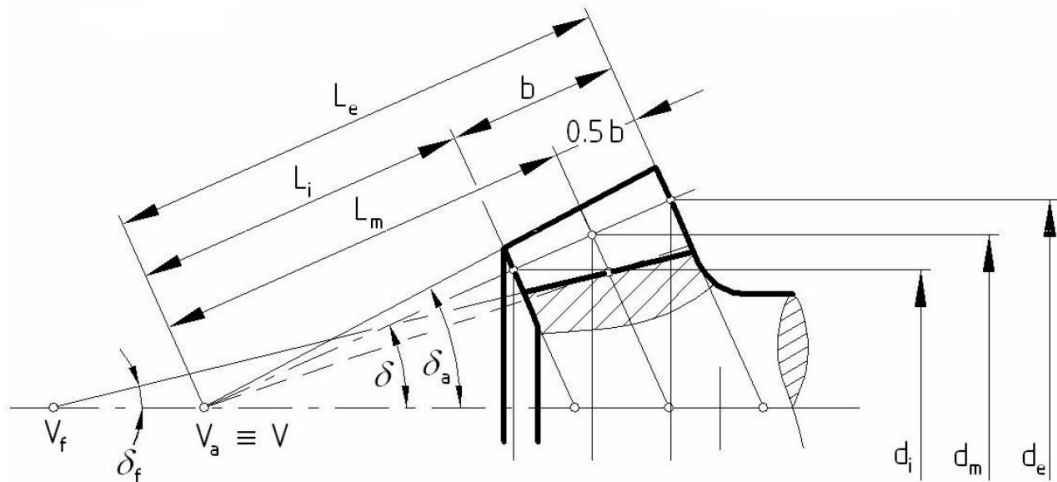
Charakteristický znak pro tvar I je, že kuželová plocha roztečná, patní a v klasickém provedení i plocha hlavová, mají společný vrchol, tj. $V_a \equiv V_f \equiv V$. Příčné rozměry zubů narůstají lineárně se vzdáleností od vrcholu. Tento tvar se nejvíce používá u kol se zuby přímými a šikmými, a také u kol se zuby kruhově zakřivenými při $z \leq 30$. [2]



Obrázek 2: Kuželového kola tvaru I [13]

1.1.2. Tvar II

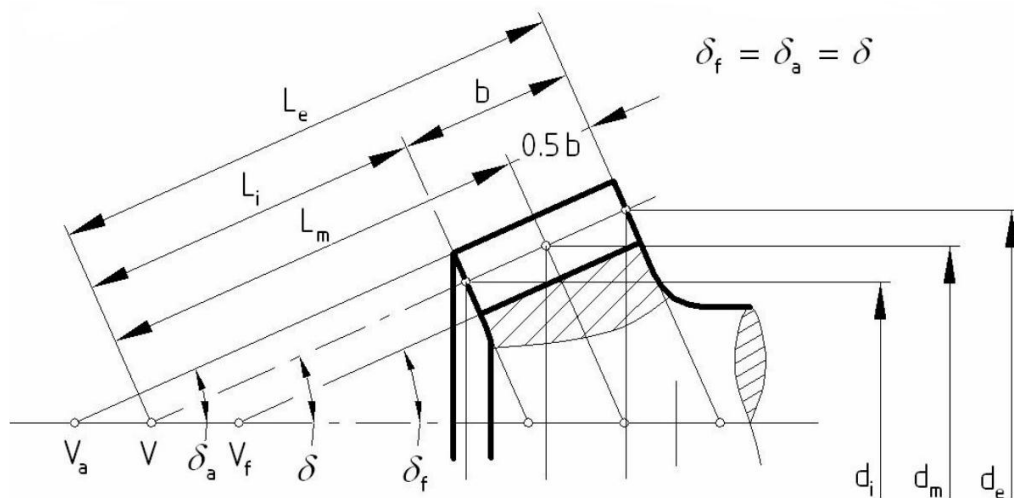
Vrchol patního kužele je posunut tak, aby šířka dna zubové mezery byla konstantní a tloušťka zubu na roztečném kuželu narůstala úměrně od vrcholu. Tento tvar je základní pro kola se zuby kruhově zakřivenými, kde výrobní metoda umožňuje vyrábět jedním nožem současně dva boky zubů. [2]



Obrázek 3: Kuželového kola tvaru II. [13]

1.1.3. Tvar III

Tento tvar je typický konstantní výškou zubu. Površky všech kuželů v osovém řezu jsou rovnoběžné, tj. $\delta_f = \delta_a = \delta_f$. Jedná se o typický tvar u kol paloidních, eloidních a u kol se zuby kruhově zakřivenými, kdy $z \geq 100$. [2]

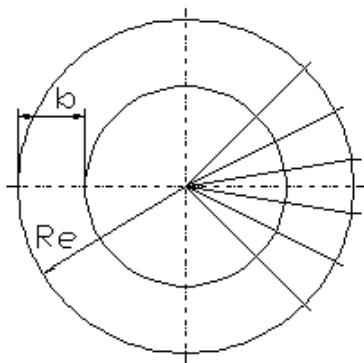


Obrázek 4: Kuželového kola tvaru III, [13]

1.2. Rozdělení podle tvaru řídicí křivky zubu

1.2.1. Kuželová kola s přímými zuby

Existují kola, která se používají pro méně náročné převody, a kde nejsou kladeny nároky na hlučnost a vysoké obvodové rychlosti. Řídící křivka je tvořena přímkou, která prochází středem kola. Výška zubů je proměnlivá. Úhel záběru $\alpha_t = 20^\circ, 15^\circ, 14.5^\circ, 17.5^\circ$, úhel sklonu $\beta = \beta_m = 0^\circ$. [3]



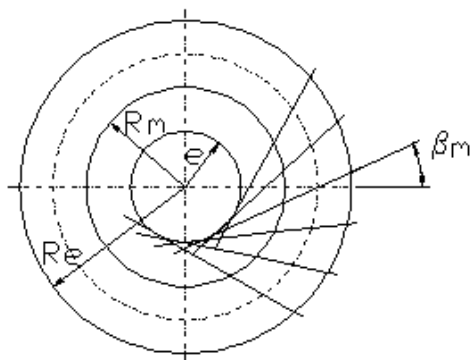
Obrázek 5: Přímé ozubení [14]



Obrázek 6: Ozubené kolo kuželové [15]

1.2.2. Kuželová kola se šikmými zuby

Řídící křivka je tvořena přímkou, která neprochází středem, ale dotýká se pomocné kružnice o poloměru e . Úhel profilu zubu ozubení lze vyrobit na obráběcích strojích Heidenreich & Harbeck. Úhel profilu zubu $\alpha_t = 20^\circ$ nebo 15° , úhel sklonu $\beta_m = 20^\circ$ až 45° . Věnců kol se vyrábí podle tvaru I. [3]



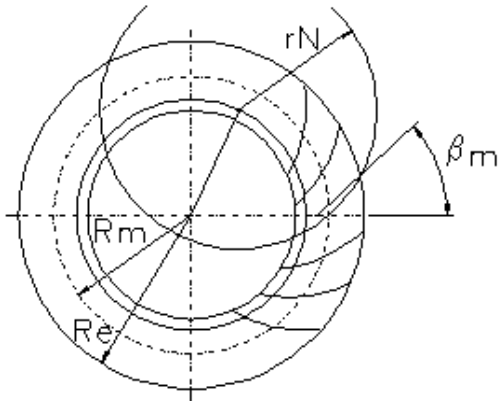
Obrázek 7: Šikmé ozubení [14]



Obrázek 8: Kolo se šikmými zuby [16]

1.2.3. Kuželová kola s kruhovými zuby

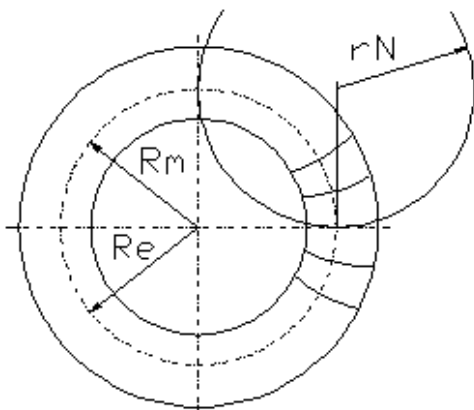
Řídící křivka je tvořena kružnicí se středem na pomocné kružnici. Úhel profilu zubu $\alpha_t = 14,5^\circ; 17,5^\circ$ a 20° a úhel sklonu $\beta_m = 30^\circ$ až 40° . Používají se všechny tři tvary věnců. Tvar I pro $z < 30$, Tvar II pro $z = 30$ až 100 a tvar III pro $z > 100$. Kruhové zuby se vyrábí na speciálních strojích od firmy Gleason pomocí frézovacích hlav. [3]



Obrázek 9: Kruhové ozubení [14] Obrázek 10: Soukolí s kruhovými zuby [17]

1.2.4. Kuželová kola s kruhovými zuby – Zerol

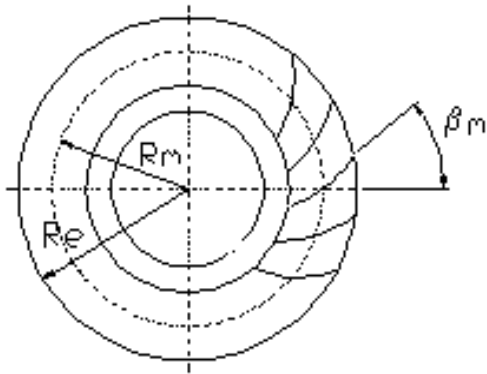
Pro kola s kruhovými zuby – Zerol je charakteristický úhel sklonu $\beta_m = 0^\circ$. Řídící křivka je tvořena kružnicí a boky zubů kola jsou kuželové plochy. Kola s kruhovými zuby se vyrábějí na speciálních strojích Gleason pomocí frézovacích hlav, nejčastěji se vsazenými noži. [3]



Obrázek 11: Kruhové ozubení – Zerol [14] Obrázek 12: Kruhové ozubení – Zerol [18]

1.2.5. Kuželová kola s paloidními zuby

Řídící křivka je tvořena prodlouženou evolventou. Úhel profilu $\alpha_t = 20^\circ$ nebo $17,5^\circ$. Úhel sklonu $\beta_m = 30^\circ$ až 45° . Tvar věnce je podle typu III se zuby o stálé výšce. Kola s paloidními zuby se vyrábí na strojích od firmy Klingelberg za pomoci kuželové odvalovací frézy. [3]



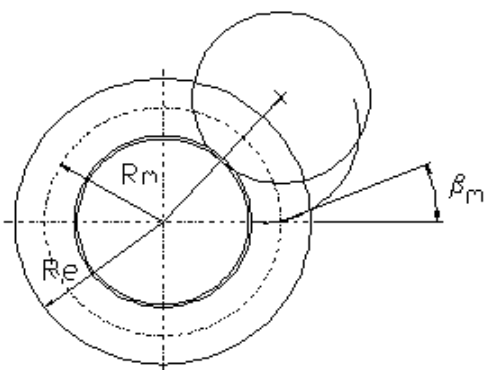
Obrázek 13: Paloidní ozubení [14]



Obrázek 14: Kolo s paloid. zuby [19]

1.2.6. Kuželová kola s evolventními zuby

Řídící křivka je část prodloužené epicykloidy. Úhel profilu zubu $\alpha_t = 17,5^\circ$ a úhel sklonu $\beta_m = 30^\circ$ až 45° . Typickým tvarem věnce je typ III. Ozubení se vyrábí na strojích od firmy Oerlikon – Spiromatic za pomoci kotoučové frézovací hlavy se vsazenými noži. [3]



Obrázek 15: Evolventní ozubení [14] Obrázek 16: Kolo s evolventním ozubením [20]

Tabulka 1: Rozdělení kuželového ozubení [5]

Řídící křivka	Název	Výška zubu	Rozměry, poznámky
1. radiální přímka	přímé ozubení	proměnlivá	m_{mn} - normalizovaný, $\alpha_{mn} = 20^\circ, 15^\circ, 14.5^\circ,$ $17.5^\circ,$ $\beta = \beta_m = 0^\circ$
2. Šikmá přímka	šikmé ozubení	proměnlivá	m_{mn} - normalizovaný, $\alpha_{mn} = 20^\circ, 15^\circ, 14.5^\circ,$ $17.5^\circ,$ $\beta = \beta_m = 20^\circ - 40^\circ$
3. Kruhový oblouk	Gleason (USA)	proměnlivá	m_{mn} - normalizovaný, $\alpha_{mn} = 20^\circ, 17.5^\circ, 14.5^\circ$ $\beta_m = 30^\circ - 45^\circ$
	Gleason-Zerol (USA)		m_{mn} - normalizovaný, $\alpha_{mn} = 20^\circ, 17.5^\circ, 14.5^\circ,$ $\beta_m = 0^\circ$
	Modul-Kurvex (Německo)	konstantní	m_{mn} - normalizovaný, $\alpha_{mn} = 20^\circ, 17.5^\circ, 14.5^\circ$ $\beta_m = 25^\circ - 45^\circ$
4. Evolventa (paloida)	paloidní ozubení Klingelberg (Německo)	konstantní	m_{mn} - normalizovaný $\alpha_{mn} = 20^\circ, 17.5^\circ$ $\beta_m = 30^\circ - 38^\circ$
5. Epicykloida	eloidní ozubení - Oerlikon- Spiromatic	konstantní	m_{mn} - normalizovaný, $\alpha_{mn} = 17.5^\circ$ $\beta_m = 30^\circ - 50^\circ$
	cyklopaloidní ozubení Klingelberg (Německo)	konstantní	m_{mn} - normalizovaný $\alpha_{mn} = 20^\circ, 17.5^\circ,$ $\beta_m = 0^\circ - 45^\circ$

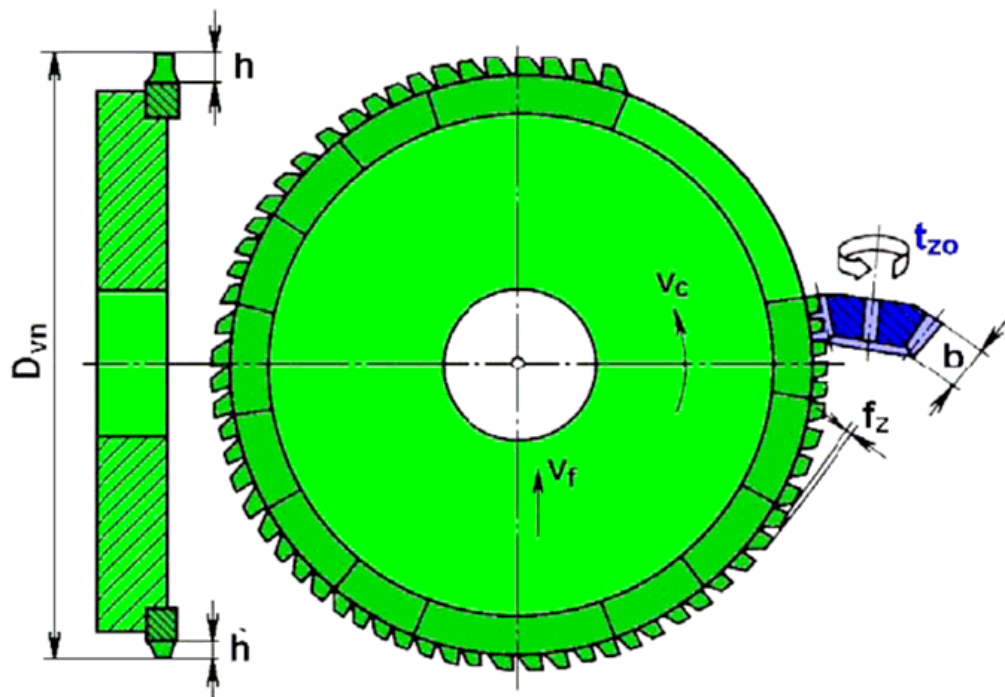
2. Výrobní metody kuželových ozubených kol

Obrábění kuželových ozubených kol se dělí podle tvaru zubů na obrábění kol s přímými a šikmými zuby, a na obrábění kol se zuby zakřivenými. [1]

2.1. Protahování

Protahování je velmi produktivní způsob obrábění kuželových kol s přímými zuby. Tato metoda se uplatňuje ve velkosériové a hromadné výrobě (obr. 17). Ozubení se vyrábí dělicím způsobem. Nástrojem je kotoučový protahovací trn o průměru 450 až 600 mm, který má po obvodu až 20 sad zubů, které jsou mechanicky upevněny, a jejichž profil se po obvodu nástroje postupně zvětšuje.

Nástroj koná rotační pohyb a posouvá se podél zubu od nejmenšího profilu k největšímu. Obrobek je pootáčen o jednu zubovou mezeru pomocí dělicího přístroje. Obrobení jedné zubové mezery trvá 4 až 6 s. [1][6]

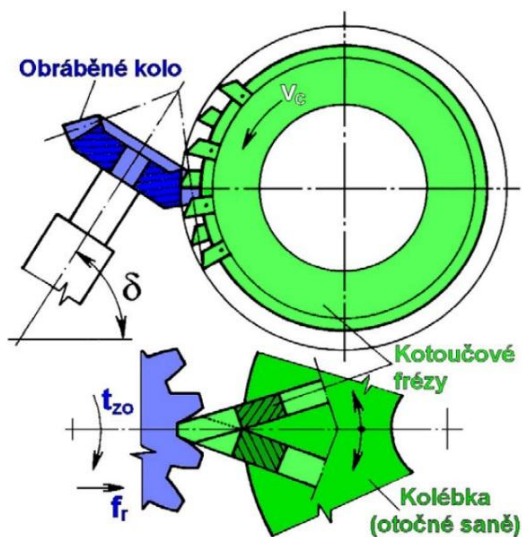


Obrázek 17: Protahování kuželového ozubeného kola [6]

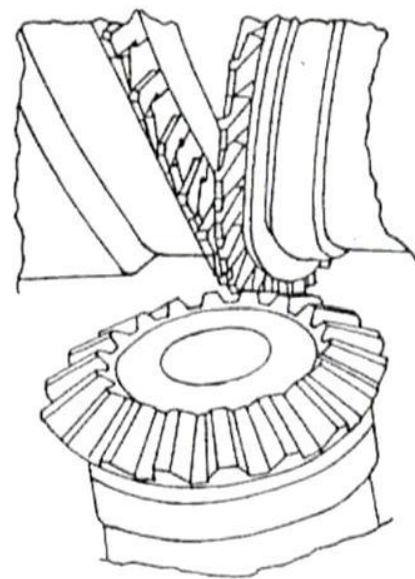
2.2. Frézování nožovými hlavami

Tato metoda je vhodná pro frézování kol malé šířky, kdy modul $m = 0,3$ až 10 mm. Kolo je frézováno dvěma kotoučovými nožovými hlavami (obr. 19). Metoda je 3x až 7x rychlejší než obrážení. Nástroje se při frézování překrývají v zubové mezeře (obr. 18). Zubová mezera je vyrobena zapichováním a odvalováním bez podélného posuvného pohybu frézovacích hlav. Otáčením obrobku a natáčením kolébky nebo odvalováním frézovací hlavy je zajištěno odvalovací pohybem.

Princip metody spočívá v odvalování vyráběného ozubení po plochém základním kole, jehož zuby jsou tvořeny vnějšími břity dvou frézovacích hlav. Ozubení je frézováno dělicím způsobem a obrobek vykonává radiální posuv na hloubku zubu a následně se frézuje bok zubu odvaelem. Tvar zubu je soudečkový, pata zubu a dno zubové mezery mají tvar kruhového oblouku. [1,2,6]



Obrázek 18: Schéma frézování ozubení kuželového kola pomocí dvou kotoučových nožových hlav [6]



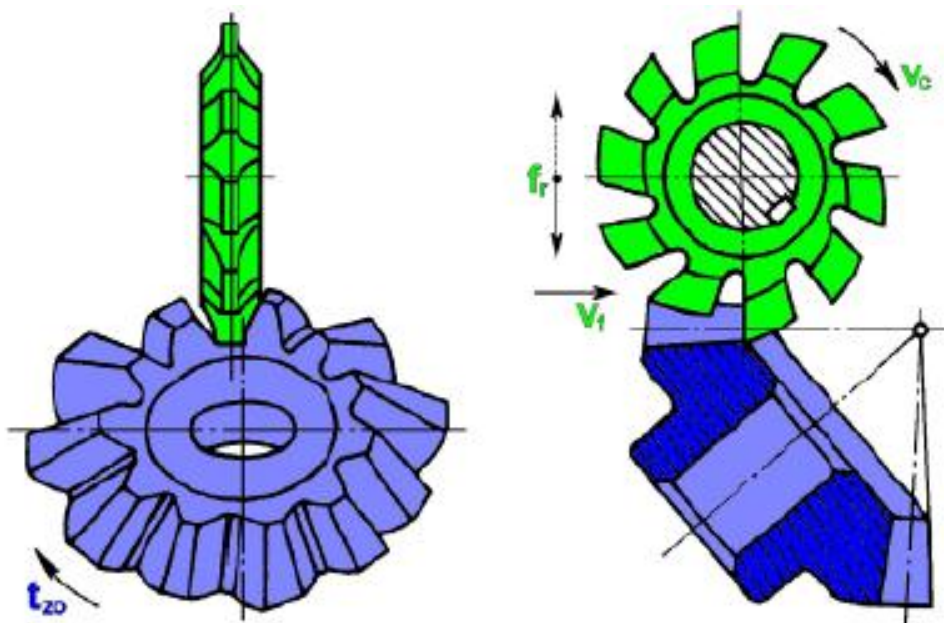
Obrázek 19: Frézování ozubení kuželového kola pomocí dvou kotoučových nožových hlav [4]

2.3. Frézování dělicím způsobem

Tato metoda je vhodná pro méně přesná kola a při výrobě velkých ozubených kol. Provádí se na univerzálních frézách dělicím způsobem. Princip této metody spočívá v tom, že po vyhrubování zubové mezery se postupně frézuje jeden a druhý bok zubové mezery při natočení frézovaného boku ve směru posuvného pohybu.

Kotoučovou frézou je možné vyrábět ozubená kola s přímými a šikmými zuby. Čepová fréza je používána pro výrobu ozubení s většími moduly, až do hodnoty $m = 50$ mm. Čepovou frézou je možné vyrábět i ozubení se šípovými a zakřivenými zuby. V tomto případě se obráběné kolo musí současně natáčet kolem své osy.

Nevýhodou této metody je, že tvarová fréza nedokáže vyrobit teoreticky správné kuželové ozubení, jelikož nástroj nedokáže lineárně zmenšovat modul ozubení směrem k vrcholu kužele obráběného kola. [1,2,6]



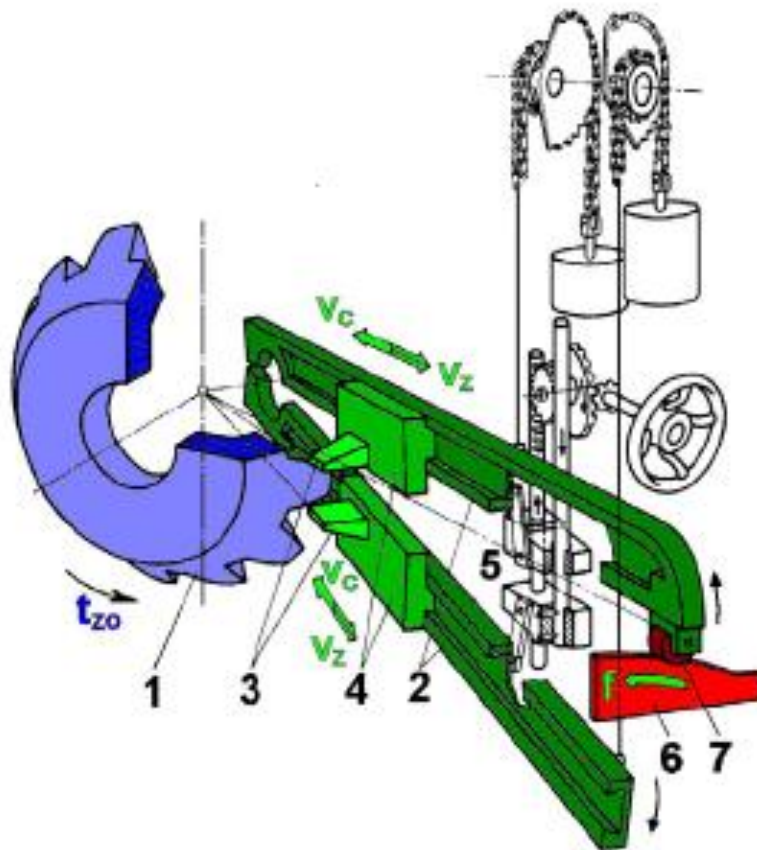
Obrázek 20: Schéma frézování ozubení kuželového kola kotoučovou tvarovou frézou [6]

2.4. Obrázení ozubení podle šablony

Metoda obrázení ozubení podle šablony se používá pro přesnější výrobu kol s většími moduly. Jedna šablona stačí pro stejný počet zubů kol s různými moduly.

Obráběné kolo se upíná na hřídel dělicího přístroje. Po vyrobení jednoho zubu se pootočí o jednu rozteč. Obrážecí nože, upevněné v nožových hlavách suportů, se přímočarým vratným pohybem (v_c - do řezu, v_z - zpětný pohyb) pohybují po vedení suportů a po každém dvojzdvihu se pomocí vačky posuvného zařízení posunou o hodnotu f . Polohu nástroje nutnou pro obrobení boku zubu, určuje kopírovací kladka, která je umístěná na konci vedení suportu, a odvaluje se po šabloně.

K výhodě této metody patří výroba přesného kuželového ozubení. Nevýhodou je nízká jakost povrchu obrobených zubů, protože nástroje obrábějí pouze svými špičkami. K další nevýhodě této metody patří malá produktivita. [6]



Obrázek 21: Kinematické schéma obrázení ozubení kuželového kola podle šablony. 1 – obráběné kolo, 2 – vedení suportů, 3 – obráběcí nože, 4 – nožové hlavy suportů, 5 – posuvové zařízení, 6 – šablona, 7 – kopírovací kladka [6]

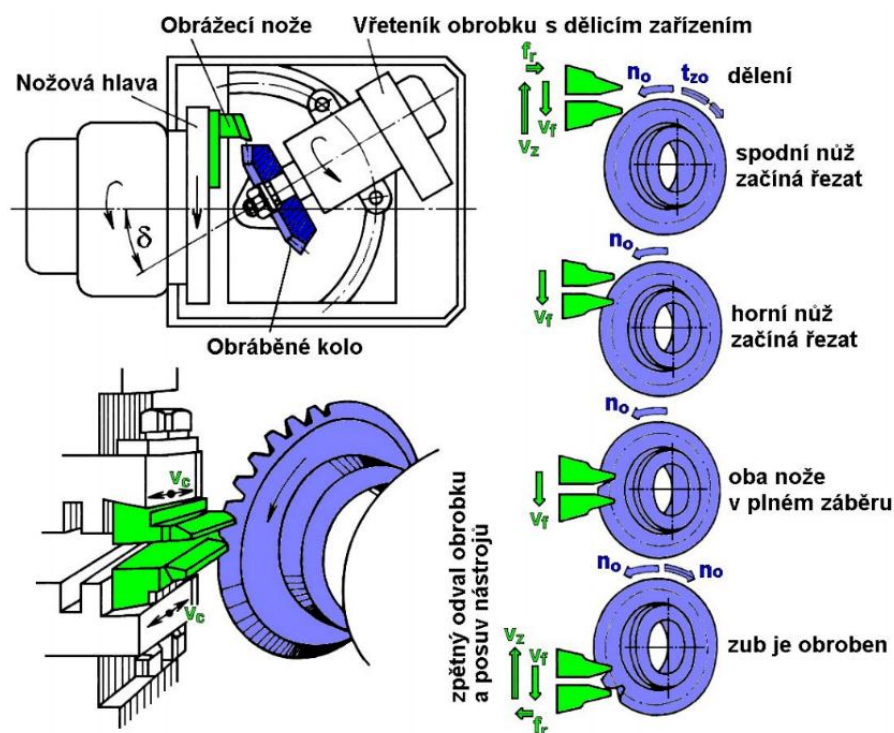
2.5. Obrázení dvěma noži

Při této metodě lze vyrobit ozubená kola do průměru 1200 mm a do hodnoty modulu $m = 20$ mm. Při jejím použití dochází k přesné výrobě evolventního tvaru zubu. Některé typy strojů jsou schopny vyrobit kuželová kola se šikmými zuby, které mají modifikovaný výškový a podélný profil.



Obrázek 22: Obrázení ozubení kuželového kola dvěma noži [9]

Princip je takový, že při obrázení dvěma noži dochází k výrobě boku zubu odvalem. Tvar nože je lichoběžníkového profilu. Nože jsou upnuté v otočné hlavě a konají řezný pohyb v_c ve směru povrchových přímk boků. Ostří nožů představuje zubovou mezeru pomyslného plochého základního kola, se kterým je obrázené kolo v záběru. Vyrobené boky zubů, které jsou ve tvaru evolventy, jsou obrázením vytvořeny jako obálka postupných poloh břitů nástrojů při záběru obráběného a základního kola. Jeden nůž obrábí jeden bok zubu. Po obrobení jednoho zubu se nožová hlava a obrobek vrátí do výchozí polohy, následně dělicí přístroj pootočí obrobek o jednu rozteč. [6]



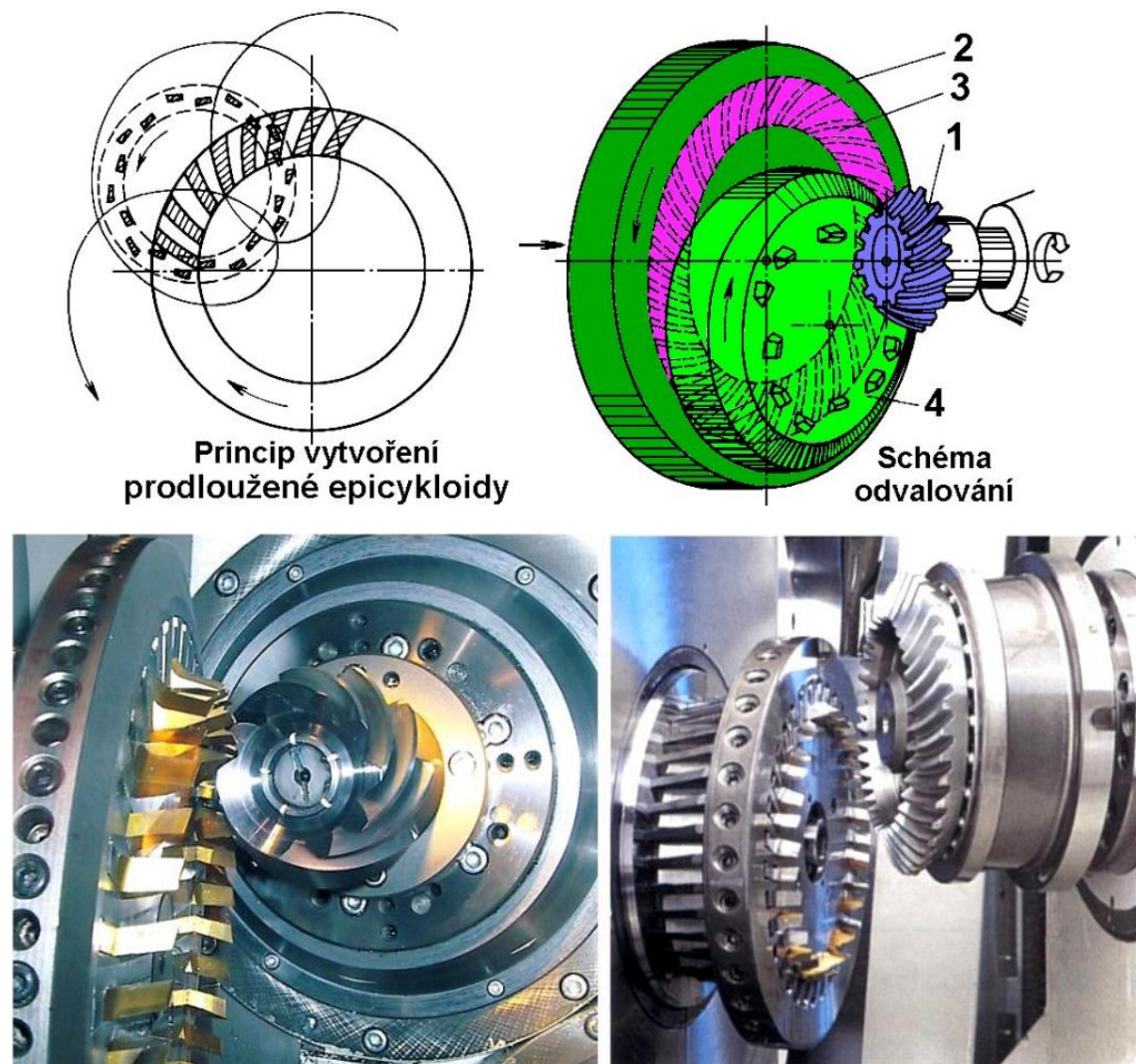
Obrázek 23: Schéma odvalovacího obrázení ozubení kuželového kola dvěma noži [6]

2.6. Metoda Oerlikon

Metoda Oerlikon se používá pro výrobu kuželových kol se zakřivenými zuby do průměru 640 mm a modulem 3 až 15mm.

Kuželová kola se vyrábí plynulým odvalovacím způsobem. Jedná se o odvalovací frézování za pomoci čelní nožové hlavy. Kuželová kola se vyrábí kombinací tří závislých pohybů. Závislé pohyby tvoří rotační pohyb nožové hlavy, natáčení obrobku, které je zároveň i dělicím pohybem a natáčení kolébky, na níž je nožová hlava výstředně uložena. Pro výrobu ozubení se používají speciální stroje Oerlikon. Pro výrobu je potřeba dvou strojů.

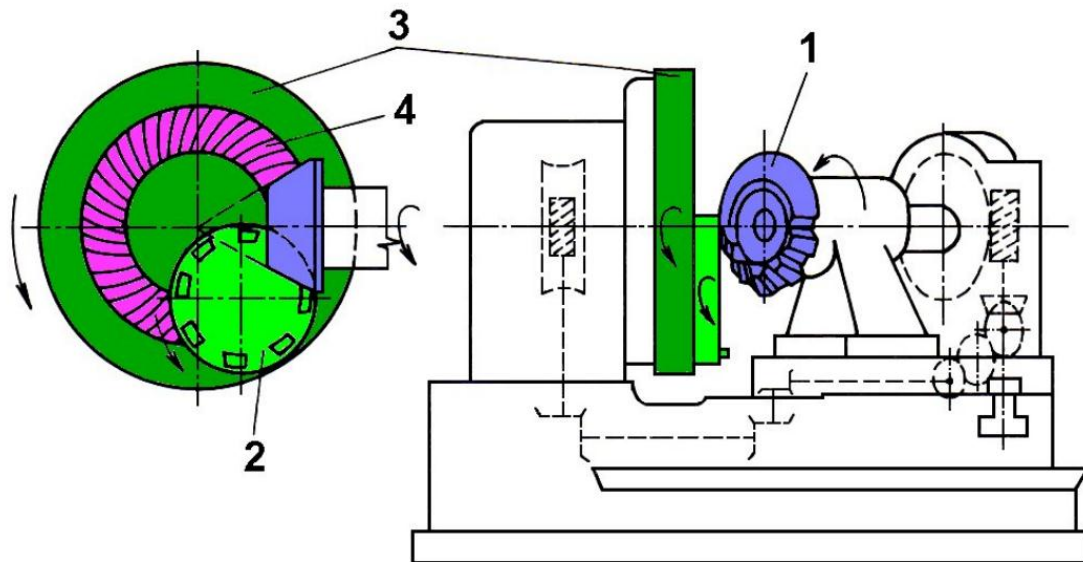
Na obr. 24 je možné pozorovat na čelní nožové hlavě jednotlivé břity vytvářející skupinu a spirálu. Nevýhoda této metody je, že vyrobené ozubení má horší vlastnosti než ozubení vyrobené pomocí metod Gleason a Klingelnberg, ale má velkou produktivitu.[1][4]



Obrázek 24: Frézování kuželových kol metodou Oerlikon [6]

2.7. Metoda Gleason

Způsob Gleason se používá pro frézování zakřivených zubů ve tvaru kružnice. Tato metoda je charakterizována jako odvalovací frézování kuželových kol dělicím způsobem za pomoci čelní nožové hlavy.



Obrázek 25: Schéma frézování ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby způsobem Gleason, 1 - obráběné kolo, 2 - nožová hlava, 3 - unášecí deska, 4 - pomyslné základní kolo [6]

Princip obrábění vyplývá z dvoubokého záběru pomyslného plochého základního kola s obráběným ozubeným kolem. Ploché kolo se skládá z unášecí desky, na které je upnutá nožová hlava. Nože upnuté v nožové hlavě mají lichoběžníkový tvar a jsou poskládány za sebou vnějším a vnitřním břitem. Řezná rychlost je určena rotací frézovací hlavy. Ostatní pracovní pohyby neovlivňují řeznou rychlost.

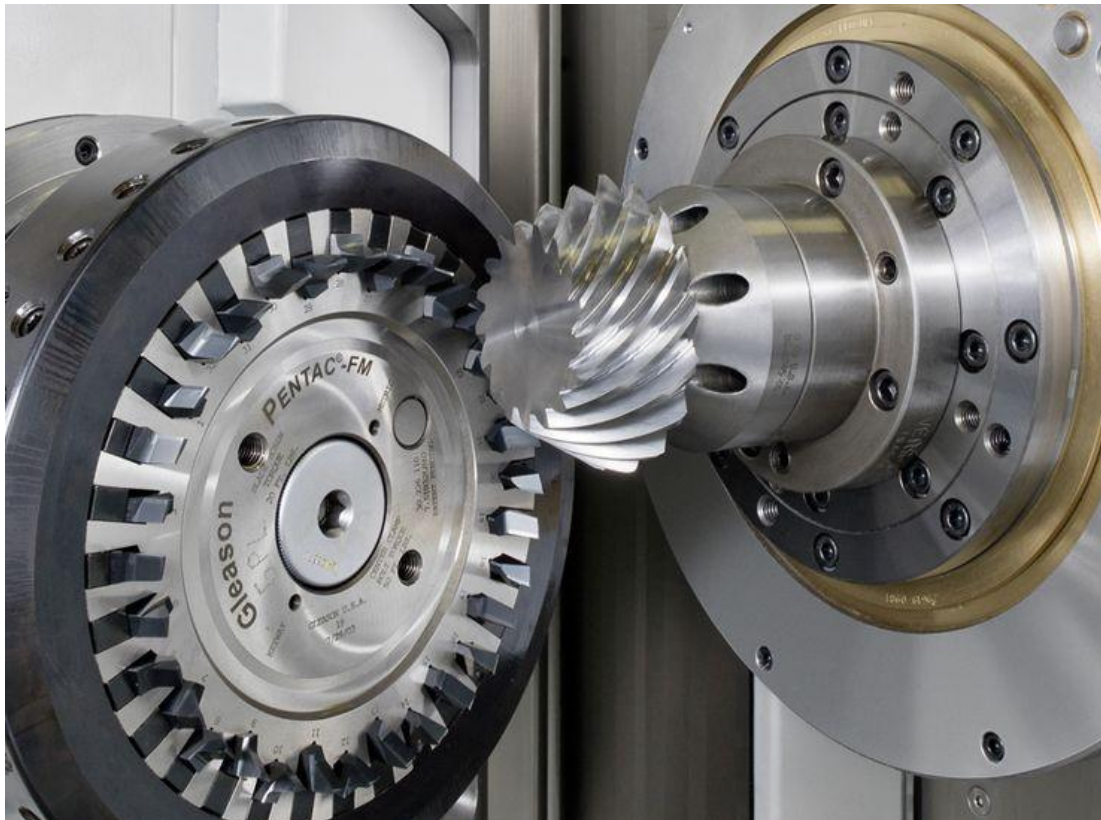
Na začátku práce se obrobek přisune radiálně na hloubku zubové mezery a zapnou se automaticky odvalovací pohyby. Břítý nástroje tvoří zuby základního kola, a proto obrobí vnější a vnitřní boky zubové mezery obráběného kola. Následně se odsune obrobek



Obrázek 26: Obráběcí stroj na výrobu kuželových kol s hypoidním ozubením [6]

od nástroje, změní se smysl otáčení unášecí desky, a dochází k odvalení do výchozí polohy, která je rozdílná o jednu rozteč. Tím se uskuteční dělení na další zub, zapne se přísuv a celý cyklus se opakuje, dokud se nevyrobí všechny zubové mezery ozubeného kuželového kola.

Kuželová kola se zakřivenými zuby se vyrábějí na strojích Gleason (obr. 26). Stroje pro výrobu kuželových kol s kruhovými zuby podle kružnice jsou schopny obrábět kola od průměru 5 až 800 mm a modulu $m = 0,5$ až 16mm. [1][4][6]

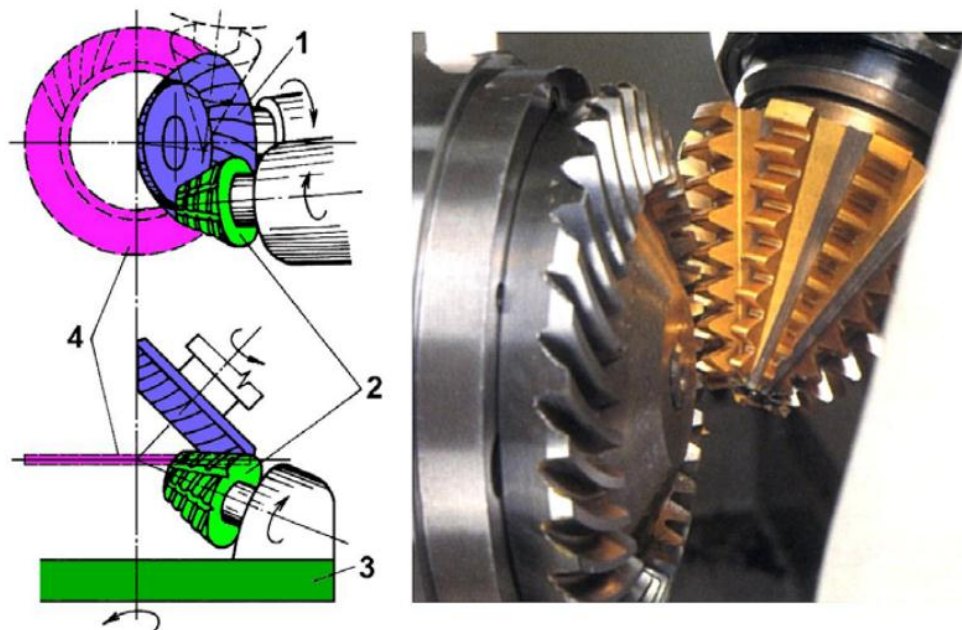


Obrázek 27: Obráběcí stroj Gleason Phoenix 280C [8]

2.8. Metoda Klingelnberg

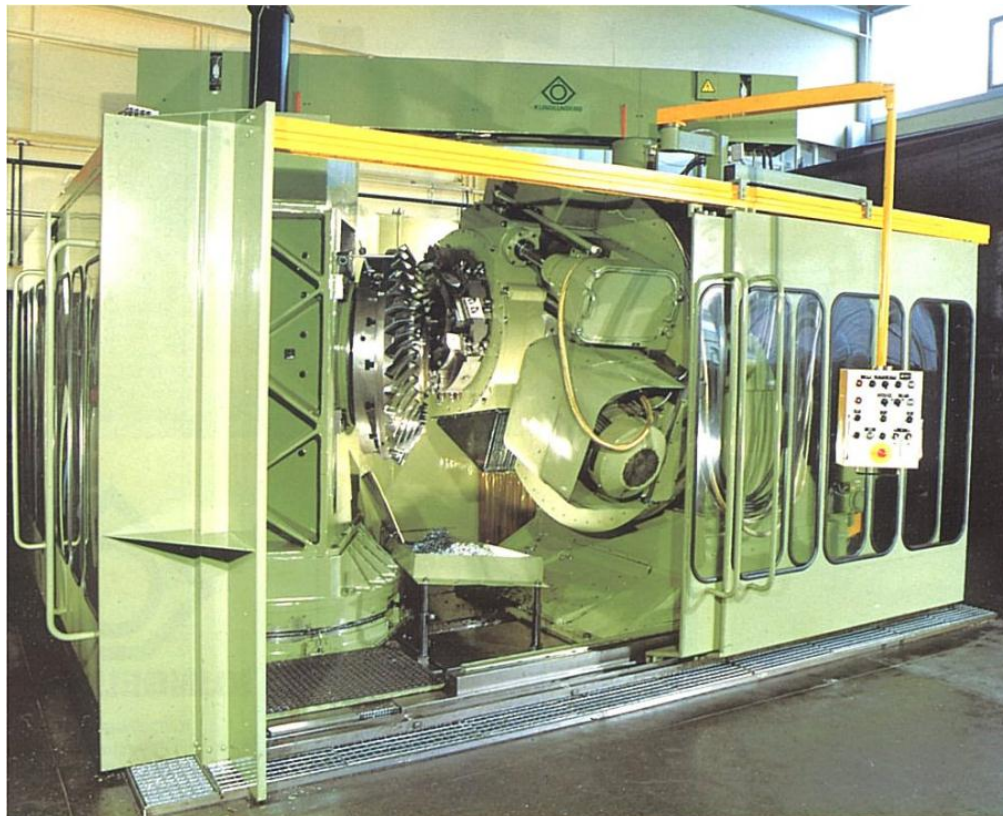
Metoda Klingelnberg se používá pro výrobu kuželových ozubených kol s paloidním ozubením. Výroba je tvořena plynulým odvalovacím frézovacím způsobem za pomoci kuželové frézy, která vytváří boky zubů. Podobně jako u metody Oerlikon je zubová mezera vyrobena kombinací tří závislých pohybů: natáčení obrobku, rotačního pohybu frézy a odvalovacího pohybu frézy na unášecí desce. Konstrukce nožové hlavy je odlišná od ostatních metod, neboť nožová hlava je dvoudílná a je uspořádaná tak, že vnější nože jsou v jedné části hlavy a vnitřní nože jsou v části druhé. Obě části mají možnost se vzájemně posouvat, čímž mohou

vnitřní a vnější nože vytvářet křivky s různými poloměry křivosti. Metoda je vhodná pro výrobu menších a středních modulů do průměru až 850 mm. Jedná se o produktivní způsob pro kusovou a malosériovou výrobu.



Obrázek 28: Frézování kuželových kol s paloidním ozubením metodou Klingelnberg,

1- obráběné kolo, 2- kuželová odvalovací fréza, 3- unášecí deska, 4- pomyslné základní kolo [6]

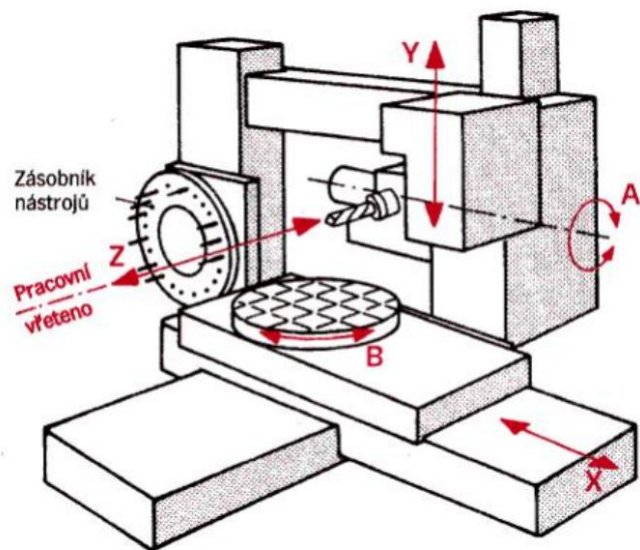


Obrázek 29: Obráběcí stroj Klingelnberg AMK 1602 pro výrobu kuželových kol s cyklopaloidním ozubením [6]

2.9. Víceosé obrábění

V dnešní době, kdy neustále dochází k obměně výrobku a výrobek je z hlediska konstrukce tvarově a technologicky pracnější, jsou výrobci nuceni se odklonit od konvenčních metod obrábění a nahradit výrobu multifunkčními stroji, které pružněji reagují na změnu výrobku.

Obráběcí centra jsou schopna provést mnoho technologických operací na jedno upnutí obrobku. Oproti konvenčnímu obrábění jsou posuvy a řezné rychlosti u víceosého obrábění 5x až 10x větší. Hlavní časy se zkracují, jakost povrchu se zvyšuje a dokončovací operace jsou minimální. Jedinou možností, jak tvarově složitý výrobek vyrobit, je pomocí víceosého obráběcího centra. Obráběcí centrum je vybaveno osami X, Z a Y. Osy A, B, C označují rotační pohyby kolem os X, Y a Z. [21][22]



Obrázek 30: Souřadnicový systém obráběcího centra [10]



Obrázek 31: Pětiosé obráběcí centrum C 50 [21]

2.9.1. Pětiosé frézování kuželových ozubených kol

V dnešní době neexistují u pětiosých obráběcích center téměř žádná omezení, jak je zřejmé z obr. 30, 31, 32 a 33. Při pětiosém obrábění je možné řídit všech 5 os najednou. Kombinuje se otáčení stolu a zároveň naklápění frézovací hlavy. Centra lze rozšířit o další funkce, například o systém chlazení středem nástroje vysokým tlakem chladiva, obsáhlé zásobníky nástrojů s rychlou výměnou nástroje nebo funkce, které zajišťují teplotní stabilitu. Tyto funkce se přidávají za účelem dosažení maximálního výkonu. [21]



Obrázek 32: Kuželové ozubené kolo s kosinovým ozubením [21]



Obrázek 33: Pětiosé obrábění kuželového ozubeného kola [21]

3. Metody kontroly kuželových ozubených kol

Kontrola měření ozubených kol podle normy ČSN 01 4680 doporučuje metody a způsoby používané pro měření kuželových ozubených kol. Tyto metody a způsoby jsou známé a přijímané jako spolehlivé v celém průmyslu ozubených kol. [27]

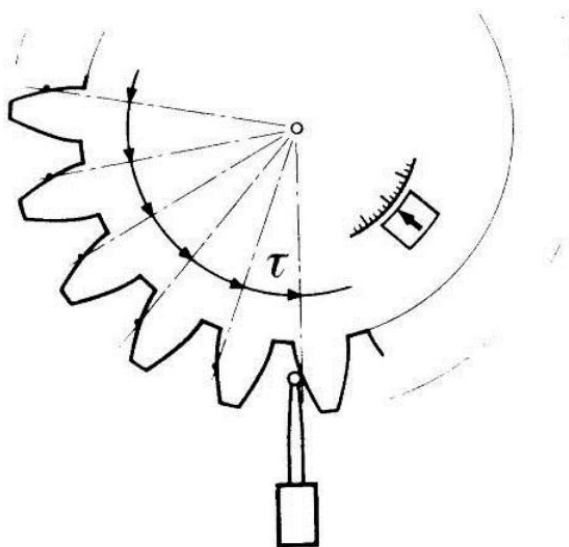
3.1. Měření rozteče

Při měření zubové rozteče se měří po obvodu ozubeného kola poloha stejnolehých boků zubů. Pro jednotlivá měření roztečí jsou zpravidla používány kulové dotyky. Při každém měření musí osa každého dotyku ležet na radiální přímce, která směřuje do osy ozubeného kola. [23][27]

3.1.1. Měření rozteče indexovací metodou

Indexovací přístroj je tvořen jednoduchou snímací hlavou. Přístroj používá úhlové indexovací zařízení, např. indexovací číselník, kruhový dělič, optický nebo elektronický snímač. [27]

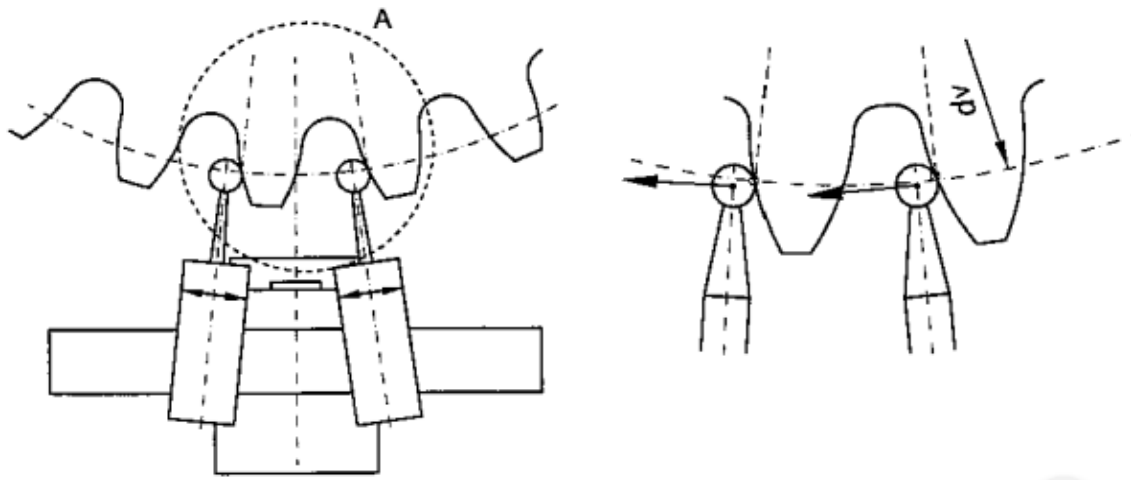
Snímací hlava vykonává radiální pohyb do místa dotyku a zpět od místa dotyku. V každém místě dotyku je změřen rozdíl mezi skutečnou a teoretickou polohou dotyku. Každá naměřená hodnota představuje polohovou úchylku odpovídající boku zubu. Následně lze ze všech měření po obvodu kola stanovit součtovou úchylku roztečí kola. Tato metoda se používá hlavně u malých a středních ozubených kol. [23][24]



Obrázek 34: Měření rozteče indexovací metodou [23]

3.1.2. Měření rozteče srovnávací metodou

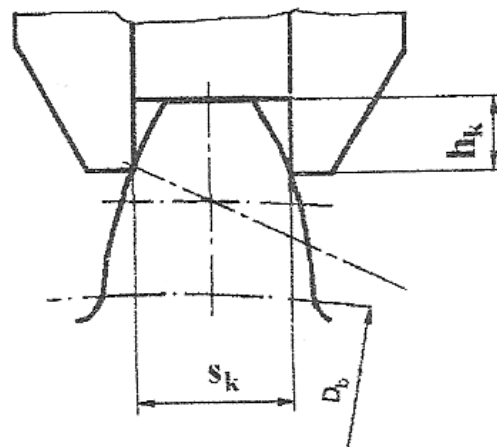
Tětivové měření roztečí komparátorem (dvouhlavá snímací hlava) je orientováno tak, že obě snímací hlavy jsou v dotyku s přilehlými boky zubů. Při tětivovém měření se měří délka tětivy mezi testovanými body. Jelikož je obtížné nastavit přesnou radiální vzdálenost, je nutné změřit celý obvod kola. Následně srovnáním s ostatními naměřenými hodnotami, získáme přehled o úchylných roztečích. Některé měřicí stroje jsou vybaveny saněmi, které pro kvalitnější měření zasouvají snímací hlavu do konstantní radiální hloubky zubové mezery. [23][24]



Obrázek 35: Měření rozteče komparátorem [23]

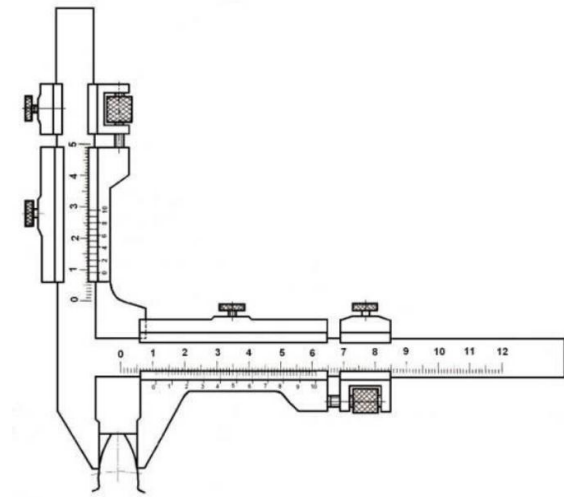
3.2. Měření tloušťky zubu zuboměrem

Kontrolou tloušťky zubu zjišťujeme, zda při záběru zubů bude dodržena stanovená vůle osové vzdálenosti. Jedná se o nejméně přesnou metodu měření. Nevýhodou této metody je závislost na přesnosti průměru hlavové kružnice. Tloušťka zubu s_k se měří na konstantní výšce zubu h_k od hlavové kružnice.



Obrázek 36: Schéma měření tloušťky [23]

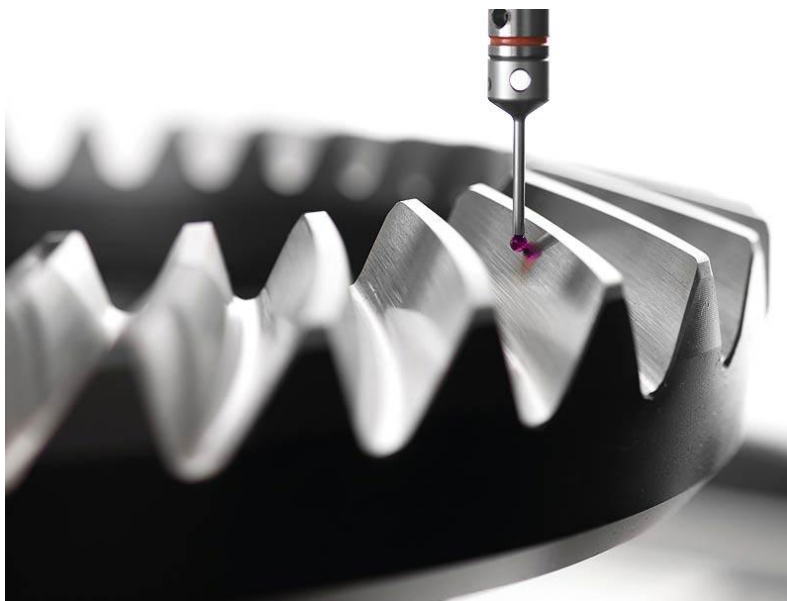
K měření této metody se používá tzv. zuboměr, který se skládá z dvou noniových stupnic. Jedna stupnice je seřizena na výšku hlavy zubu nad tětivou a druhá stupnice je seřizena na tloušťku zubu na tětivě. Zuboměr se současně dotýká na obou bocích zubu a na vrcholu zubu. [23]



Obrázek 37: Schéma měření tloušťky zubu zuboměrem[23]

3.3. Souřadnicové měřicí stroje (CMM-Coordinate measuring machine)

Souřadnicové měřicí stroje jsou nejvýznamnější inovací v oblasti měření. Využívají se k řadě kontrol složitých součástí, jak v automobilovém a leteckém průmyslu, tak i proměrování skříňového tvaru a to obvykle ve 3D. Zrychlují několikanásobně i běžná měření. Jde o složitý měřicí systém, který proměřuje součásti v rovině nebo v prostoru s možností automatizace a vyhodnocení. Výhodou souřadnicového měřicího stroje je, že lze zvolit základní bod v pracovním prostoru stroje.



Obrázek 38: Kontrola kuželové ozubeného kola na souřadnicovém měřicím stroji [18]

Princip stroje spočívá v tom, že vhodně zvolíme základní bod v prostoru a ostatní polohy dalších naměřených bodů na dané součásti určíme ve formě souřadnic získaných naměřených bodů v osách souřadného systému X, Y, Z. [7]

Souřadnicové měřicí stroje pro měření kuželových ozubených kol vyhodnocují hlavně profil zubu, průměr základní kružnice, úhel záběru, povrchovou přímku zubu, úhel sklonu zubu, sumární chybu rozteče, jednotlivé chyby roztečí, maximální chybu rozteče a obvodové házení. [27]



Obrázek 39: Souřadnicový měřicí stroj Gleason 175GMS [11]

3.4. Kontrola pásma záběru

Při kontrole pásma záběru se vyhodnocuje část povrchu boku zubu, u níž nastane dotyk se spoluzabírajícím povrchem boku zubu. Při této technice se využívá přenášení nátěru z boků zubů při lehkém zatížení a otáčení během několika sekund z jednoho ze spoluzabírajících ozubených kol na kolo druhé. Při zkoumání aktivního profilu zubů jsou vidět oblasti, kde došlo ke kontaktu. Kontakt zubu je údaj o správném tvaru zubu a to jak pro horní, tak pro dolní profil zubu a podél zubu. [23]

3.5. Kontrola jednobokým odvalem

Jednoboká kinematická přejímka zahrnuje odval evolventy pouze jedné dvojice boků spoluzabírajících ozubených kol v příslušné montážní vzdálenosti s boční vůlí. Ozubená kola jsou namontována společně ve speciálním zkušebním zařízení s pevnou montážní vzdáleností a zařízením pro měření rotačního pohybu. Kontrolní kolo musí být alespoň o tři stupně přesnější než kolo zkoušené. [28]

Od počáteční polohy jsou měřeny úchytky polohy měřeného ozubeného kola od požadované hodnoty, dané momentální polohou měřicího kola a poměrem počtu zubů. Přístroje pro tuto metodu zahrnují přípravek, který měří otáčení obou valicích kol a současně zjišťuje úchylku odvalu skutečné polohy kola proti teoretické hodnotě kola. Při měření daného soukolí jsou zjištěné úchytky F_i' a f_i' , které se nazývají úchytky převodu ozubené dvojice.

Kinematická úchylka F_i' je definována jako odchylka mezi maximální a minimální naměřenou hodnotou při měření celého obvodu kola. Místní kinematická úchylka kola f_i' je definována jako rozdíl mezi maximální a minimální naměřenou hodnotou při měření jedné rozteče.

Tato zkouška ozubených kol napodobuje činnost při skutečném použití. Výsledky jsou užitečné i pro kontrolu hluku a vibrací. [23][24]



Obrázek 40: Kontrola jednobokým odvalem[25]

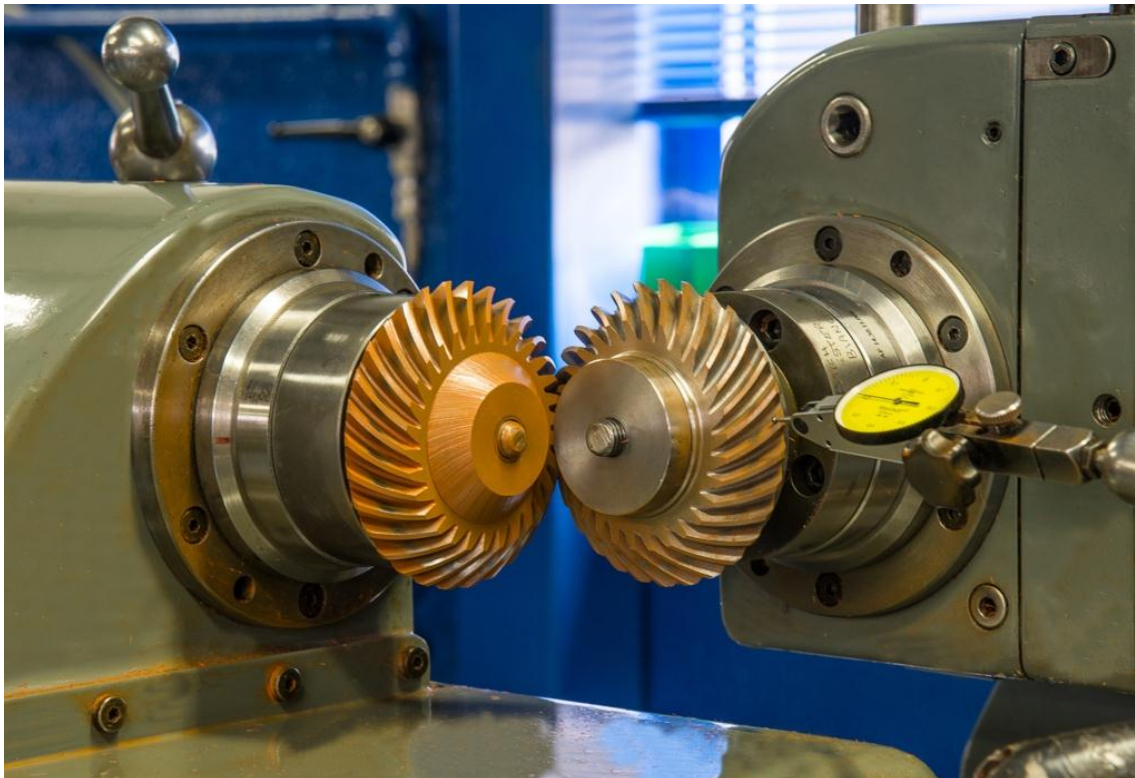
3.6. Kontrola dvoubokým odvalem

Kontrola dvoubokým odvalem zahrnuje postupný odval soukolí v těsném spojení bez vůle. Soukolí je namontováno společně ve zkušebním rotačním přípravku s nastavitelnou montážní vzdáleností, která umožní pohyb pastorku ve směru k pravému úhlu k ose pastorku. [28]

Aby se mohla kola po sobě odvalit, musí mít stejný modul, úhel záběru a v případě šikmého ozubení, musí mít stejný úhel sklonu zubu.

Podobně jako u kontroly jednobokého odvalu, musí i při metodě kontroly dvoubokého odvalu být kontrolní kolo minimálně o tři stupně třídy přesnosti lepší než kolo kontrolované.

Kolísání osové vzdálenosti, která vzniká při odvalování, představuje úchylku dvoubokého odvalu. Kinematická úchylka dvoubokého odvalu F_i , resp. místní kinematická úchylka dvoubokého odvalu f_i je definována jako rozdíl mezi největší a nejmenší naměřenou vzdáleností os zabírajících kol. [23][24]



Obrázek 41: Kontrola dvoubokým odvalem[26]

3.7. Měření radiálního házení kuželového ozubeného kola

Jelikož radiální házení významně ovlivňuje hlučnost ozubeného soukolí, je měření obvodového házení důležitá. K obvodovému házení dochází při excentricitě ozubení, házení osy ozubeného kola a rozdílné zubové mezeře, kvůli odchytkám rozteče na pravých a levých bocích zubů. Jednoduchost této metody poskytuje velký prostor ve volbě měřicích přístrojů a možnost jejich automatizace. Jako měřicí element se nejčastěji používá kulička. V některých případech se používá váleček nebo měřicí klín. Velikost měřicího elementu volíme tak, aby dotykové body mezi ozubením a měřicím elementem ležely přibližně uprostřed výšky zubu.

Obvodové házení ozubení F_r je definováno jako největší naměřená radiální odchylna polohy měřicího doteku, který je radiálně vkládán postupně do každé zubové mezery po obvodu ozubeného kola. Pro kuželová ozubená kola se radiální házení měří ve směru kolmém k roztečnému kuželu. Měřené ozubené kolo je připevněno na vhodný otočný trn. Měřicí přístroj s opatřeným měřicím elementem se umístí tak, aby měřicí element zapadal do měřené zubové mezery.[23]



Obrázek 42: Měření radiálního házení [29]

4. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo popsat problematiku výroby kuželových ozubených kol, čemuž předchází základní rozdělení ozubených kol, výrobní metody a kontrola kuželových ozubených kol.

Kuželová ozubená kola se rozdělují podle tvaru věnce nebo podle tvaru řídicí křivky. Tvar I je používán u kuželového ozubení s přímými, šikmými a také zakřivenými zuby. Přímé ozubení používáme pro nenáročné převody, kde není kladen nárok na velké rychlosti a hlučnost. Šikmé ozubení má lepší vlastnosti, než přímé ozubení. Tvar II a III se používá u kuželových kol se zakřivenými zuby. U zakřivených zubů se klade nárok na větší obvodové rychlosti a tichý chod. V tomto případě je pak výroba zakřivených zubů ekonomicky náročnější, protože stroje a nástroje jsou drahé.

Kuželová ozubená kola s přímými, šikmými nebo zakřivenými zuby se vyrábí obrážením nebo frézováním. Frézování dělicím způsobem je vhodné spíše pro kusovou výrobu, kvůli nízké produktivitě metody a kvůli méně přesným převodům. Přesnější metodou je frézování nožovými hlavami, která je vhodná pro malé a střední moduly. Velmi produktivní metoda pro výrobu přímých zubů je protahování kotoučovým protahovacím nástrojem. Tato metoda je využívána ve velkosériové a hromadné výrobě, hlavně v automobilovém průmyslu. Méně produktivní metoda je obrázení podle šablony. Tato metoda se používá pro větší moduly a přesnější kola. Další méně produktivní metodou je obrázení dvěma noži. Metoda Oerlikon, odvalovací frézování, má horší vlastnosti ozubení než metody Gleason a Klingelberg, má ale vysokou produktivitu. Výrobní metodou Gleason se vyrábí ozubená kola se zakřivenými zuby ve tvaru kružnice. Jelikož se přerušuje výroba ozubení, je tato metoda málo produktivní, ale výroba ozubení je velmi přesná. Pro výrobu paloidního ozubení se používá metoda Klingelberg. Ozubení vyrábí odvalovacím frézovacím způsobem. Tato metoda je vhodná pro kusovou a malosériovou výrobu menších a středních modulů. Pro výrobu kosinového kuželového ozubení musíme použít metodu pětiosého frézování na obráběcím centru. Tato centra používáme pro rychlejší a přesnější výrobu ozubení.

Nedílnou součástí je kontrola ozubení. Vzhledem ke geometrickému tvaru zubu z pohledu výrobních strojů a nástrojů a kontrolního vybavení je kontrola kuželového ozubení složitá. Nutností je tedy kontrolovat rozměry a tvar zubu. Základní kontroly ozubeného kuželového kola jsou stručně popsány v této práci. Kontrola kuželového ozubeného kola se dělí na dva způsoby - Kontrolu komplexní při protáčení s kontrolním kolem nebo kontrolu dílčí, u které se zjišťují odchylky jednotlivých parametrů ozubení.

5. Seznam použitých zdrojů

- [1] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2007, c1999, 3 sv. (80, 84, 88 s.). 3. díl. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [2] BRYCHTA, Josef. *Technologie II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007-2008, 2 sv. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ŠVEC, Vladimír. *Části strojů 2.: ozubené převody*. Dotisk. Praha: ČVUT, 1980, 240 s.
- [4] BUREŠ, Jan. *Kuželová kola s obloukovým ozubením Gleason*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. 136 s.
- [5] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [6] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část* [online]. 2004 [cit. 2016-06-13]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [7] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2007, c1999, 3 sv. (80, 84, 88 s.). 1. díl. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [8] *Gleason Phoenix 280C* [online]. [cit. 2016-06-13]. Dostupné z: https://www.pinterest.com/gleasoncorp/bevel-gear-cutting-w%C3%A4lzfr%C3%A4sen-von-kegelr%C3%A4dern/?from_navigate=true
- [9] *CALIFORNIA BEVEL GEAR* [online]. [cit. 2016-06-13]. Dostupné z: <http://cabevelgear.com/equipment-and-facilities/>
- [10] POLÁŠEK, Jaromír. *ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ STROJE* [online]. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf
- [11] *GLEASON* [online]. [cit. 2016-06-15]. Dostupné z: <http://www.gleason.com/products/357/354/175gms>
- [12] Kuželové ozubení s přímými, šikmými a zakřivenými zuby. *MITCALC.COM* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.com/doc/gear2/help/cz/gear2txt.htm>

- [13] PRÁŠIL, Ludvík. *Kuželová kola se šikmými a zakřivenými zuby* [online]. Liberec, 2010 [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: http://www.kst.tul.cz/podklady/casti_fs/podklady/Kuzelova%20soukoli%20se%20sikmy%20a%20zakrivenymi%20zuby.pdf
- [14] *Kuželové soukolí* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: http://old-kks.zcu.cz/pro-studenty-KKS/Studijni_podklady/PRIRUCKA/CADIS/MDOC/F/F12/F12_3/frame3.htm
- [15] *Linn GEAR CO.* [online]. [cit. 2016-06-17]. Dostupné z: <http://www.linngear.com/part-type/bevel/>
- [16] *Skew Bevel Gears* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: http://www.precisionlocomotivecastings.com/Merchant2/merchant.mvc?Screen=PROD&Store_Code=PLC&Product_Code=C-80-1221-2&Category_Code=C-B-POWERUNIT
- [17] *Spiral gear* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: <http://www.mechmol.com/gears-and-types-of-gears.html>
- [18] *Zerol Bevel Gear* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: <http://tecodirectory.com/portfolio/samp-s-p-a-products/>
- [19] *Palloid Bevel Gear* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: http://www.gearandrack.com/bevel_gears/cyclo_palloid_spiral_bevel_gears.html
- [20] *Oerlikon ozubení* [online]. [cit. 2016-06-12]. Dostupné z: <http://bondy.cz/cs/technologie/frezovani-a-obrazeni-kuzelovych-kol>
- [21] *MM Spektrum* [online]. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/petiose-frezovani-misto-klasickeho-obrabeni-ozubeni.html>
- [22] *MM Spektrum* [online]. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/viceosa-multifunkcni-centra.html>
- [23] TICHÁ, Šárka a Ivan MRKVICA. *Vybrané kapitoly ze strojírenské metrologie: učební text* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2016-06-14]. ISBN 978-80-248-2709-4.

- [24] GOCH, G. 2003. Gear Metrology. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 52(2): 659-695. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60209-1. ISSN 00078506. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007850607602091>
- [25] *Geartec.cz s.r.o.* [online]. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://www.geartec.cz/cs/products/single-flank-inspection/helical-bevel-gears/gtb-1250>
- [26] *SPIRAL INGRANAGGI S.R.L.* [online]. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://www.spiralingranaggi.it/en/quality/instruments>
- [27] ČSN 01 4680. *Kuželová ozubená kola - Systém přesnosti ISO*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [28] ČSN 01 4671. *Praktické předpisy pro přejímku - Část 6: Metody měření kuželových ozubených kol*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [29] *FRENCO GmbH* [online]. [cit. 2016-06-15]. Dostupné z: <https://www.frenco.de/en/frenco-fertigungsmesstechnik-verzahnungsproduktgruppen.php?rotationsmessung&rotationsmessgeraet-mit-messkugeln>

6. Seznam obrázků

Obrázek 1: Tvary věnce I, II, III [12]	9
Obrázek 2: Kuželového kola tvaru I [13]	9
Obrázek 3: Kuželového kola tvaru II. [13]	10
Obrázek 4: Kuželového kola tvaru III, [13]	10
Obrázek 5: Přímé ozubení [14]	11
Obrázek 6: Ozubené kolo kuželové [15]	11
Obrázek 7: Šikmé ozubení [14]	11
Obrázek 8: Kolo se šikmými zuby [16]	11
Obrázek 9: Kruhové ozubení [14]	12
Obrázek 10: Soukolí s kruhovými zuby [17]	12
Obrázek 11: Kruhové ozubení – Zerol [14]	12
Obrázek 12: Kruhové ozubení – Zerol [18]	12
Obrázek 13: Paloidní ozubení [14]	13
Obrázek 14: Kolo s paloid. zuby [19]	13
Obrázek 15: Evolventní ozubení [14]	13
Obrázek 16: Kolo s evolventním ozubením [20]	13
Obrázek 17: Protahování kuželového ozubeného kola [6]	15
Obrázek 18: Schéma frézování ozubení kuželového kola pomocí dvou kotoučových nožových hlav [6]	16
Obrázek 19: Frézování ozubení kuželového kola pomocí dvou kotoučových nožových hlav [4]	16
Obrázek 20: Schéma frézování ozubení kuželového kola kotoučovou tvarovou frézou [6]	17
Obrázek 21: Kinematické schéma obrážení ozubení kuželového kola podle šablony. [6]	18
Obrázek 22: Obrážení ozubení kuželového kola dvěma noži [9]	19

Obrázek 23: Schéma odvalovacího obrážení ozubení kuželového kola dvěma noži [6].....	19
Obrázek 24: Frézování kuželových kol metodou Oerlikon [6]	20
Obrázek 25: Schéma frézování ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby způsobem Gleason [6]	21
Obrázek 26: Obráběcí stroj na výrobu kuželových kol s hypoidním ozubením [6]	21
Obrázek 27: Obráběcí stroj Gleason Phoenix 280C [8].....	22
Obrázek 28: Frézování kuželových kol s paloidním ozubením metodou Klingelnberg,	23
Obrázek 29: Obráběcí stroj Klingelnberg AMK 1602 pro výrobu kuželových kol s cyklopaloidním ozubením [6]	23
Obrázek 30: Souřadnicový systém obráběcího centra [10]	24
Obrázek 31: Pětiosé obráběcí centrum C 50 [21]	24
Obrázek 32: Kuželové ozubené kolo s kosinovým ozubením [21].....	25
Obrázek 33: Pětiosé obrábění kuželového ozubeného kola [21]	25
Obrázek 34: Měření rozteče indexovací metodou[23]	26
Obrázek 35: Měření rozteče komparátorem [23]	27
Obrázek 36: Schéma měření tloušťky [23]	27
Obrázek 37: Schéma měření tloušťky zubu zuboměrem[23]	28
Obrázek 38: Kontrola kuželové ozubeného kola na souřadnicovém měřicím stroji [18].....	28
Obrázek 39: Souřadnicový měřicí stroj Gleason 175GMS [11].....	29
Obrázek 40: Kontrola jednobokým odvalem[25]	30
Obrázek 41: Kontrola dvoubokým odvalem[26]	31
Obrázek 42: Měření radiálního házení [29]	32

7. Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení kuželového ozubení [5]	14
---	----