

Technologie odvalovacího frézování při výrobě ozubených kol

Jan Solařík

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jan SOLAŘÍK
Osobní číslo: T10317
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: prezenční

Téma práce: Technologie odvalovacího frézování při výrobě ozubených kol

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická rešerše na dané téma
2. Zpracování výkresové dokumentace včetně 3D modelů
3. Stanovení technologického postupu a výroba soukolí s přímými zuby
4. Kontrola přesnosti ozubených kol vyrobených z různých materiálů

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

17. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku výroby ozubených kol odvalovacím způsobem. V teoretické části práce jsou shrnuty technologie výroby ozubených kol. Praktický experiment se zabývá návrhem a výrobou ozubených kol odvalovacím způsobem z kovového a plastového materiálu. V závěru bakalářské práce je hodnocena rozměrová a geometrická přesnost výroby.

Klíčová slova: Ozubené kolo, návrh, výroba, odvalovací frézování, přesnost výroby

ABSTRACT

This bachelor thesis is concentrated on the issue of production of gear wheels using the hobbing milling method. The theoretical part deals with the different technologies of gear wheels production. The practical experiment concerns the suggestion related to the production of gear wheels from metal and plastic material using the hobbing milling method. At the end of the bachelor thesis the admeasurement and geometrical precision is evaluated.

Keywords: Gearwheel, Design, Machining, Hobbing milling, Precision

Děkuji Ing. Ondřeji Bílkovi Ph.D. za odbornou pomoc, ochotu a věcné připomínky při vypracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÍ POJMY, DRUHY OZUBENÍ A SOUKOLÍ	12
1.1 ZÁKLADNÍ GEOMETRICKÉ PARAMETRY PŘÍMÉHO OZUBENÍ	12
1.2 DRUHY OZUBENÍ PODLE KŘIVKY PROFILU	14
1.3 ROZDĚLENÍ OZUBENÝCH KOL PODLE POLOHY OS	16
1.3.1 Čelní soukolí	16
1.3.2 Kuželová soukolí.....	17
1.3.3 Šneková soukolí	18
1.3.4 Šroubová soukolí.....	19
1.4 ZÁBĚR DVOU ZUBŮ.....	20
1.5 PŘEVODOVÉ ČÍSLO A PŘEVODOVÝ POMĚR	21
1.6 ROZDĚLENÍ ČELNÍHO OZUBENÍ PODLE TVARU ZUBU	22
1.6.1 Čelní ozubení s přímými zuby	22
1.6.2 Čelní ozubení se šikmými zuby	22
1.6.3 Čelní ozubení se šípovými zuby	23
1.6.4 Čelní ozubení s kruhovými zuby.....	23
1.6.5 Čelní soukolí s vnitřním ozubením	23
1.7 KOREKCE OZUBENÍ.....	24
2 ZPŮSOBY VÝROBY OZUBENÝCH KOL	27
2.1 VÝROBA OZUBENÍ FRÉZOVÁNÍM.....	27
2.1.1 Frézování odvalovacím způsobem.....	27
2.1.2 Frézování dělicím způsobem.....	29
2.2 VÝROBA OZUBENÍ OBRÁŽENÍM.....	31
2.2.1 Odvalovací obrázení hřebenovým nožem Maag.....	31
2.2.2 Odvalovací obrázení kotoučovým nožem Fellows	32
2.3 VÝROBA OZUBENÍ PROTAHOVÁNÍM.....	33
2.4 NEKONVENČNÍ METODY VÝROBY OZUBENÝCH KOL	34
2.4.1 Řezání drátovou elektrodou	34
2.4.2 Řezání vodním paprskem	35
2.4.3 Řezání plamenem	36
3 KONTROLA OZUBENÝCH KOL	38
3.1 KONTROLA ROZMĚRŮ PŘES ZUBY	38
3.2 MĚŘENÍ TLOUŠTKY ZUBU	39
3.3 KONTROLNÍ ROZMĚR ZUBŮ PŘES VÁLEČKY	40
3.4 MĚŘENÍ TVARU ZUBU PROJEKČÍ	42
3.5 KONTROLA HÁZIVOSTI	43
3.6 KONTROLA PROFILU	43
3.7 MODERNÍ METODY MĚŘENÍ	44
II PRAKTICKÁ ČÁST	46
4 TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÝCH KOL	47

4.1	STANOVENÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU OBRÁBĚNÍ	48
4.1.1	Technologický postup výroby pastorku a ozubeného kola	50
4.2	STROJE A NÁSTROJE PRO VÝROBU OZUBENÝCH KOL	50
4.2.1	Frézovací odvalovací stroj F-06	50
4.2.2	Nástroj pro odvalovací frézování	52
4.3	UPNUTÍ A NASTAVENÍ NÁSTROJE	53
4.4	NASTAVENÍ VÝMĚNNÝCH DĚLÍČÍCH KOL	54
4.5	UPNUTÍ OBROBKU A ŘEZNÉ PODMÍNKY	55
4.5.1	Středění indikátorem	56
4.5.2	Hloubka řezu	56
4.5.3	Dorazové narážky	57
4.5.4	Posuvové rychlosti a otáčky	57
4.5.5	Chlazení při obrábění	58
4.6	ZPRACOVÁNÍ 3D MODELŮ	59
5	KONTROLA PŘESNOSTI OZUBENÝCH KOL	61
5.1	NAMĚŘENÉ HODNOTY OZUBENÝCH KOL A PASTORKŮ	62
5.2	POROVNÁNÍ A DISKUZE	65
	ZÁVĚR	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK	76
	SEZNAM PŘÍLOH	77

ÚVOD

Ozubená kola a jejich výroba patří k základním výrobkům strojírenství. Jejich nenahraditelnost a důležitost je způsobena požadavkem přenášet a transformovat mechanickou energii. Ozubené převody můžeme najít v hodinkách, letadlech, automobilech, výpočetní i měřicí technice a na mnoha dalších místech.

Konstrukce a výroba ozubených kol prošla velkým množstvím proměn, z důvodu rostoucími požadavky spotřebitele, mezi něž patří ozubená kola s menší měrnou hmotností. Největší pokrok zaznamenala výroba v oblasti modernizace strojového parku a výrobě nástrojů, čímž stoupla i produktivita jednotlivých metod obrábění.

Volba vhodnosti stroje a nástroje, které mohou ovlivnit produktivitu práce, a také zvolení nejvýhodnější technologie závisí na vysoké kvalifikaci obsluhy.

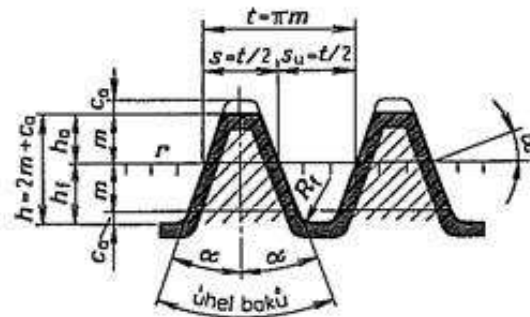
Tato práce se zabývá jednotlivými technologiemi výroby ozubených kol, jejich kontrolou a velmi podrobným popisem technologie odvalovacího frézování. Jelikož dnešní moderní doba čím dál více využívá plastových výrobků, budu se zaměřovat na porovnání přesnosti výroby kovových a plastových ozubených kol pro malosériovou výrobu a na možnost použití vyrobeného soukolí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ POJMY, DRUHY OZUBENÍ A SOUKOLÍ

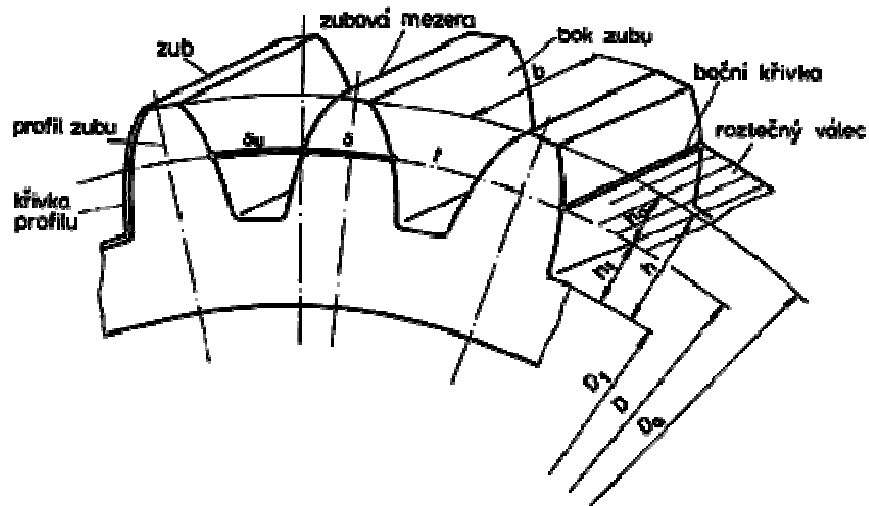
Při konstrukci technických zařízení je častým úkolem přenos otáčivého pohybu a krouticího momentu z jednoho místa na druhé. Přitom může být požadována také změna úhlové rychlosti. Tento úkol řešíme více způsoby. V přímém směru a bez změny úhlové rychlosti je možno pohyb přenášet nejjednodušeji pomocí hřídelů. Jestliže má být pohyb přenášen mimo původní směr nebo jestliže má být dosaženo změny úhlové rychlosti, používají se složitější převodová ústrojí, jako jsou převody třecí, řemenové, řetězové a převody ozubenými koly. Ozubeným kolem se nazývá těleso, na kterém je ozubení vytvořeno. Ozubená kola, která spolu zabírají, se nazývají soukolí [15].

1.1 Základní geometrické parametry přímého ozubení



Obr. 1. Základní profil [16]

Základní profil evolventního ozubení je řez ozubením základního hřebenu, který je vlastně ozubený segment kola o nekonečně velkém poloměru roztečné kružnice, která přejde v roztečnou přímkou r . Geometrický tvar základního profilu je normalizován. Vzhledem ke geometrické podobnosti profilu Z je možno je sestavit v řadu, jejíž každý člen je určen jedinou číselnou hodnotou - modulem [7].



Obr. 1. Rozměry ozubení [18]

Modul m – část průměru roztečné kružnice připadající na jeden zub a jednu zubní mezeru. Je to základní parametr, který určuje všechny rozměry ozubeného kola; získává se zpravidla jako výsledek pevnostního výpočtu ozubení. Je normalizován v ČSN 014608 od $m = 0,5$ až 100 [4].

$$m = \frac{t}{\pi} \quad (1)$$

Průměr roztečné kružnice

$$D = z \cdot m \quad (2)$$

Průměr hlavové kružnice

$$D_a = D + 2 \cdot h_a \quad (3)$$

Průměr patní kružnice

$$D_f = D - 2 \cdot h_f \quad (4)$$

Průměr základní kružnice a úhel záběru (nejčastěji 20°)

$$D_b = D \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

Výška hlavy zubu

$$h_a = m \quad (6)$$

Výška paty zubu

$$h_f = m + c_a = (1 + 0,25) \cdot m = 1,25 \cdot m \quad (7)$$

Výška zubu

$$h = h_a + h_f \quad (8)$$

Tloušťka zubu měřená na oblouku roztečné kružnice

$$s_1 = s_2 = \frac{t}{2} \quad (9)$$

Rozteč

$$t = \pi \cdot m \quad (10)$$

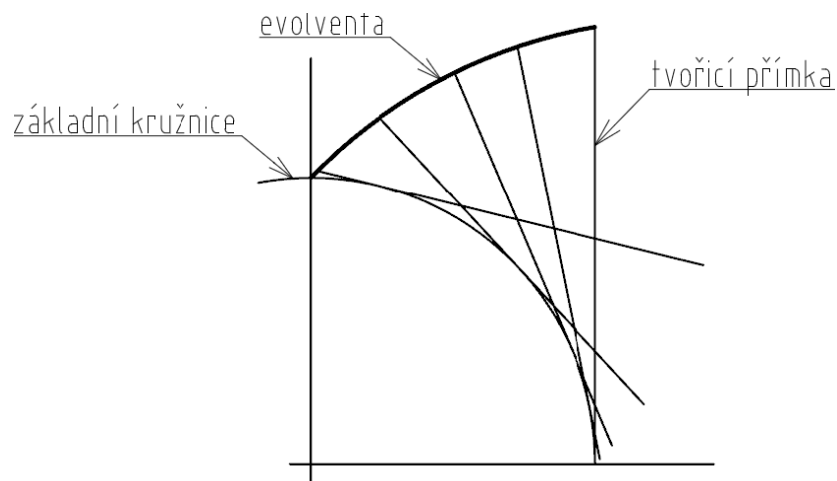
Vzdálenost os

$$a = \frac{(z_1 + z_2) \cdot m}{2} = \frac{(D_1 + D_2)}{2} \quad (11)$$

1.2 Druhy ozubení podle křivky profilu

Ozubení označujeme a rozdělujeme podle druhu křivky profilu. Rozeznáváme:

- Evolventní ozubení

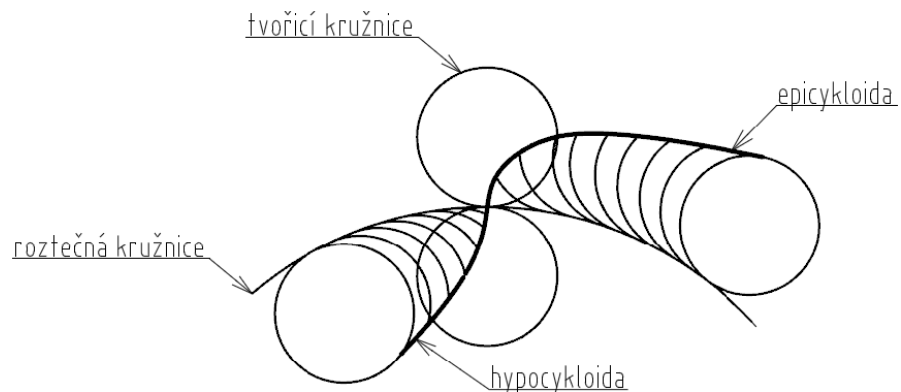


Obr. 2. Evolventa [17]

Evolventa je křivka, kterou vytvoří libovolný bod přímky, odvalující se po kružnici (Obr. 2.). V praxi se nejčastěji používá evolventní ozubení; je vhodné pro valivá soukolí čelní i kuželová. Zuby se nejčastěji zhotovují odvalovacím způsobem, který je plynulý a rychlý. Boky zubů lze také snadno a přesně brousit, což je u jiných ozubení obtížné. Důvodem rozšíření evolventního ozubení je kromě snadné a levnější výroby větší úhel záběru α než u

ozubení cykloidních. Čím je větší úhel záběru, tím menší může být počet zubů, aniž by byly u paty zubu podříznuty. Tím se však zkracuje délka záběru a zhoršuje klidnost chodu [4,1].

- Cykloidní ozubení



Obr. 3. Cykloidní ozubení [17]

Cykloida vzniká jako křivka, kterou opisuje bod kružnice při jejím valení po přímce. Vnější cykloidní ozubení má obrys epicykloidy. Epicykloida je křivka, kterou opisuje bod tvořící kružnice při jejím valení zevně po jiné základní kružnici. Při valení tvořící kružnice po základní kružnici zevnitř opisuje bod tvořící kružnice hypocykloidu [15].

Cykloidní ozubení se používá ve strojírenství jen zřídka, např. u ozubení s litými neobrobenými zuby různých přístrojů, rotačních zubových kompresorů apod. Předností oproti evolventnímu ozubení je rovnoměrnější chod a menší opotřebení, zuby se po sobě více odvalují. Mezi hlavní nevýhody patří drahá a pracná výroba [4,1].

- Smíšené ozubení

Křivka profilu se skládá ze dvou křivek. V okolí roztečné kružnice je to evolventa, u hlavové a patní kružnice jsou to cykloidy. Zuby se zhotovují nejčastěji dělicím způsobem, tvarovou kotoučovou, modulovou frézou, zub za zubem [1].

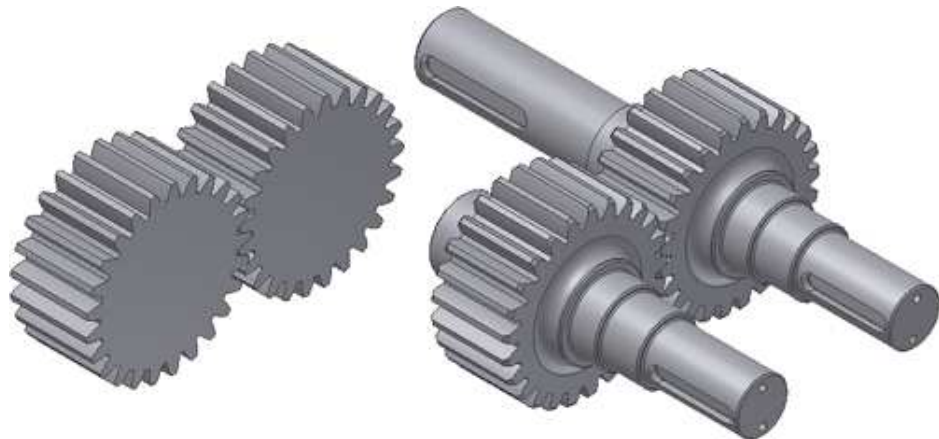
1.3 Rozdělení ozubených kol podle polohy os

Ozubené soukolí je nejjednodušší formou převodového mechanismu a základní stavební jednotkou pro složitější mechanismy. Sestává z dvojice ozubených kol – menší se označuje jako pastorek, větší jako kolo [4,14].

1.3.1 Čelní soukolí

Zabírají-li spolu dvě kola čelní, mohou vzniknout tři druhy soukolí.

- Soukolí N – ve společném záběru jsou obě kola typu N, s nulovou korekcí
- Soukolí VN- ve společném záběru jsou kola typu +V a – V, tedy kola s plusovou a minusovou korekcí
- Soukolí V – z tohoto soukolí vznikají dvě možné varianty, záběr obou kol +V a kol +V a N

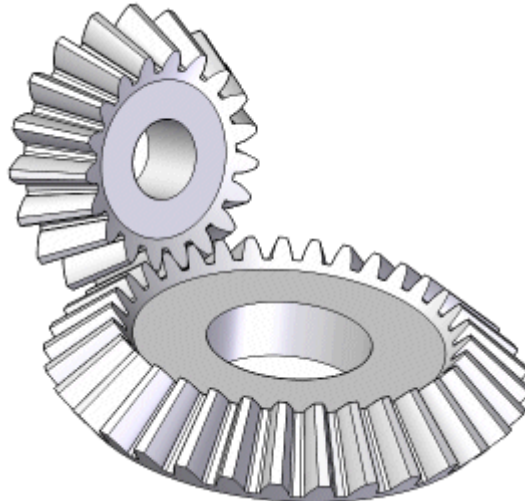


Obr. 4. Čelní soukolí s přímými zuby [19]

Čelní ozubená soukolí spojují dva rovnoběžné hřídele (ozubení vnější, vnitřní), v případě hřebenového ozubení má velké kolo nekonečně velký průměr (Obr. 1.). U čelního soukolí, stejně tak, jako u klasického rozdělení, rozeznáváme soukolí se zuby přímými, šikmými, šípovými. V praxi se nejčastěji používají čelní ozubená soukolí s přímými zuby[4].

1.3.2 Kuželová soukolí

Kuželová soukolí slouží k přenosu otáčivého pohybu mezi dvěma různoběžnými hřídeli. Základem kuželového soukolí jsou tedy dva odvalovací kužele, které se dotýkají v povrchové přímce a které mají společný vrchol v průsečíku os obou hřídelů (*Obr. 5.*) [4].



Obr. 5. Kuželové soukolí základní [21]

Podle smyslu točení a vzájemné polohy spoluzabírajících kol rozeznáváme:

- Kuželová soukolí vnější – úhel roztečného kužele pastorku δ_1 i kola δ_2 je menší než 90°
- Kuželová soukolí základní – u nichž úhel roztečného kužele pastorku $\delta_1 < 90^\circ$, kola $\delta_2 = 90^\circ$ (*Obr. 5.*)
- Kuželová soukolí vnitřní – úhel roztečného kužele pastorku $\delta_1 < 90^\circ$, kola $\delta_2 > 90^\circ$

Podle tvaru boční křivky základního kola rozeznáváme kuželová soukolí s přímými, šikmými, šípovými, spirálními, kruhovými a paloidními zuby. Ozubená kuželová kola s nepřímými zuby mají v porovnání s kuželovými zuby s přímými zuby a z nich zvláště kola s evolventně zakřivenými zuby značné přednosti; v tichém chodu, možnosti přenášet i velká zatížení, umožňují dosáhnout na pastorku malého počtu zubů (např. $z_1=7$ až 5) [4,1].

1.3.3 Šneková soukolí

Šnekové soukolí je v podstatě zvláštním případem šroubového soukolí válcového, při němž osy obou kol jsou nejčastěji k sobě kolmé. Těleso šneku je válec. Zub tvoří celý uzavřený závit na rozdíl od čelních kol se šikmými zuby, u nichž je zub jen částí závitů. V tomto případě je tedy každý závit 1 zub. Máme například jednochodé šneky ($z=1$), nebo pětichodé šneky ($z=5$) [4,20].

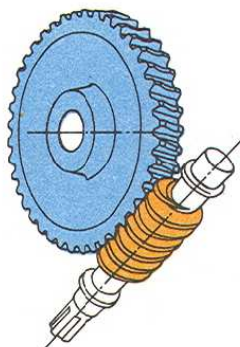
Podle tvaru těles se šneková soukolí dělí na:

- Soukolí válcová – šnek i šnekové kolo mají tvar válců



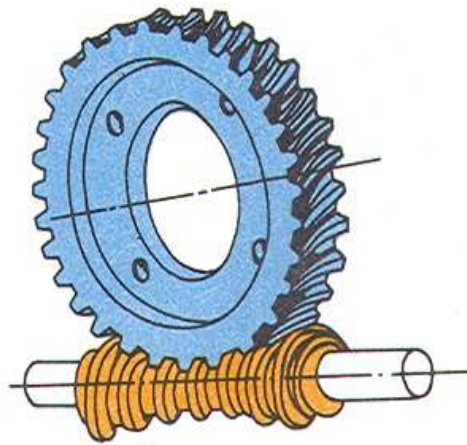
Obr. 6. Soukolí válcová [22]

- Soukolí smíšená – šnek je válcový, kolo globoidní



Obr. 7. Soukolí smíšená [7]

- Soukolí globoidní – šnek i kolo šnekové mají tvar globoidů



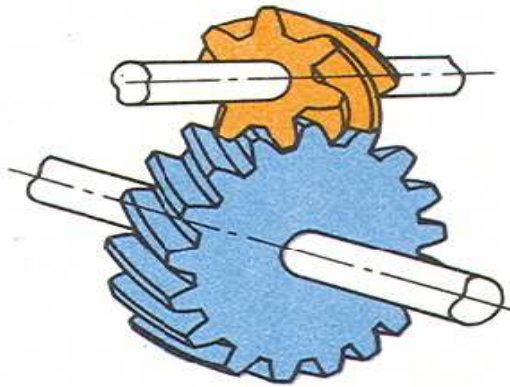
Obr. 8. Soukolí globoidní [7]

Šneková soukolí mohou přenášet velké výkony (50 až 60 kW, jsou však i převody pro výkon 200 kW). Účinnost ozubení šnekového soukolí s malým počtem zubů šneku z_1 je malá; kromě toho se bronzem, ze kterého se zhotovují většinou šnekových kol, musí šetřit, protože je to deficitní materiál. Mají malé rozměry, nízkou hmotnost a jsou konstrukčně kompaktní. Vyznačují se klidným a tichým chodem a mohou být navržena jako samosvorný převod. Nevýhodou je velký skluz v ozubení, způsobující vyšší ztráty třením a tím i nižší účinnost převodu. Výroba ozubení je náročnější a dražší, jeho životnost bývá vinou opotřebení nižší než u soukolí valivých [4,20].

1.3.4 Šroubová soukolí

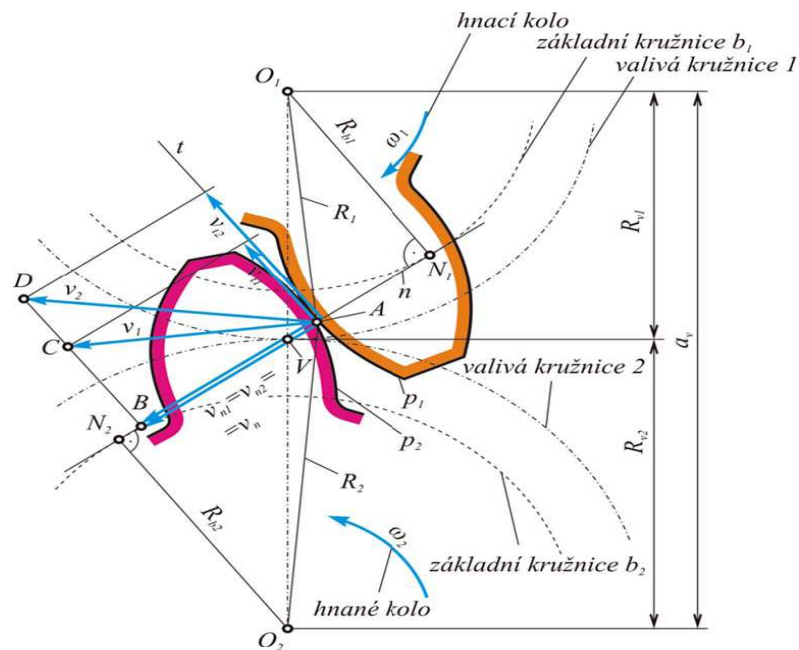
Při otáčení kol šroubových soukolí se tato tělesa po sobě valí a současně posouvají ve směru styčné přímky, tj. vzniká šroubový pohyb [20].

Používají se ke spojení dvou hřídelů, jejichž osy jsou mimoběžné (Obr. 9.). Základem všech šroubových soukolí jsou soukolí hyperboloidická. Těchto soukolí se používá jen zřídka, obvykle se zuby odlitými, neboť jejich výroba je velmi drahá a obtížná. Nahrazují se hypoidními koly, válcovými, nebo šnekovými soukolími, která se dají snadno vyrobit [20,4,7].



Obr. 9. Šroubová soukolí s mimoběžnými osami [7]

1.4 Záběr dvou zubů



Obr. 10. Záběr dvou zubů [35]

Záběr dvou zubů vzniká odvalováním dvou válců po sobě, dotýkajících se ve společné povrchové přímce. Valivým pohybem těchto roztečných válců po sobě se vytvoří společná styková přímka, bok zubu, jehož profil je dán stopou této přímky v čelní rovině válců. Křivka profilu zubu je potom průsečnice boku zubu s čelní rovinou kola.

Důležitým parametrem je úhel záběru α , který svírá záběrová přímka s přímkou vedenou valivým bodem V kolmo na spojnici středů otáčení. Úhel záběru společně s modulem určuje geometrii základního profilu. Je konstantní a jeho velikost 15° i 20° stanovuje norma[4,35].

Pro plynulý záběr soukolí je nezbytné, aby nejpozději při výstupu jednoho páru spolu zabírajících zubů ze záběru druhý pár zubů do záběru vstoupil[35].

1.5 Převodové číslo a převodový poměr

Ozubené soukolí je nejjednodušší formou převodového mechanismu a základní stavební jednotkou pro složitější mechanismy. Změnu otáčivého pohybu realizovanou soukolím charakterizuje převodové číslo u . U čelního soukolí se převodový poměr pohybuje v rozmezí 2-8, v extrémních případech až 20. U šnekového soukolí dosahuje převodové číslo v extrémních případech až 300 [14,32].

Převodový poměr vypočítáme jako vztah mezi otáčkami, počty zubů a průměry valivých válců.

$$i_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{otáčky hnacího kola}}{\text{otáčky hnaného kola}} \quad (12)$$

$$i_{1,2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\text{počet zubů hnaného kola}}{\text{počet zubů hnacího kola}} \quad (13)$$

$$i_{1,2} = \frac{D_{v2}}{D_{v1}} = \frac{\text{průměr valivé kružnice hnaného kola}}{\text{průměr valivé kružnice hnacího kola}} \quad (14)$$

Mění-li se převodový poměr při otáčení kol (valivá tělesa nejsou válce), je okamžitý převodový poměr[1,14]:

- Převod do rychla – $i_{1,2} < 1$

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = -\frac{r_2}{r_1} = -\frac{z_2}{z_1} \quad (15)$$

- Převod do pomala – $i_{1,2} > 1$

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad (16)$$

1.6 Rozdělení čelního ozubení podle tvaru zubu

Při práci a výrobě ozubených kol se můžeme setkat s několika druhy čelního ozubení podle tvaru zubu. Každý tvar ozubení má své specifika a význam. V praxi se nejčastěji používají zuby přímé a šikmé.



Obr. 11. Tvary ozubených kol [23]

1.6.1 Čelní ozubení s přímými zuby

Čelní ozubení s přímými zuby je výrobně nejjednodušší. Ozubené kola s přímými zuby vyrábíme nejčastěji odvalovacím frézováním, nebo méně přesným způsobem dělicím. Zub jde celý do záběru, tedy dochází k jeho okamžitému zatížení, což se ale může projevit rázy (Obr. 11. A). Výhodou je, že u těchto tvaru zubů nevzniká axiální síla[7].

1.6.2 Čelní ozubení se šikmými zuby

Velmi často používaný typ ozubených kol (Obr. 11. B). Zub kola se dostává do záběru a také ze záběru vychází. Zatížení zubu je pozvolné. Vlivem zešikmení vzniká axiální síla, která se snaží kolo odtlačit do strany, čemuž zabraňujeme pomocí ložisek. Zvláštním případem jsou dvojnásobně šikmé zuby (Obr. 11. C), pomocí kterých přenášíme největší výkony např. převody parních turbín. Ozubené kola se šikmým ozubením jsou zatěžována radiální i axiální silou. Čelní ozubení se šikmými zuby má také velké výhody oproti zubům přímým, jsou to[12,7,1]:

- Plynulý a pozvolný vstup a výstup zubových dvojic do i ze záběru
- Klidnější a tišší chod, a to při vyšších rychlostech
- Větší počet párů zubů v záběru, na které se rozloží zatížení, ozubení tak může přenášet větší výkony
- Podřezání zubů nastává při menším počtu zubů

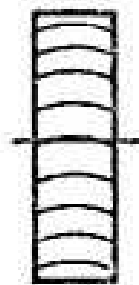
1.6.3 Čelní ozubení se šípovými zuby

U těchto tvarů sahají zuby až do střední roviny věnce (*Obr. 11. D*). Frézují se obvykle tvarovou čepovou frézou. Používáme těchto tvarů zubů jen tam, kde je přípustná menší přesnost, a kde jsou malé obvodové rychlosti např. u převodů kalandrů. Zvláštním případem jsou dvojnásobné šípové zuby (*Obr. 11. E*), které přenáší velmi vysoké výkony a z důvodu složitosti se také vyrábí ze dvou polovin s opačným sklonem zubů[1,7].

1.6.4 Čelní ozubení s kruhovými zuby

Kruhové ozubení má podobné vlastnosti jako šípové ozubení. Kruhový tvar má výhodnější pevnostní charakteristiku, než zlomené přechody u šípových zubů[7].

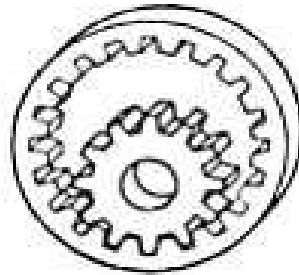
Mezi výhody patří malý stukový tlak, proto se používají např. pro reduktory válcových stolic při malých rychlostech. Naopak mezi nevýhody patří složitá výroba, kdy potřebujeme na výrobu složitý a drahý výrobní nástroj[24].



Obr. 12. Kruhový tvar ozubení [25]

1.6.5 Čelní soukolí s vnitřním ozubením

U čelního vnitřního soukolí se malé kolo odvaluje uvnitř věnce velkého kola. Obě tyto kola mají stejný smysl otáčení. U vnitřních soukolí je měrný tlak mezi zuby i opotřebení zubů menší a mazání je dokonalejší. Čelní soukolí vnitřní se obvykle dělá se zuby přímými, velmi málo se zuby šikmými. V praxi se jednoduché soukolí výrazně nepoužívá. Zpravidla bývá součástí planetového nebo diferenciálního soukolí. Vyskytuje se také u zubových spojek motorových vozidel a turbín[1].



Obr. 13. Vnitřní ozubení [25]

1.7 Korekce ozubení

Účelem korekce ozubení je zlepšit záběrové a pevnostní podmínky ozubeného soukolí nebo kola. Korigovaný profil se získává nejčastěji posunutím základního profilu evolventního ozubení, změnou úhlu záběru nebo výškou zubu[7].

Účel korekce:

- Má zamezit podříznutí a špičatosti zubů
- Má zlepšit měrný kluz na hlavě a patě zubu
- Má vyrovnávat osové vzdálenosti
- Má snížit hlučnost, vibrace, únosnost a účinnost ozubení

Velikost posunutí vyjadřujeme součinem

$$x \cdot m \quad (17)$$

kde:

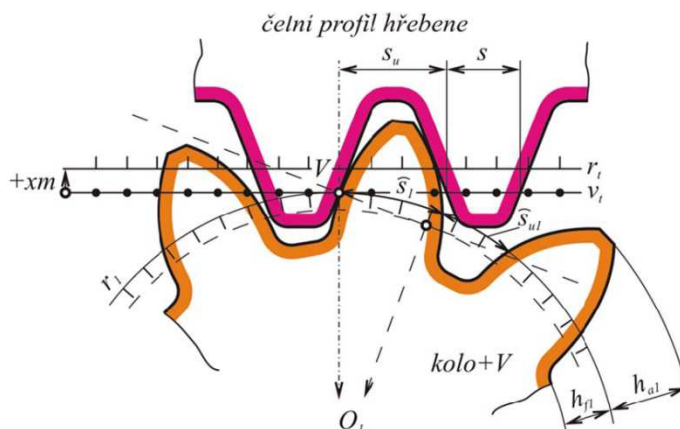
x – jednotkové posunutí pro modul $m=1$

m – modul nástroje

Posunutím základního profilu se mění profil a rozměry kola, nikoliv základní kružnice a evolventa[3,7].

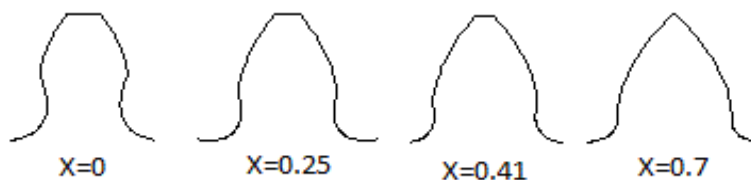
Výšková korekce ozubení jednoho členu soukolí se provádí tak, že zub se buď posune od středu kola, nebo ke středu kola. Rozeznáváme tedy kladnou a zápornou korekci ozubení.

Posune-li se zub od středu kola, tloušťka paty zubu se zvětší. Vznikne plusová korekce (kolo +V).



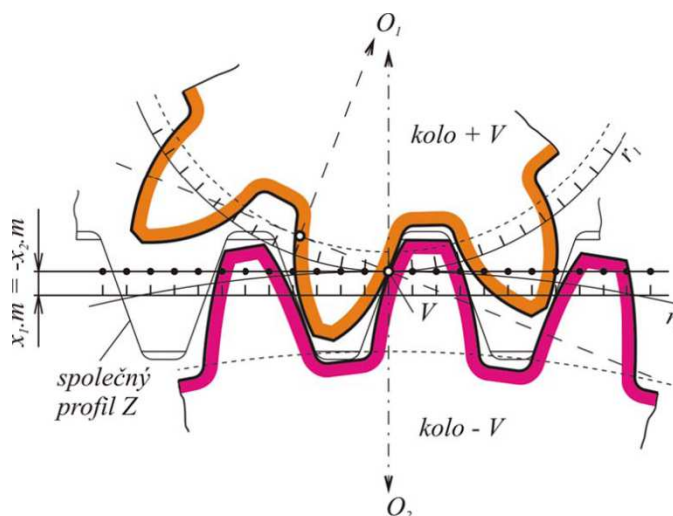
Obr. 14. Kladná korekce [7]

Plus korekce se užívá k odstranění podříznutí. Hranice plus korekce je tam, kde se zub stane špičatým. Nedoporučuje se však dělat korekce až ke špičatému zubu.


 Obr. 15. Změna paty zubu podle hodnoty x [29]

Posune-li se zub do středu kola, tloušťka paty zubu se zmenší. Vznikne minusová korekce (kolo-V) viz (Obr. 16.).

Pokud máme kola +V a -V vzniká soukolí VN. Jsou-li dvě kola N, vzniká soukolí N. Viz. Kapitola 1.3.1 Čelní soukolí.



Obr. 16. Záporná korekce [7]

Aby nedocházelo k velkému podřezání zubu a tedy nepoužitelnosti ozubení je potřeba znát minimální počet zubů. Vycházíme z teoretického počtu zubů, ze kterého dostaneme praktický mezní počet zubů.

Obecný vzorec pro teoretický mezní počet zubů:

$$z_{th} = \frac{2 \cdot w}{\sin^2 \alpha} \quad (18)$$

Pro kola N s běžnou výškou zubu ($w = 1$):

Pro úhel záběru $\alpha = 20^\circ$,

$$z_{th} = \frac{2}{\sin^2 20^\circ} = 17 \quad (19)$$

Ve skutečnosti můžeme kol N použít i při menším počtu zubů než je 17, aniž nastane větší znatelné podříznutí a zkrácení evolventy.

Praktický mezní počet zubů:

$$z_{min} = \frac{5 \cdot z_{th}}{6} = \frac{5 \cdot 17}{6} = 14 \quad (20)$$

Abychom zabránili nepříznivému podřezání zubů a tím i snížení pevnosti, neměli bychom vyrábět počet zubů pro čelní kola menší než 14 zubů[1,2,3,7].

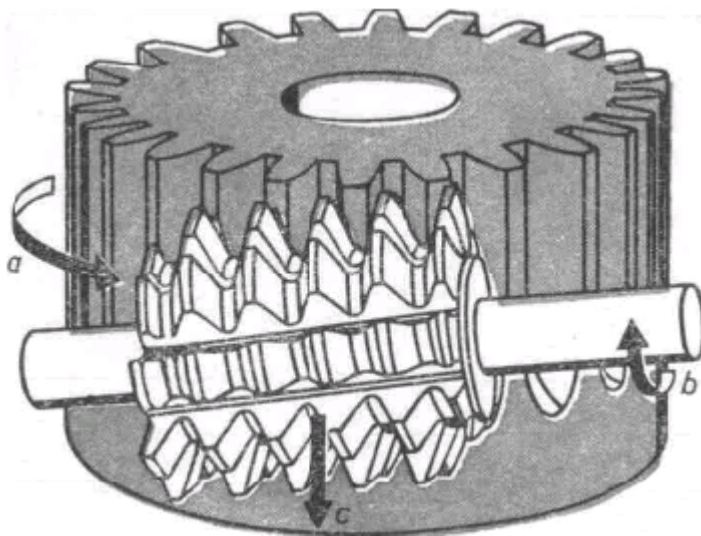
2 ZPŮSOBY VÝROBY OZUBENÝCH KOL

Výroba ozubených kol je zvláštní odvětví strojírenské výroby, které klade velké požadavky na kvalifikaci všech pracovníků v tomto oboru a vyžaduje od nich praktické i teoretické znalosti. Produktivita a jakost práce jsou podmíněny kvalifikací pracovníků. Má-li se při výrobě co nejhospodárněji využít drahých investic, zejména strojů zahraniční výroby, je nutno, aby se pracovníci v tomto odvětví co nejdůkladněji seznámili s teorií a praxí výroby ozubených kol. Ozubená kola lze obrábět různými metodami na příslušných strojích. Vhodná metoda obrábění i stroj se volí podle požadavků kladených na ozubená kola, a to podle požadované přesnosti ozubení, druhu a velikosti ozubených kol a podle hospodárnosti výroby. V běžné praxi používáme téměř výhradně evolventního ozubení. Z důvodu dobrých provozních podmínek tj. dobrý záběr i při změněné osové vzdálenosti kol a pro dokonale přesnou a hospodárnou výrobu jednoduchými nástroji[26].

2.1 Výroba ozubení frézováním

2.1.1 Frézování odvalovacím způsobem

Frézování odvalovacím způsobem je už po mnoha let vůbec nejproduktivnější metodou pro výrobu ozubených kol. Při frézování odvalovacím způsobem vzniká profil zubu tím, že se obrobek kola odvaluje po odvalovací fréze (*Obr. 17.*). Během obrábění fréza koná otáčivý hlavní řezný pohyb a přímočarý posuv ve směru osy obráběného kola. Obráběné kolo upnuté v otočném stole stroje se otáčí kolem své osy[15,8,5].



Obr. 17. Odvalovací způsob výroby [5]

Řezný pohyb je tedy vyvozen rotací frézy, obrobek rotuje otáčkami tak, že se za jednu otáčku frézy pootočí o jednu zubovou rozteč, čímž se plynule frézují všechny zuby. Jednou odvalovací frézou lze obrábět ozubená kola stejného modulu s libovolným počtem a sklonem zubů[27].

Kinematika řezného pohybu vychází z podmínky:

$$\frac{n_0}{n} = \frac{z}{z_0} \quad (21)$$

kde: n_0 - otáčky obráběného kola [min^{-1}]

n - otáčky odvalovací frézy [min^{-1}]

z_0 - počet zubů obráběného kola

z - počet chodů odvalovací frézy

Při frézování přímých zubů musí být osa frézy skloněna k obrobku o úhel β , který odpovídá úhlu stoupání šroubovice na roztečném válci. Fréza se vyklání podle pravého nebo levého sklonu zubů. Jestliže tedy obrobek vykoná jednu otáčku kolem své osy, fréza vykoná tolik otáček, kolik má mít vyráběné kolo zubů[23].

Frézování odvalovacím způsobem se provádí na odvalovacích frézách (*Obr. 18.*). Na odvalovacích frézách se obrábějí ozubená kola čelní s přímými a šikmými zuby, šneková, řetězová kola nebo třeba drážkové hřídele. Většina odvalovacích fréz pracuje nesousledným způsobem, a to shora dolů. Sousedným způsobem – zdola nahoru pracují frézky novější. Umožňují zvýšit řeznou rychlost o 20 až 40% a posuv až o 80% [27,23,26].



Obr. 18. Odvalovací frézka OFA 75 CNC 6 [28]

Hlavní důvody, proč je odvalovací způsob výroby výhodnější než dělicí:

- Jednou odvalovací frézou lze frézovat všechny počty zubů pro jednu rozteč
- Frézování je rychlejší
- Boky zubů jsou přesnější a rozteče stejnoměrnější

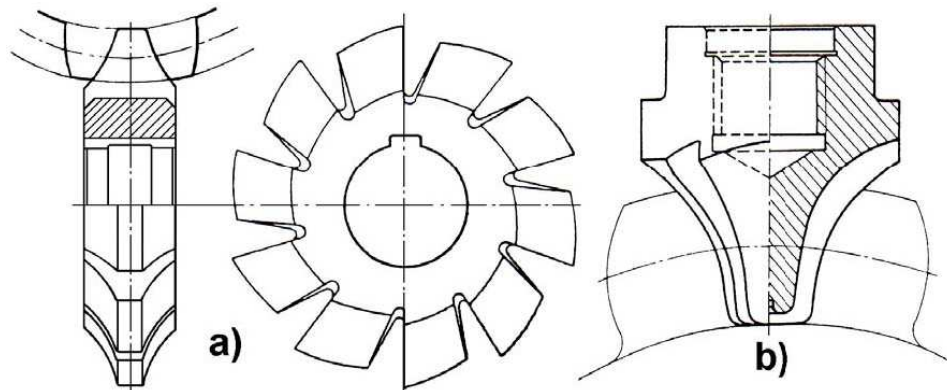
Odvalovací frézování patří k velmi produktivním způsobům obrábění ozubených kol, vyžaduje složitý systém nastavování a řízení potřebných pohybů obráběcího stroje, klade však vysoké nároky na kvalifikaci a zkušenost obsluhujícího pracovníka. V praktické části budu popisovat všechny úkony potřebné k výrobě ozubených kol s přímým ozubením[27,5].

2.1.2 Frézování dělicím způsobem

Při frézování dělicím způsobem se obrobí jedna zubová mezera, poté se obrobek upnutý v dělicím stroji pootočí o jednu zubovou rozteč a frézuje se další zubová mezera, až se vyrobí celé ozubené kolo. Tímto způsobem se čelní ozubená kola frézují převážně v kusové výrobě[27].

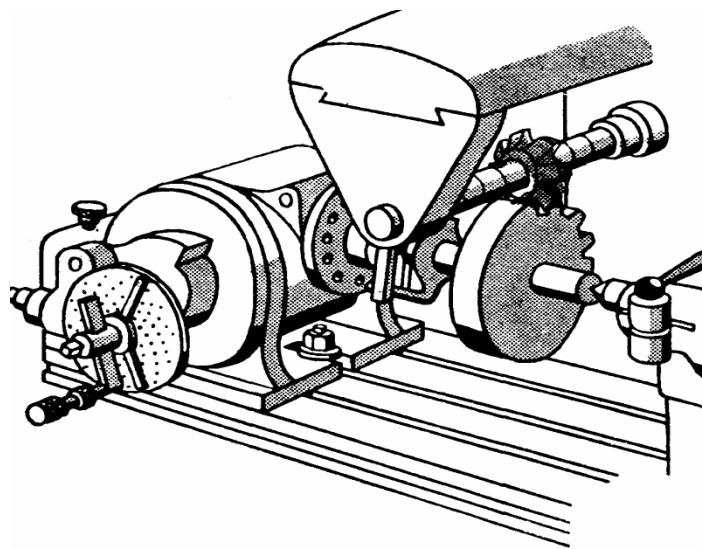
Čelní ozubená kola s přímými zuby se frézují tzv. tvarovými nástroji. Profil zubu tvarového nástroje odpovídá buď zcela, nebo dostatečně přesně tvaru zubní mezery. Při obrábění zubů čelních kol těmito nástroji se pracuje dělicím způsobem, tedy bez odvalu. Mezi tvarové nástroje používané nejčastěji touto metodou jsou: kotoučové modulové frézy

a stopkové modulové frézy (Obr. 19.). Čepové frézy se používají zejména při výrobě ozubení s velkými moduly ($m = 20$ až 75 mm).



Obr. 19. a) Kotoučová modulová fréza b) stopková modulová fréza[27]

Protože tvar profilu zubové mezery je pro určitý modul závislý na počtu zubů obráběného kola, teoreticky by pro každý modul a počet frézovaných zubů byla zapotřebí samostatná fréza odpovídajícího tvaru. To by ale znamenalo neúnosné rozšíření sortimentu nástrojů, podstatné snížení efektivity výroby a zvýšení provozních nákladů. Proto se v praxi používá jeden nástroj s daným modulem vždy pro určitý rozsah zubů a všechny modulové frézy jsou dodávány v sadách[26,27,15].



Obr. 20. Dělicí přístroj[23]

U větších modulů frézujeme zubní mezeru na dva záběry, jeden cyklus hrubovací a druhý načisto. U modulů menších frézujeme na jeden záběr.

K nevýhodám dělicího způsobu frézování patří malá přesnost a nízká výrobnost způsobená tím, že proces není plynulý. Mezi výhody patří jednoduchost, nízká cena nástroje a možnost použití běžných obráběcích strojů[27].

2.2 Výroba ozubení obrážením

Odvalovací a profilové obrázení je jednou z nejuniverzálnějších metod pro obrábění ozubení a profilů. Je nezastupitelnou metodou nejen pro výrobu ozubení tradičních tvarů (vnitřní ozubení), ale i pro zvláštní použití u nekruhových součástí. Obrážením můžeme vyrábět přesné čelní kola s rovnými, šikmými, šípovými zuby na příslušných odvalovacích strojích a obrážečkách Sunderland a Maag[8,26].

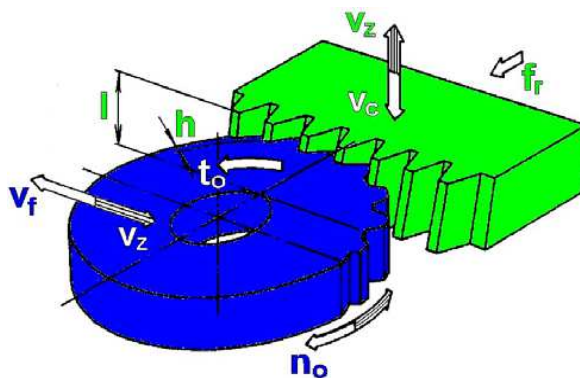
2.2.1 Odvalovací obrázení hřebenovým nožem Maag

Obrázení ozubení čelních ozubených kol hřebenovým nožem je založeno na principu záběru ozubeného hřebene (nástroj) s ozubeným kolem. Nástrojem je obrázecký hřebenový nůž, který vykonává přímočarý vratný pohyb.

Hřebenové obrázecké nože jsou z nástrojů na výrobu ozubení nejjednodušší (z hlediska tvaru, geometrie, výroby i ostření) a nejpřesnější, což se projevuje na přesnosti vyráběných ozubených kol. Stupeň přesnosti dosahuje IT 4. až 5.

Profil boků zubů na obráběném kole vzniká:

- Otáčením obráběného kola kolem pevného středu, při čemž nástroj vykonává sdružený odvalovací pohyb přímočarý (metoda Sunderland)
- Tím, že obráběné kolo vykonává sdružený odvalovací pohyb otáčivý i přímočarý, při čemž nástroj se nepohybuje (metoda Maag)



Obr. 21. Obrázení metoda Maag [27]

Využitím obou principů odvalování byly zkonstruovány dva odlišné typy strojů pracujících obrážením hřebenovým nožem. Hlavní rozdíl je tedy ve výrobě profilu zubu. Obrážčečky Sunderland jsou však u nás velmi málo rozšířeny. Využívá se nejčastěji metoda Maag[26,27].



Obr. 22. Odvalovací obrážčečka OHA 50 CNC 5 [31]

Princip metody Maag:

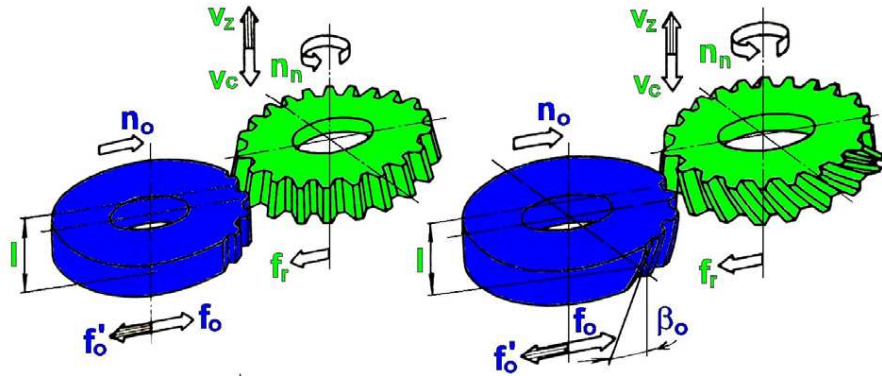
Celý odvalovací pohyb koná obráběné kolo, které se s upínacím stolem otáčí kolem svislé osy a zároveň se posouvá podél nože ve směru otáčení (Obr. 21.).

Nástroj je upnut vodorovně v držáku smykadla, které koná svislý vratný řezný pohyb. Břity obrážecího nože ubírají třísku jen při zdvihu dolů, směrem k obráběnému kolu. Při zpětném zdvihu je nůž od obrobku odklopen.

Při obrábění čelních kol s přímými zuby pohybuje se smykadlo stroje rovnoběžně s osou obrobku, kdežto při obrábění šikmých zubů je smykadlo natočeno k ose o úhel sklonu zubů β . Vlastní obrážení zubů kola je řízeno automaticky až do konce, kdy počítač stroj vypne[26,27].

2.2.2 Odvalovací obrážení kotoučovým nožem Fellows

Obrážení kotoučovým nožem je založeno na principu záběru dvou ozubených kol bez vůle, tzn., že při obrážení se nástroj i obrobek po sobě odvalují tak, jako by spolu zabírala dvě čelní ozubená kola (Obr. 23.).



Obr. 23. Obrážení metodou Fellows [27]

Nástroj je upnutý ve smykadle a koná přímočarý vratný pohyb ve směru své osy. Kombinací pohybů je vytvořen výsledný evolventní profil zubů. Při zpětném pohybu se obrobek oddaluje od nástroje, aby se břity netřely o obroubenou plochu, čímž by mohlo dojít k poškození, nebo ke zhoršení jakosti obroubené plochy. Přesnost výroby se pohybuje kolem IT 6-7.

Obrážecí kotoučové nože jsou vyráběny z rychlořezných ocelí. Kotoučovými noži lze obrábět i vnitřní ozubení. Šikmé ozubení se obráží nástrojem s přímými nebo šikmými zuby, který v průběhu pracovního dvojzdvihu (do záběru, ze záběru) koná pomocí šroubovitých vodítek přidavný rotační pohyb ve šroubovici s úhlem sklonu zubů obráženého kola[26,27].

2.3 Výroba ozubení protahováním

Pro výrobu ozubení vnějších i vnitřních čelních kol lze ve velkosériové a hromadné výrobě s výhodou použít protahování (např. v automobilovém průmyslu). Nástrojem je protahovací trn, který může být vyroben z rychlořezné oceli jako celistvý, nebo má těleso ze zušlechtěné konstrukční oceli, na němž jsou upevněny zubové segmenty z rychlořezné oceli.

Vnější ozubení se vyrábí dělicím způsobem, kdy po protažení jedné zubové mezery se dělicí přístroj s upnutým obrobkem pootočí o jednu zubovou rozteč a celý cyklus se opakuje. Mimo plochých protahovacích trnů lze použít i kruhové nástroje (Obr. 24.).



Obr. 24. Protahovací trny kulaté [31]

Vnitřní ozubení se protahuje najednou, nástrojem válcového tvaru, který má po obvodu rozmístěny břity ve tvaru zubových mezer obráběného kola.

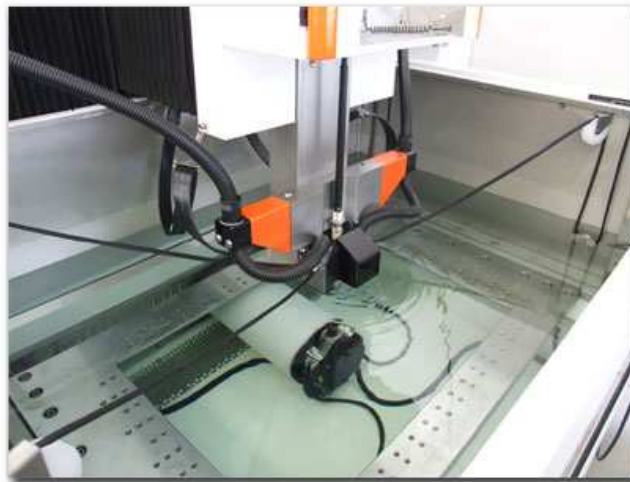
Pro každý průměr, modul a tvar zubu je potřeba zvláštní nástroj, který je velmi nákladný. Proto je protahování vhodné pouze pro velkosériovou a hromadnou výrobu, což platí pro vnější, ale zvláště pro ozubení vnitřní. Přesnost vyrobeného ozubení je přímo závislá na přesnosti výroby protahovacího nástroje [27].

2.4 Nekonvenční metody výroby ozubených kol

2.4.1 Řezání drátovou elektrodou

Princip elektroerozivního řezání drátovou elektrodou ukazuje (*Obr. 25.*). Nástrojovou elektrodu tvoří tenký drát. Aby se předešlo nadměrnému opotřebení, odvíjí se pomocí speciálního napínacího mechanismu. Drát je většinou měděný, pro větší průměry se používá mosazný a na velmi jemné řezy molybdenový o průměru 0,03 až 0,007 mm.

Mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem vznikají elektrické výboje. Nástrojová elektroda tvořená drátem je nástroj, který může odebírat materiál v každém směru a ve spojení s vhodným řídicím systémem je možné přesně obrábět i velmi složité tvary. Proces řezání je vždy prováděn buď ve vodní lázni či dielektriku.



Obr. 25. Princip řezání drátovou elektrodou [37]

Přesnost vyřezaných tvarů je dána vlastnostmi stroje, přesností vedení a napnutí drátu, přesností CNC řídicího systému, stabilitou nastavených parametrů generátoru a kvalitou přívodu a čištění dielektrika. Je důležité, aby nástrojová elektroda vstupovala do místa řezání dokonale napnutá a vyrovnaná.

Dosahované technologické parametry při elektroerozivním řezání drátovou elektrodou:

- Maximální úběr materiálu je 35 až $200 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$
- Přesnost rozměru a tvaru závisí na tepelné stabilizaci stroje (při kolísání teploty $\pm 3^\circ\text{C}$ je přesnost $\pm 3 \mu\text{m}$, při kolísání teploty $\pm 1^\circ\text{C}$ je odchylka $\pm 1 \mu\text{m}$)
- Maximální tloušťka řezaného materiálu 350 mm
- Jakost obrobeneho povrchu $R_a = 0,15$ až $0,3 \mu\text{m}$

Pro výrobu ozubených kol bude však tato metoda ostatně jako všechny metody popsané nekonvenčními metodami velmi nákladná[36,37].

2.4.2 Řezání vodním paprskem

Technologii řezání paprskem lze využít pro dělení nejrůznějších materiálů, např. ocelí (konstrukčních, legovaných, tepelně zpracovaných, návarových s extrémní tvrdostí), slitin hliníku, titanu, mědi, niklu, sklolaminátu, kompozitu, plastů, dlažby, skla, překližky, balzy a jiné.

Pracovní tlak vody pro řezání vodním paprskem se pohybuje v rozmezí 200 - 400 MPa . Tlakovým zdrojem jsou speciální vysokotlaká čerpadla, která se liší příkonem 11 - 150 kW a průtokem vody $1,2$ - $5,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené tryskou. Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba

použít abrazivní paprsek. Po provedení řezu se směs vody a abraziva zachycuje v lapači, umístěné pod řezaným materiálem.



Obr. 26. Řezání vodním paprskem[39]

Pohyb řezací hlavy a tedy i celá dráha řezu je řízena počítačem dle předem sestaveného programu. Je možné provádět i tvarově složité řezy během jedné operace. Dělený materiál není silově namáhán. Řezná hrana není nijak tepelně ovlivněna, vždy jde o studený řez. Tato skutečnost je velmi důležitá a také rozhodujícím způsobem odlišuje vodní paprsek od ostatních technologií zvláště laseru a vysoce přesné plazmy. Přesnost řezu je $\pm 0,1 \text{ mm.m}^{-1}$. Pro výrobu ozubených kol se tato metoda však příliš nepoužívá[38].

2.4.3 Řezání plamenem

Metoda řezání plamenem je založena na principu spalování kovů v proudu kyslíku.

Zařízení pro řezání plamenem:

- Láhve se stlačenými plyny
- Redukční ventily
- Hadice k přívodu hořlavého plynu a kyslíku
- Řezací hořák

Podmínky pro řezání plamenem:

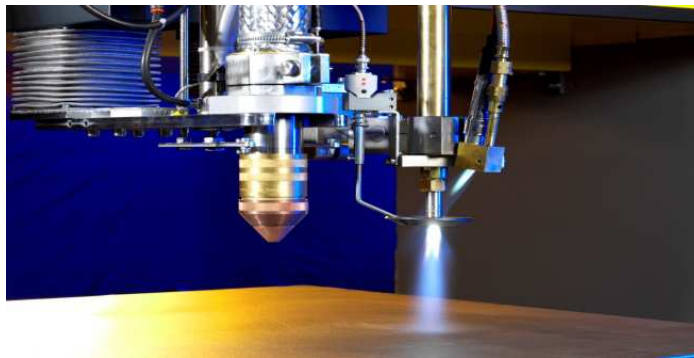
- Zápalná teplota základního materiálu musí být nižší než jeho teplota tavení
- Při řezání musí vznikat dostatečné množství tepla k ohřátí základního materiálu
- Řezání materiálu větší tloušťky (nad 300 mm) vyžaduje ohřev místa řezu na zápalnou teplotu v celé tloušťce materiálu

Podmínky pro řezání splňuje pouze ocel s nízkým obsahem uhlíku (do 0,7 %). Oceli s vyšším obsahem uhlíku, oceli chromové, chromniklové, šedou litinu a neželezné kovy lze dělit pouze speciálními způsoby tepelného dělení.

Princip řezání plamenem:

Středem řezací trubice proudí řezací kyslík a mezikružím mezi řezací a nahřívací hubicí je přiváděna směs plynů ($C_2H_2+O_2$). Předehřívacím plamenem se ohřeje okraj řezaného materiálu na zápalnou teplotu – pro ocel asi $1100^{\circ}C$ (červené zbarvení).

Následně se otevře ventilek řezacího kyslíku. Kyslík proudící otvorem řezací hubice spaluje předehřátý kov a svým tlakem vyfukuje zplodiny hoření ze spáry. Ohřívacím plamenem a spalováním materiálu se udržuje dostatečná teplota, aby řez mohl plynule postupovat až do rozdělení materiálu[40].



Obr. 27. Řezání plamenem [41]

3 KONTROLA OZUBENÝCH KOL

Ozubená kola patří mezi důležité dílce strojírenské výroby. Jelikož se používá stále více rychloběžných a vysoce výkonných strojů, které musí mít velkou účinnost a tichý chod, kladou se na ozubená kola stále vyšší požadavky.

Tyto požadavky jsou závislé na účelu a podmínkách použití ozubeného kola. Z hlediska správného záběru a bezhlučného záběru a přenosu krouticího momentu musí spoluzabírající ozubená kola splňovat podmínky:

- Správnosti a přesnosti tvaru zubů a kvality povrchu
- Přesnost tloušťky zubů
- Minimální házivosti jak radiální, tak čelní
- Vrtání náboje a střed roztečné kružnice musí být totožné

Výroba i kontrola ozubení je vzhledem ke složitému geometrickému tvaru náročná na vybavení měřicími prostředky i na čas, potřebný k seřízení a kontrole. V dnešní době se využívá výhradně moderních měřících strojů[32].

3.1 Kontrola rozměrů přes zuby

Měření tloušťky zubu čelních kol s přímými zuby přes několik zubů je velmi rozšířené v praxi a určuje se jím přímo boční vůle.

Výhody tohoto měření jsou:

- Použití jednoduchého měřidla (nejčastěji talířový mikrometr)
- Lze měřit přímo na stroji při výrobě
- Podle změřeného profilu lze snadno určit posunutí základního profilu, tedy hodnotu, o niž je třeba posunout nástroj k dokončení obrábění
- Měření není závislé na přesnosti hlavové kružnice, nýbrž na přesnosti obrobených boků zubů

Mezi hlavní nevýhody patří složitý výpočet. Ovšem všechny rozměry přes zuby lze dohledat v tabulkách.

Jako první musíme vypočítat počet zubů, přes které se měří:

$$z' = \frac{z \cdot \alpha}{180} + 0,5 \quad (22)$$

kde: z – počet zubů ozubeného kola

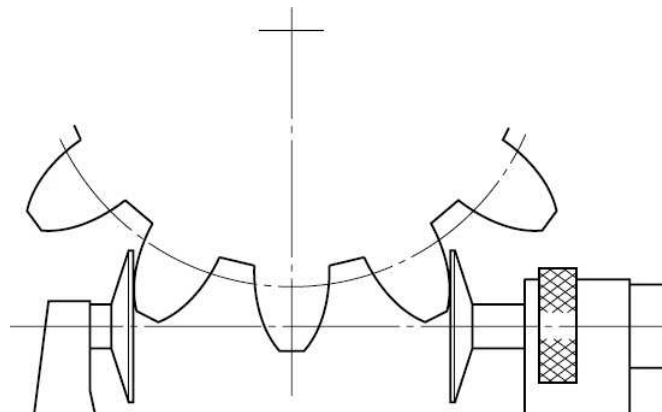
α – úhel záběru (15 nebo 20°)

Poté se vypočítá jmenovitý rozměr přes zuby, který můžeme dohledat pro složitost v tabulkách, ale nesmíme tento nalezený údaj vynásobit modulem [10,20].

$$W = m \cdot [\pi \cdot \cos \alpha \cdot (z' - 0,5) + z \cdot \cos \alpha \cdot ev\alpha] \quad (23)$$

$$ev\alpha = tg \alpha - arc\alpha \quad (24)$$

$$arc\alpha = \frac{\pi}{180} \alpha \quad (25)$$



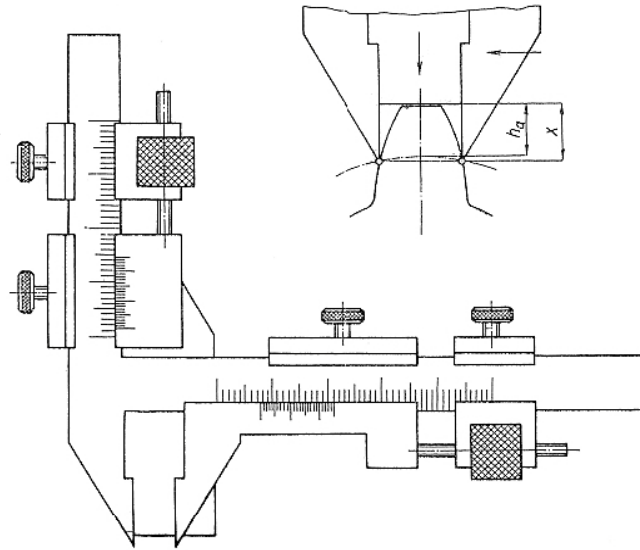
Obr. 28. Měření rozměru přes zuby [33]

3.2 Měření tloušťky zubu

Měření tloušťky zubu u ozubených kol měříme pomocí zuboměru (Obr. 29.). Měření zjišťujeme, zda bude při záběru zubu dodržena stanovená vůle na dané osové vzdálenosti. Nepoužívá se pro přesná měření, neboť je závislá na přesnosti hlavové kružnice.

Princip:

Zuboměr je kombinací posuvného měřidla a hloubkoměru, které spolu svírají úhel 90° . Hloubkoměr nastavíme tak, aby měření tloušťky zubu posuvným měřidlem probíhalo v místech roztečné kružnice. Potřebné hodnoty najdeme v tabulkách (normách např.) a jsou stanoveny pro příslušný počet zubů, úhel záběru a modul = 1. Hodnoty získané z tabulek pouze vynásobíme danou hodnotou modulu [10,23].



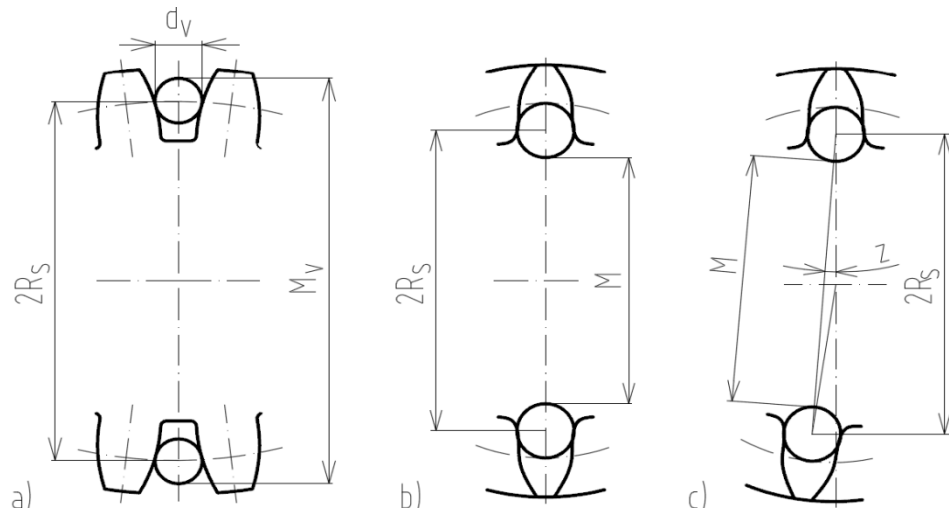
Obr. 29. Měření tloušťky zubů zuboměrem [23]

3.3 Kontrolní rozměr zubů přes válečky

Měření ozubených kol přes válečky vložené do zubních mezer pro určení úchytky tloušťky zubů se sice v praxi používá, ale má však své nevýhody:

- Rozměry, které se mají měřit, jsou vždy podstatně větší než při měření přes zuby, takže nepřesnost tím vzniklá je větší než u měření přes zuby
- Válečky a zvláště kuličky se špatně udržují v mezerách mezi zuby
- Je třeba mít určitou sadu válečků a zvolit vždy nejbližší větší průměr ze sady k průměru určenému z rovnice (26)

Průměr válečků je závislý na počtu zubů. Měření zubů přes válečky nebo kuličky se používá pro měření vnitřního i vnějšího ozubení [3,17].



Obr. 30. Kontrola a) vnějšího ozubení b) vnitřního ozubení se sudým počtem zubů c) vnitřní ozubení s lichým počtem zubů [17]

Výpočet průměru válečku:

$$dv = \frac{Dr \cdot \sin \frac{\pi}{2z}}{\cos \left(\alpha + \frac{\pi}{2z} \right)} \quad (26)$$

kde: dv [mm] – průměr válečku

Dr [mm] – průměr roztečné kružnice

z [-] - počet zubů

α [°] - úhel záběru nástroje

Výpočet rozměrů přes válečky:

a) Ozubení vnější se sudým počtem zubů

$$Mv = 2Rs + dv \quad (27)$$

b) Ozubení vnější s lichým počtem zubů

$$Mv = 2Rs \cdot \cos \frac{90}{z} + dv \quad (28)$$

c) Ozubení vnitřní se sudým počtem zubů

$$M = 2Rs - dv \quad (29)$$

d) Ozubení vnitřní s lichým počtem zubů

$$M = 2Rs \cdot \cos\left(\frac{90}{z}\right) - dv \quad (30)$$

kde: M_v [mm] – rozměr přes válečky vnějšího ozubení

M [mm] – rozměr přes válečky vnitřního ozubení

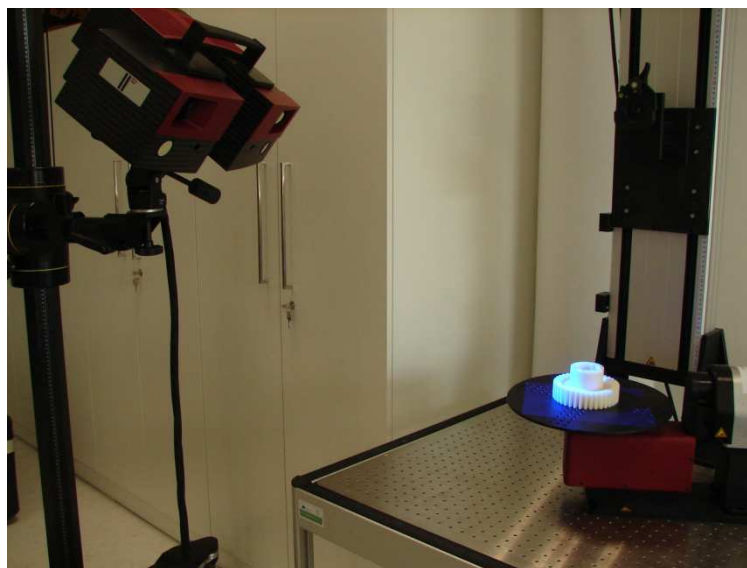
dv [mm] – průměr válečku nebo kuličky

Rs [mm] – poloměr kružnice od středu kola ke středu válečku

z [-] - počet zubů

3.4 Měření tvaru zubu projekcí

K měření profilu ozubených kol a nástrojů na obrábění zubů lze s výhodou použít projektorů. Měří se na nich tak, že se srovnává obrys měřené součásti promítnutý na matnici, s obrysem součásti, který je narýsován na téže matnici v určitém měřítku. Na projektoru lze též zjišťovat, zda je rozměr správný, a to podle toho, je-li obrys součásti mezi dvojitým obrysem nakresleným podle mezních rozměrů součásti.



Obr. 31. Měření tvaru zubu projekcí

Projektorů se používá nejen k měření tvarových součástí, nýbrž i pro měření délková a úhlová.

Zvětšení projektoru je nepřímo úměrné zornému poli. Větší zvětšení je tedy méně výhodné, protože se tím zmenšuje velikost zorného pole.

V našich národních podnicích, které se zabývají výrobou nástrojů na ozubení, se používají nejčastěji přístroje SIP, Hauser a Zeiss[20].

3.5 Kontrola házivosti

Nepřesnosti v ozubení kola mohou způsobit kromě úchylek úhlu záběru a vůle ještě úchylky tzv. obvodové házení. Obvodové házení vzniká, není-li vrtání tělesa souosé s jeho ozubením, dále úchylky tvaru boku zubu, nerovnoměrnost rozteče a nerovnoměrnost zubů s osou.

Házení bývá zaviněno špatným upnutím obrobku kola při obrábění zubů. Obvodovou házivost kontrolujeme číselníkovými úchylkoměry. Moderní přístroje na měření házivosti bývají připojeny přes počítač, kde běží speciální software a monitoruje rzivosti a úchylky do grafu[20].



Obr. 32. Systém SIMMY pro měření házivosti [34]

3.6 Kontrola profilu

K tvaru profilu zubu se musí přihlížet především, neboť na výsledky měření druhých určovacích veličin má tvar zubu určitý vliv.

- Přesnost tvaru profilové křivky je ovlivněna způsobem obrábění ozubení, seřízením stroje, parametry a nastavením nástroje
- Odchytky profilu zubu se kontroluje na přístroji, který vytváří přesnou evolventu tím, že se odvaluje pravítko po kotouči, který má stejný průměr jako základní kružnice kontrolovaného kola
- Přístroj je opatřen dotykem, který se odvaluje po profilu zubu
Dle konstrukce dělíme přístroje evolventoměry na dva typy:
 - S pevnou základní kružnicí – použití v sériové výrobě
 - Se stavitelnou základní kružnicí – pro výzkumné účely

Princip evolventoměru s pevnou základní kružnicí:

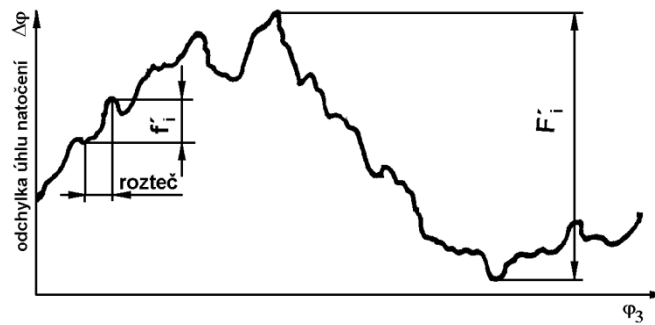
- Kontrolované ozubené kolo a kotouč o průměru základní kružnice kontrolovaného kola se upínají na trn přístroje
- Kruhový kotouč přiléhá k pravítku, které je spojeno se suportem
- Na suportu je otočná dvouramenná páka, jejíž jeden konec vytváří dotek a druhý je v záběru se zapisovací pákou
- Je-li profil zubu odchýlen od evolventy, pisátko nakreslí čáru vlnitou[10]

3.7 Moderní metody měření

V dnešní době se vyžadují daleko přesnější metody měření. Spousta firem dnes využívá moderních měřících přístrojů, které jsou však mnohdy velmi nákladné, avšak nezbytné. Nejčastěji se využívá komplexního měření, kdy přístroje, které jsou napojeny přes počítač a pomocí softwaru měří několik parametrů ozubených kol.

Komplexní metodou měříme dvěma způsoby:

- Jednobokým odvalem
 - Princip kontroly a odchylka jednobokým odvalem je zobrazena na *Obr. 33*.
 - Základní metoda hodnocení kinematické přesnosti
 - Osová vzdálenost ozubených kol je stálá
 - Rychlost otáčení je malá, tzn., že případné geometrické odchylky ozubení se projeví v nerovnoměrném pohybu kontrolovaného kola
 - Používá se při kontrole správnosti smontovaných párů ozubených kol, tak i jednotlivých ozubených kol
 - Případné rozdíly se zaznamenávají do grafu



Obr. 33. Graf jednobokého odvalu[10]

- Dvoubokým odvalem
 - Jde o metodu zjišťování kombinovaných odchylek a házivosti
 - Osa jednoho kola je pevná, druhé je dotlačováno k prvnímu tak, aby byl zajištěn oboustranný dotyk
 - Rychlost otáčení je malá, geometrické odchylky kontrolovaného kola se projeví ve změně osové vzdálenosti spoluzabírajících kol
 - Odchylky je možno zaznamenat graficky

Přesné měřicí stroje na ozubení využívají metod jednobokého, dvoubokého odvalu, komplexní měření úchylek ozubení kontrolním dotykem (kuličkou). Měření jsou úchylky profilu (evolventy), šroubovice, rozteče i radiální házení. Vyhodnocuje se pomocí počítače s příslušným softwarem, který je napojen na měřicí přístroj. Dostáváme velmi přesných výsledků, ovšem cena těchto moderních přístrojů je velmi vysoká[10].



Obr. 34. Měřicí přístroj[30]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÝCH KOL

Cílem praktické části je vyrobení čelních ozubených kol z různých materiálů podle výkresové dokumentace v příloze PI a II, jejich následná kontrola přesnosti a určení vhodnosti použití. Výsledkem kontroly byly odlišnosti v úchylných roztečích, sklonů, profilů a obvodového házení, které byly porovnány s přípustnými hodnotami podle jakosti 6 DIN 3962.

Podle technologického postupu a výkresové dokumentace se obrobil a zhotovil obrobek pro výrobu ozubených kol. Vždy se jedná o spojení do tzv. soukolí. Jde o soukolí typu V, kdy velké kolo je N a pastorek +V (Viz. Kapitola 1.3.1 Čelní soukolí). Všechny ozubená kola byla vyrobena ve firmě OZKA v Uherském Brodě.

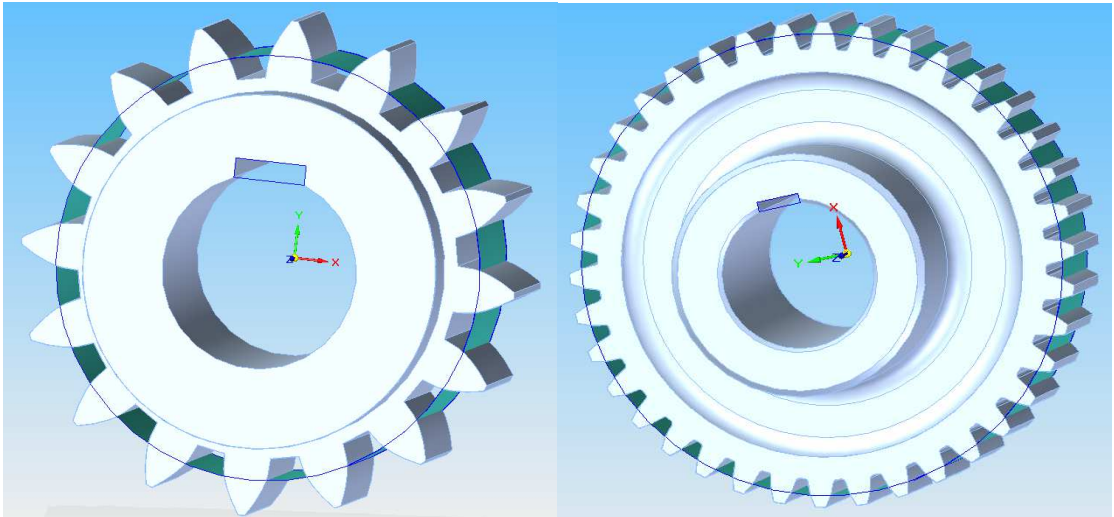
Tab. 1. Použité materiály

Použité materiály při výrobě ozubených kol		
Soukolí	Materiál	Označení
pastorek+kolo	ocel	1.7131 (ČSN 14220.3)
pastorek+kolo	plast	Ertalon PA 6G přírodní (slonovina)

Tab. 2. Fyzikální vlastnosti Ertalonu PA 6G

Fyzikální vlastnosti Ertalonu PA 6G	
Hustota	1,15 g/cm ³
Teplota tání	220 °C
Tvrdost (metoda kuličkou)	165 N/mm ²
Modul pružnosti	3500 Mpa
Mez kluzu	85 Mpa
Deformace při přetržení	25%
Koeficient teplotní roztažnosti (23-60°C)	80.10 ⁻⁶ m/(m.K)

Aby nedocházelo k záměnám kol, bude označováno malé ozubené kolo pastorkem a velké ozubené kolo kolem. V Tab. 2. jsou znázorněny základní parametry ozubení pastorku a kola. Další rozměry a číselné hodnoty jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci v přílohách PI a PII.



Obr. 35. Návrh pastorku (vlevo) a ozubeného kola (vpravo)

Tab. 3. Základní rozměry obou vyráběných ozubených kol

Pastorek		Kolo	
Počet zubů	16	Počet zubů	38
Modul	3	Modul	3
Úhel záběru	20°	Úhel záběru	20°
Zuby	přímé korigované	Zuby	přímé nekorigované

4.1 Stanovení technologického postupu obrábění

Obrábění součásti bylo prováděno na hrotovém soustruhu TOS SU 40/1500. Drážka pro pero byla zhotovena na svislé jednostojanové obrážce 7A412. Technologické postupy s vypočtenými strojními časy a řeznými podmínkami jsou k dispozici pro ozubené kolo v příloze PIII a pro pastorek v příloze PIV.



Obr. 36. Na levé fotce hrotový soustruh SU40, na pravé obrážecí stroj 7A 412

Tab. 4. Parametry soustruhu SU40 a obrážecího stroje 7A 412

Soustruh TOS SU40/1500		Svislá jednostranová obrážka 7A412	
Vzdálenost mezi hroty	1500 mm	Největší průtažná síla	7000 N
Průměr sklíčidla	200 mm	Výška obrážení	100 mm
Výkon elektromotoru	7,5 kW	Upínací plocha stolu	ø 360 mm
Hmotnost stroje	2000 kg	Hmotnost stroje	1050 kg
Největší hmotnost obrobku	400 kg	Počet rychlostí smykadla	4
Průměr sklíčidla	200 mm	Největší průřez nástroje	16x24 mm
Posuv v podélném rozsahu	0,05-6,4 mm/ot.	Vzdálenost stolu od vedení smykadla	240 mm
Posuv v příčném rozsahu	0,025-3,2 mm/ot.	Výkon hlavního čtyřstupňového elektromotoru	0,8-1,5 kW
Největší kroutící moment na vřetenu	1276 Nm	Rozsah podélných přísuvů stolu	0,1-1 mm/dvojzdvih
Rozměry délka x šířka	2650x1200 mm	Rozsah příčných přísuvů stolu	0,1-1 mm/dvojzdvih

Vzorový výpočet pro operaci 1 b) - pastorek:

- pro soustružení podélného posuvu

$$t_{as} = L / (n \cdot f) = 12,5 / (500 \times 0,8) \times 10 = 0,31 \text{ min} \quad (31)$$

$$v = (\pi \cdot D \cdot n) / 1000 = (\pi \cdot 40 \cdot 500) / 1000 = 62,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (32)$$

$$L = l + l_n + l_p = 10 + 2,5 + 0 = 12,5 \text{ (mm)}$$

$$f = 0,8 \quad n = 500 \quad h = 2$$

Kde:

L celková délka [mm]

l délka obráběné součásti [mm]

l_n délka náběhu nástroje [mm]

lp	délka přeběhu nástroje [mm]
f	posuv [mm/ot.]
n	otáčky [min^{-1}]
h	hloubka záběru [mm]

4.1.1 Technologický postup výroby pastorku a ozubeného kola

Pro vytvoření polotovaru, ze kterého se má frézovat ozubení, bylo nutné soustružit, vrtat, obrážet drážku. Technologický postup kola i pastorku spolu s řeznými podmínkami je uveden v příloze PIII pro kolo a PIV pro pastorek.

4.2 Stroje a nástroje pro výrobu ozubených kol

Stroje a nástroje jsou velmi nákladnou stránkou výroby ozubených kol. Ozubená kola byla vyráběna na starším odvalovacím stroji. V dnešní době se v praxi využívají poněkud modernější stroje. Velkou péčí musíme věnovat frézám. Proto je potřeba je v suchu skladovat, čistit a přebrušovat. Cena stroje se může pohybovat v řádech milionů a odvalovací frézy dle druhu v řádech tisíců až desetitisíců.

4.2.1 Frézovací odvalovací stroj F-06

Celou výrobu soukolí ozubených kol bylo vyráběno na frézovacím odvalovacím stroji značky TOS – FO6 střední velikosti. Na tomto stroji se vyrábí ozubená kola s přímými, šikmými zuby i kola šneková.



Obr. 37. Frézovací odvalovací stroj F-06

Tab. 5. Parametry odvalovacího stroje F-06

Parametry stroje	
Výkon hlavního motoru	5 kW
Hmotnost stroje	4100 kg
Největší frézovaný průměr	600 mm
Rozsah velikosti frézovaného zubu	$m= 1-6$
Svislé přestavení frézovacího suportu	350 mm
Největší frézovaná délka přímých zubů	280 mm
Největší frézovaná délka šikmých zubů 30°	210 mm
Největší frézovaná délka šikmých zubů 45°	190 mm
Zastavěná plocha	5000x2500 mm

Základní části frézovacího odvalovacího stroje:

Lože – unáší převodové šnekové ústrojí otáčivého stolu, na jeho vodorovném loži se posouvá tam i zpět frézovací stojan, z čelní strany unáší ústrojí pro dělicí kola, ústrojí diferenciálního ústrojí a také převodovku na změnu otáček vřetene, za pomoci diferenciálního převodu je spojena posunová převodovka

Stojan – spodní částí se posouvá po vodících plochách lože, posouvá se směrem k otáčecímu se stolu nebo od něj, na svislých vodících plochách se posouvá frézovací suport (nahoru a dolů – ručně, nebo rychloposuvem)

Frézovací suport – od převodového ústrojí hlavní převodové skříně se dostává přes četná soukolí rotační pohyb na vřeteno rotačních nástrojů

Vřeteník – přes dutinu vřetene se pomocí prodlouženého upínacího šroubu upínají frézovací trny nebo vlastní frézy, tuhost těchto elementů zajišťuje opěrné kluzné ložisko v olejové lázni

Upínací stůl – přes upínací drážky pomocí upínacích šroubů se do středícího otvoru stolu upínají upínače obrobku

Svislý a podélný sloup – na loži svislého sloupu se pohybuje posuvný koník s pevným nebo otočným hrotem, podélný sloup zajišťuje tuhost mezi stojanem a svislým sloupem

Pohonné jednotky – hlavní el. motor (pravé a levé obrátky) unáší předlohou hřídel na vstupu převodovky

Mazací a chladicí jednotky – centrální automatické mazání zajišťuje tlakové čerpadlo poháněné el. motorem, chlazení nástrojů zajišťuje zubové čerpadlo spojené s elektromotorem

Elektroinstalace – je pro pohon el. motorů (strojní posuvy, rychloposuvy a zabezpečovacích funkcí stroje)

Příslušenství – představuje upínače (nástrojů a obrobku), nástroje (frézy nástrčné, stopkové, letmé nože a trny), měřidla (mikrometry talířové, kontrolní šneky), měřicí přístroje pro kontrolu (evolventy, házivosti, odchylky pro sklon zubů)

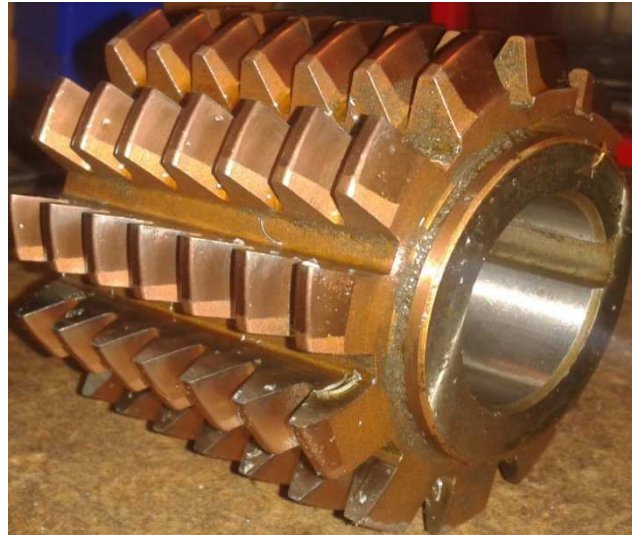
4.2.2 Nástroj pro odvalovací frézování

Odvalovací frézy jsou nedílnou součástí výroby ozubených kol. Je to nástroj, který se vyrábí nejčastěji z materiálu rychlořezných ocelí, kdy jsou následně kaleny na tvrdost minimálně 63 HRC a broušeny otvory a čela na speciálních brousících strojích. Podbroušený profil se směru sklonu se brousí na speciálních podtáčecích strojích[20].

Fréz obecně pro výrobu ozubených kol je celá řada např. kotoučová modulová fréza, čepová fréza, frézy s výměnnými destičkami, frézy pro řetězová kola, odvalovací fréza. Příslušné frézy můžeme dohledat dle norem ČSN.

Výběr nástroje závisí na:

- modulu vyráběného ozubeného kola
- úhlu sklonu
- podle počtu chodů nástroje



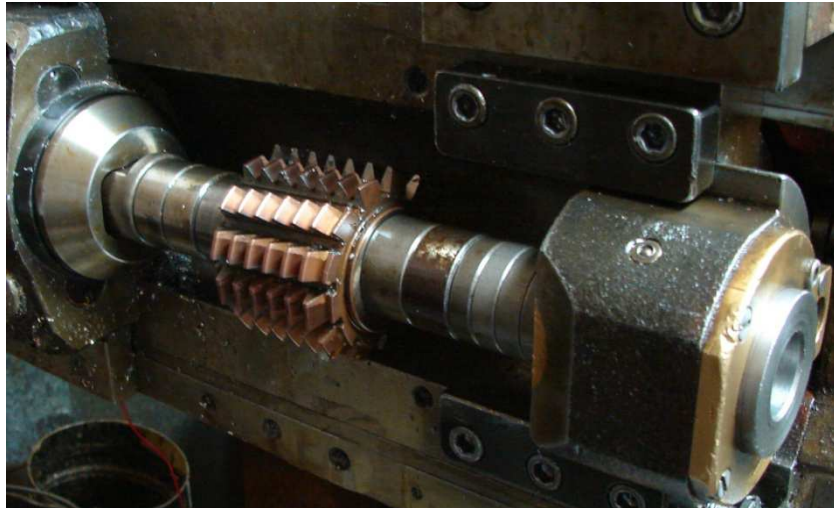
Obr. 38. Použitá fréza

Tab. 6. Parametry nástroje

Parametry nástroje - frézy	
Název	Fréza odvalovací HSS 30
Průměr frézy	80 mm
Modul	3
Úhel záběru	20 °
Úhel natočení šroubovice	2° 25'
Norma nástroje	ČSN 222551
Specifikace	II. ab dokončovací nástrčná

4.3 Upnutí a nastavení nástroje

Ještě před samotným upnutím a nastavením fréz bylo nutné dodržovat čistotu stykových ploch. Důkladně očistit otáčecí stůl, upínací trn a dávat velký pozor, aby se nedostala nečistota do unášecího ložiska, kde by mohlo docházet k zadření a zničení ložiska.



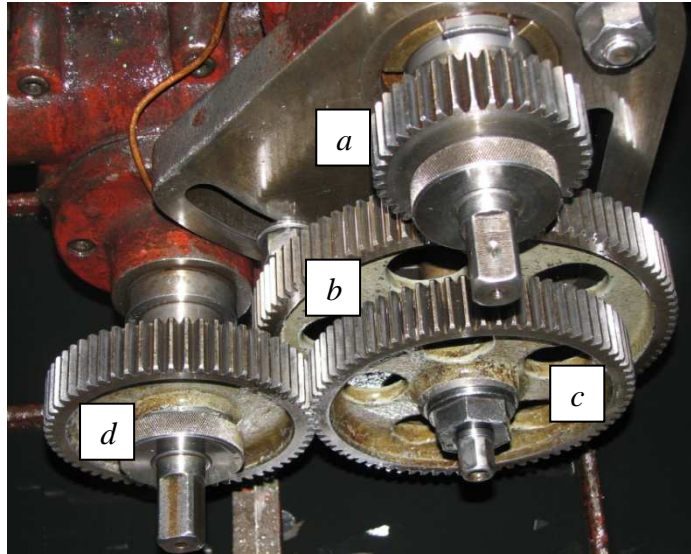
Obr. 39. Upnutí nástroje

- vybereme příslušný upínací trn, jehož průměr volíme podle otvoru v odvalovací fréze
- zasuneme kuželovou část trnu do kuželové dutiny a upneme trn dlouhým šroubem z druhé strany
- nasadíme na trn distanční kroužky tak, aby fréza byla co nejbližší středu jeho délky
- vložíme vybranou frézu a doplníme zbytkem distančních kroužků
- očistíme válcovou část ložiska a promažeme ji kapkou oleje, počkáme až zteče olej až do spodní části a nasadíme ložisko
- dotáhneme upínací lišty pomocí upínacích šroubů
- v neposlední řadě nesmíme zapomenout na vyklonění frézy o úhel stoupání frézy, dosáhneme toho povolením a zpětným utažením frézovacího suportu

4.4 Nastavení výměnných dělicích kol

Nastavení výměnných dělicích kol je velmi důležitou součástí a nesmí se na ni zapomenout. Výměnná dělicí kola slouží pro nastavení počtu zubů obráběného kola. Prostor pro výměnná kola se nachází v zadní části stroje frézky v blízkosti náhonu hlavního motoru.

Nastavují se zde i kola diferenciální, které můžeme najít na boční straně. Tyto kola se nastavují jen v případě, pokud bychom frézovali ozubené kola se sklonem (pravým, levým). S tím souvisí i vložení velkého spojkového kroužku. Při frézování přímých zubů není v činnosti diferenciální převod.



Obr. 40. Nastavení výměnných kol dělicích

- na nejvrchnější hřídel u kola *a* náhonu od motoru nasadíme malý spojkový kroužek
- vložíme do liry postupně kola *a, b, c, d*, mezi koly necháváme přiměřenou vůli
- kola *a, d* zajistíme proti vysunutí odpruženými kroužky
- řádně dotáhneme 2 matice upevňující liru a uzavřeme prostor ochranným krytem

Příslušná dělicí kola *a, b, c, d* a jejich počty zubů a pořadí se nachází v manuálu dodávaného ke stroji.

Tab. 7. Počty zubů výměnných dělicích kol

Počty zubů pro nastavení výměnných dělicích kol		
Pozice	Pro počet zubů 16 - pastorek	Pro počet zubů 38 - kolo
Hnací kolo na čepu <i>a</i>	36	36
Kola na lyře zadní část <i>b</i>	40	76
Kola na lyře přední část <i>c</i>	80	60
Kola na šnekovém hřídeli <i>d</i>	95	90

4.5 Upnutí obrobku a řezné podmínky

- jako první je potřeba vybrat správný upínač opatřený univerzálních sklíčidlem, který pomocí 4 šroubů upevníme na otočný stůl, upínač volíme podle velikosti obrobku, abychom mohli bezpečně ustavit obrobek
- do univerzálního sklíčidla upneme trn, na který nasadíme obrobek

- pomocí šroubů dotáhneme, přisuneme posuvný koník a kontramaticí zajistíme proti samovolnému vysunutí hrotu koníku z důlku trnu

4.5.1 Středění indikátorem

Abychom výrobu ozubených kol měli co nejpřesnější, musí se provést kontrola házivosti pomocí indikátoru. Indikátor se upíná pomocí magnetu na boční stranu stroje. Místo pro měření házivosti se volí libovolně. Toleranci $\pm 0,02$ můžeme považovat za vyhovující. Případné nerovnosti upravujeme vložením tenkých plíšků do prostorů mezi sklíčidlo a trn, tím vyvážíme házivosti na minimální hodnoty.



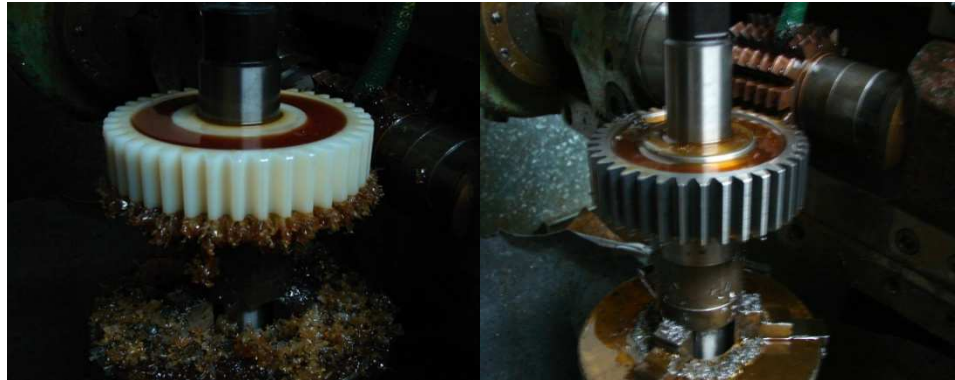
Obr. 41. Kontrola obvodové házivosti

4.5.2 Hloubka řezu

Nastavení hloubky řezu nám znázorňuje vzdálenost od hlavní roztečné kružnici po průměr patní kružnice neboli velikost zubu h .

S otáčejícím se stolem přisuneme frézovací suport k obráběnému kolu, až se rotující fréza dotkne povrchu. Pro kontrolu spočítáme počet zubů.

Tříska se ubírá ve většině případů nadvakrát, někdy i naříkrát. U plastového i kovového obrobku byla tříska odebírána nadvakrát. První tříska byla tzv. hrubovací a druhá dokončovací. Pro kontrolu hloubky řezu pomocí talířkového mikrometru měříme rozměry přes zuby.



Obr. 42. Výroba velkého plastového a kovového kola

4.5.3 Dorazové narážky



Obr. 43. Doraz a ovládací panel stroje

Dorazové narážky tzv. „dorazy“ se používají pro nastavení celkové dráhy, kterou vykonává fréza. Musíme tedy počítat s náběhem a hlavně s výběhem frézy, která činní asi 3-5 mm od frézované šířky kola. Pokud nedojde k výběhu frézy alespoň do její poloviny, nastal by případ nedofrézované délky frézovaného kola.

Na ovládacím panelu stroje v pravé části *Obr. 43.* zapínáme a vypínáme chod stroje a chlazení.

4.5.4 Posuvové rychlosti a otáčky

Na posuvové skříni nastavujeme rychlost frézovacího suportu. Pro hrubování se nastavuje < 0,45 mm na otáčku stolu. Pro frézování načisto 0,6 až 0,8 na otáčku stolu.

Velmi často se také používá rychloposuv, který slouží k rychlému vyjetí nástroje do horní polohy.

V levé části *Obr. 44.* se nachází páka, pomocí které zapínáme strojní automatický posuv. Při docílení spodní frézované úvratě, mechanismus konce frézování automaticky vypne posuv a hlavní pohon elektromotoru. Posuvovým kolem přijíždíme a odjíždíme danou hloubku řezu, nonius pro přesnost se nachází na vodorovné části, kterou můžeme vidět na pravé části *Obr. 44.* Rychlost frézovacího suportu na otáčku stolu regulujeme pákou, kterou vidíme v pravé části fotografie.

Tab. 8. Řezné podmínky při výrobě ozubených kol

Řezné podmínky při výrobě ozubených kol				
	Hrubovací tříška			
	Kovové dílce		Plastové dílce	
	Pastorek	Kolo	Pastorek	Kolo
Otáčky frézy (min^{-1})	120	120	150	150
Řezná rychlost ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	30,2	30,2	37,7	37,7
Posuv na otáčku stolu (mm/ot.)	0,3	0,3	0,45	0,45
Hloubka řezu (mm)	6,5	6,5	6,72	6,72
	Dokončovací tříška			
	Kovové dílce		Plastové dílce	
	Pastorek	Kolo	Pastorek	Kolo
Otáčky frézy (min^{-1})	150	150	170	170
Řezná rychlost ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	37,7	37,7	42,7	42,7
Posuv na otáčku stolu (mm/ot.)	0,6	0,6	0,8	0,8
Hloubka řezu (mm)	6,75	6,75	6,75	6,75



Obr. 44. Posuvové a otáčkové páky

4.5.5 Chlazení při obrábění

Důležitou součástí je i chlazení. Provádí se olejem, který proudí hadičkou přímo mezi nástroj a obrobek. U plastového dílce nebylo zapotřebí tolik chladit, kdežto u kovového

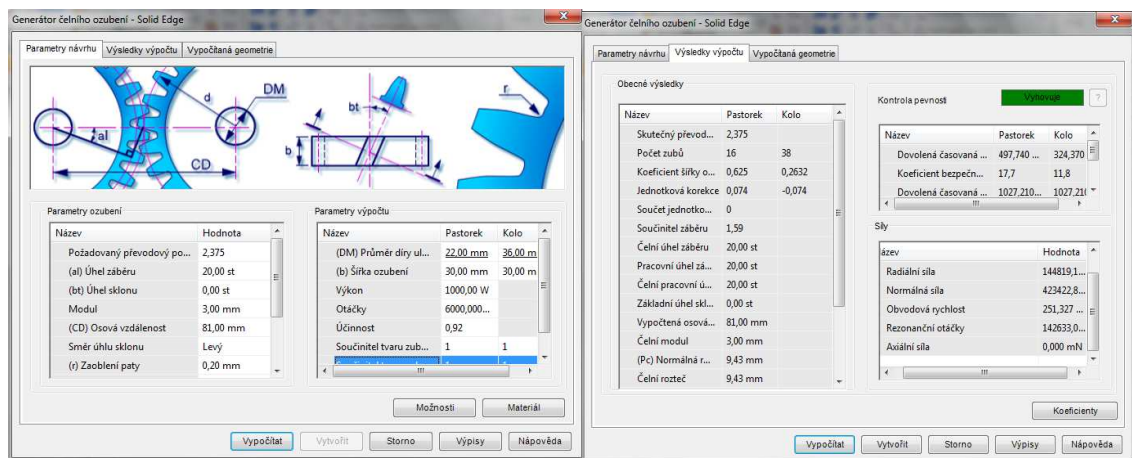
obrobku, který je tvrdší muselo být chlazení intenzivní. Při nedostatku chladícího média může docházet k zahřívání a výraznému opotřebení frézy.

4.6 Zpracování 3D modelů

V další fázi praktické části bylo zpracování 3D modelů. Návrh ozubených kol, včetně simulace soukolí byl vytvořen v programu Solid Edge ST 15. Simulace se nachází v příloze PX, vygenerované ozubené soukolí v příloze PIX.

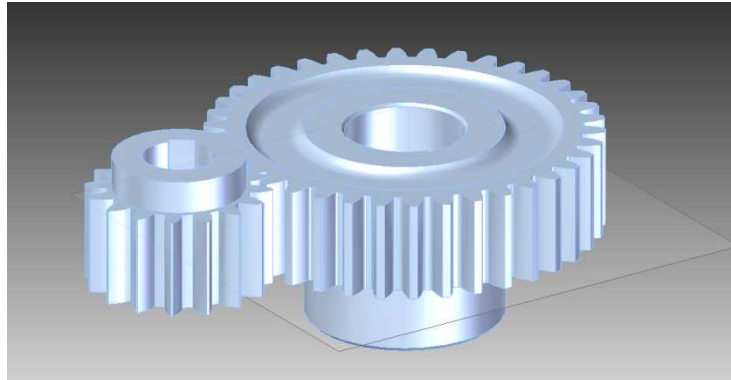
Generátor ozubených kol je velmi přehledný a najdeme ho v prostředí sestavy ve strojírenské knihovně.

Jako první bylo nutno provést vypsání parametrů pro soukolí ozubených kol, které generátor potřeboval pro vytvoření soukolí. Po stisknutí tlačítka „Vypočítat“ byla provedena kontrola pevnosti, která vyhověla.



Obr. 45. Generování ozubení v programu Solid Edge

Nevýhodou při generování soukolí byla korekce ozubení, kterou program nebyl schopen zpracovat. Z tohoto důvodu se plusová korekce u pastorku upravila v náčrtu součásti, stejně tak jako drážka pro pero. Jelikož má pastorek 16 zubů, je vhodné udělat korekci, aby nedocházelo k podřezání zubů.



Obr. 46. Soukolí v programu Solid Edge



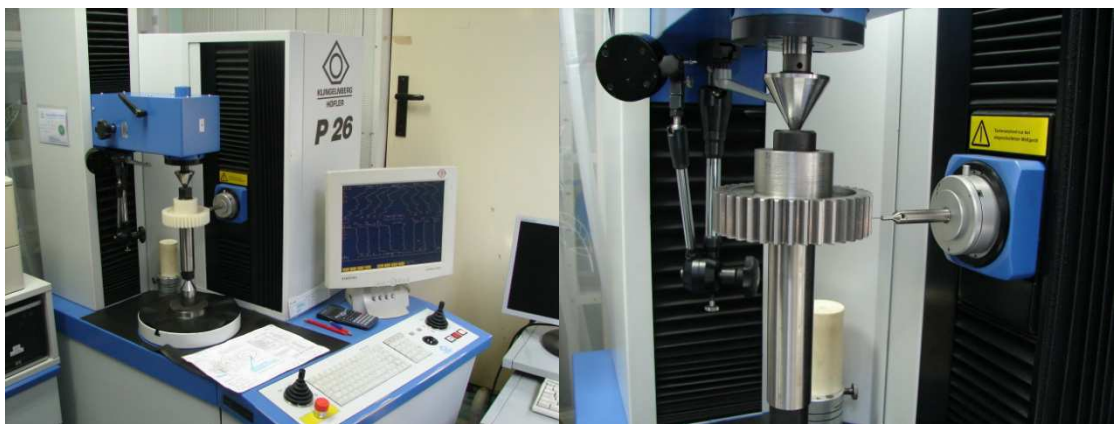
Obr. 47. Vyrobené soukolí ozubených kol

5 KONTROLA PŘESNOSTI OZUBENÝCH KOL

Po výrobě ozubených kol následovala kontrola přesnosti vyrobených ozubených kol. Měření bylo provedeno ve firmě SICOM s.r.o. ve Zlíně, která se zabývá výrobou velmi přesných, broušených ozubených kol.

Měřicí aparát na ozubení Klingelberg P26 slouží k proměření ozubení všech parametrů jako např. tvar profilu zubu, kontrola přesnosti sklonu zubu, kolísání roztečí atd.

Pokud se obrábí broušené zuby vysoké přesnosti např. pro automobilový průmysl, je proměření přesnosti nutností, které firmy objedávající výrobu ozubených kol vyžadují.



Obr. 48. Proměření přesnosti ozubení u velkého kola



Obr. 49. Proměření přesnosti ozubení u malého kola – pastorku

Měření prováděl kvalifikovaný pracovník firmy. Ve výsledcích a příloze PV, VI, VII, VIII je vlivem nepozornosti uvedeno chybné místo měření. Jednotlivá ozubená kola byla měřena podle přesnosti IT 6 podle normy DIN 3962. Měření ještě v menší třídě přesnosti by nemělo smysl s ohledem na to, že se ozubená kola nebrousila a byla vyrobena

frézováním odvalovacím způsobem. Výsledkem kontroly jsou 4 měřicí protokoly v papírové podobě. Tato kontrola nám ukázala, v jaké jakosti byla ozubená kola frézována.

5.1 Naměřené hodnoty ozubených kol a pastorků

V hodnotách měření můžeme pozorovat rozdíly v přesnosti ozubených kol. U kontroly velkých kol náhodně měřicí aparát vybral pro měření 29,20,10 a 1 zub. U pastorků byl měřen 13, 9, 5 a 1 zub. Hodnoty označeny červenou barvou jsou nevyhovující pro jakost podle DIN 3962. Průběhy odchylek profilu, sklonu a hodnoty úchylek jsou znázorněny v přílohách PV, VI, VII, VIII.

Tab. 9. Naměřené hodnoty profilu zubu pro kola

Porovnání profilu zubu											
	Levá část profilu - naměřené hodnoty (μm)				Kolo - kov		Pravá část profilu - naměřené hodnoty (μm)				
	29 zub	20 zub	10 zub	1 zub	Dov. hodnoty - jakost		1 zub	10 zub	20 zub	29 zub	
fHa	-6,1	-6,2	3,9	-1,8	±6	6	-15,5	-10,7	-19,8	-21,4	
Fa	22,3	22	22,6	24,4	10	6	27,1	22,7	31,5	32,3	
ffa	24,1	24,4	21,4	24,9	8	6	17,1	16,9	18,7	19,2	
fHa	7			Největší hodnota jakosti						10	
Fa						9					10
ffa						10					9
	Levá část profilu - naměřené hodnoty (μm)				Kolo - plast		Pravá část profilu - naměřené hodnoty (μm)				
	29 zub	20 zub	10 zub	1 zub	Dov. hodnoty - jakost		1 zub	10 zub	20 zub	29 zub	
fHa	-33,5	-36,3	-27,8	-28,3	±6	6	-11,5	-3,9	-13,2	-12,1	
Fa	44,2	47,9	38	39,2	10	6	25,9	26,7	28	26,2	
ffa	24,2	24,5	24,7	26,7	8	6	23,4	25,9	25,5	22,5	
fHa	11			Největší hodnota jakosti						9	
Fa	11					9					9
ffa						10					10

Tab. 10. Naměřené hodnoty sklonu zubu pro kola

Porovnání sklonu zubu										
	Levá část sklonu - naměřené hodnoty (μm)				Kolo - kov		Pravá část sklonu - naměřené hodnoty (μm)			
	29 zub	20 zub	10 zub	1 zub	Dov. hodnoty - jakost		1 zub	10 zub	20 zub	29 zub
fHB	2,7	8,9	6,7	14,3	±9	6	12,4	12,3	6,3	7,3
FB	6,1	12	7,1	15,2	10	6	10,1	11,9	8,4	7,9
ffb	5,1	6,3	9,5	7,2	7	6	5	6,6	4,7	4
fHB				8	Největší hodnota jakosti		7			
Fβ				8			7			
ffb	8						6			
	Levá část sklonu - naměřené hodnoty (μm)				Kolo - plast		Pravá část sklonu - naměřené hodnoty (μm)			
	29 zub	20 zub	10 zub	1 zub	Dov. hodnoty - jakost		1 zub	10 zub	20 zub	29 zub
fHB	3,4	4,5	1,8	4,8	±9	6	4,3	3,4	4,9	4,1
Fβ	7,2	6,6	6	8,7	10	6	8	6,5	8	8,7
ffb	5,2	4,5	5,2	5,3	7	6	6,5	5,3	6	6,7
fHB				5	Největší hodnota jakosti		5			
Fβ				6						
ffb				5						

Tab. 11. Naměřené hodnoty úchylek roztečí pro kola

Porovnání úchylek roztečí					
		Kolo - kov			
Levý bok - naměřené hodnoty (μm)		Dov. hodnoty - jakost		Pravý bok - naměřené hodnoty (μm)	
fp max	18,5	7	6	7	
fu max	24,1	9	6	11,5	
Fp	33,2	28	6	32,8	
Fpz	31,3	18	6	17	
Fr	35,7	20	6		
fp max	9	Naměřená jakost		6	
fu max	9			7	
Fp	7			7	
Fpz	8			6	
Fr	8				
		Kolo - plast			
Levý bok - naměřené hodnoty (μm)		Dov. hodnoty - jakost		Pravý bok - naměřené hodnoty (μm)	
fp max	5,2	7	6	8,5	
fu max	5,6	9	6	11,2	
Fp	27,5	28	6	33,3	
Fpz	14,2	18	6	16,4	
Fr	23,4	20	6		
fp max	6	Naměřená jakost		7	
fu max	5			7	
Fp	6			7	
Fpz	6			6	
Fr	7				

Tab. 12. Naměřené hodnoty profilu zubu pro pastorek

Porovnání profilu zubu											
		Levá část profilu - naměřené hodnoty (μm)				Pastorek - kov		Pravá část profilu - naměřené hodnoty (μm)			
		13 zub	9 zub	5 zub	1 zub	Dov. hodnoty - jakost		1 zub	5 zub	9 zub	13 zub
fH α		2,9	13,2	-3,7	-11,1	± 6	6	-11,4	-12,2	7,1	8,3
F α		11,8	18	13,2	18,3	10	6	33,9	33,7	37	35,4
fH α		11,1	10,8	12,3	9,9	8	6	32,7	33,2	34,9	33,1
fH α		9			Největší hodnota jakosti		9				
F α		8					10				
fH α		8					10				
		Levá část profilu - naměřené hodnoty (μm)				Pastorek - plast		Pravá část profilu - naměřené hodnoty (μm)			
		13 zub	9 zub	5 zub	1 zub	Dov. hodnoty - jakost		1 zub	5 zub	9 zub	13 zub
fH α		-2,8	-13,1	5,3	13	± 6	6	9,3	12,4	-9,8	-14,7
F α		13,7	19,6	12,1	16,3	10	6	33,4	36,3	32,2	35,4
fH α		13,2	11,5	10,6	10,8	8	6	30,8	32,8	30,8	32,1
fH α		9			Největší hodnota jakosti		9				
F α		8					10				
fH α		8					10				

Tab. 13. Naměřené hodnoty sklonu zubu pro pastorek

Porovnání sklonu zubu											
	Levá část sklonu - naměřené hodnoty (μm)				Pastorek - kov		Pravá část sklonu - naměřené hodnoty (μm)				
	13 zub	9 zub	5 zub	1 zub	Dov. hodnoty - jakost		1 zub	5 zub	9 zub	13 zub	
fH β	11,3	17,4	15,3	15,9	± 9	6	21,2	2	19,7	1,1	
F β	9,8	14,5	13,2	13,5	10	6	17,3	5,5	14,7	3,5	
f β	3,3	3,6	3,4	3,5	7	6	3,4	6	4,5	3,2	
fH β		8			Největší hodnota jakosti		9				
F β		7					8				
f β		3						5			
Levá část sklonu - naměřené hodnoty (μm)											
	Levá část sklonu - naměřené hodnoty (μm)				Pastorek - plast		Pravá část sklonu - naměřené hodnoty (μm)				
	13 zub	9 zub	5 zub	1 zub	Dov. hodnoty - jakost		1 zub	5 zub	9 zub	13 zub	
fH β	7,6	19	8	22,5	± 9	6	20,4	5,3	20,8	7,3	
F β	6,6	16,3	7,8	18,2	10	6	16,4	8,1	17,7	8,4	
f β	3,3	2,5	4	3,9	7	6	3,3	4,5	5,3	4,1	
fH β				9	Největší hodnota jakosti				9		
F β				8					8		
f β			3						5		

Tab. 14. Naměřené hodnoty úchylek roztečí pro pastorek

Porovnání úchylek roztečí					
		Pastorek - kov			
Levý bok - naměřené hodnoty (μm)		Dov. hodnoty - jakost		Pravý bok - naměřené hodnoty (μm)	
f β max	13,7	7	6	10,7	
f α max	11,3	9	6	6,8	
F β	42,8	20	6	45	
F β z	17,4	16	6	19	
Fr	46,2	16	6		
f β max	8	Naměřená jakost		8	
f α max	7			6	
F β	9			9	
F β z	7			7	
Fr	10				
Pastorek - plast					
Levý bok - naměřené hodnoty (μm)		Dov. hodnoty - jakost		Pravý bok - naměřené hodnoty (μm)	
f β max	10,6	7	6	11,7	
f α max	12,3	9	6	11,8	
F β	41,8	20	6	48,7	
F β z	17,4	16	6	23,3	
Fr	40,6	16	6		
f β max	8	Naměřená jakost		8	
f α max	8			7	
F β	9			9	
F β z	7			8	
Fr	9				

5.2 Porovnání a diskuze

U porovnání profilů zubů u kol můžeme sledovat velké odchylky a kolísání hodnot od zadané přesnosti. Můžeme však říct, že kovové ozubené kolo má ve většině případů menší odchylky profilu (evolventy) než kolo plastové.

Naopak při porovnání sklonu zubů vidíme, že kolo plastové je přesnější a splňuje jakost 6 podle DIN 3962 oproti kolu kovovému, kde úchylna sklonu na levou stranu je 14,3 μm.

Měření roztečí a zejména obvodové házení ozubení Fr bylo přesnější u plastového kola než u kovového o 12,3 μm.

Porovnání pastorků plastových a kovových profilů zubů vykazuje nepřesnosti zejména na pravé části evolventy, kde dosahují úchylny profilu v nejvyšších hodnotách jakosti 10.

Sklony 1 a 9 zubu u obou materiálů pastorku vykazovaly největší nepřesnosti. U úchylny sklonu $f\beta$ pozorujeme velmi příznivé hodnoty přesnosti u obou materiálů. U $F\beta$ (rozsah minimální a maximální hodnoty úchylny) byla největší hodnota naměřena u plastového pastorku, a sice 18,2 μm, což odpovídá jakosti 8 podle DIN 3962. Taktéž u plastového kola byla naměřena vyšší hodnota úchylny sklonu na levou stranu 22,5 μm.

U roztečných měření pastorků bylo pouze v jednom případě dosaženo požadované přesnosti a to u pravého boku maximální úchylny sousedních roztečí u kovového pastorku. Největší obvodové házení ozubení bylo u kovového pastorku 46,2 μm, kde tato hodnota odpovídá jakosti 10 DIN. Naopak nejvyšší nepřesnost u plastového pastorku byla součtová úchylna roztečí $F_p = 48,7 \mu\text{m}$.

Možnosti výskytu chyby ovlivňující přesnost ozubení odvalovacím způsobem:

- nedodržení radiální a čelní házivosti
- špatný mechanický stav měřidel (číslíkový indikátor, talířkový mikrometr), lidská chyba
- nedodržení úhlu čela 0° a šroubového stoupání při ostření nástroje
- nepřesné nastavení úhlu natočení nástroje na stroji
- nevhodně zvolené řezné podmínky
- rozdíl v použitých trnech při výrobě a měření

Tab. 15. Vliv technologie výroby na jakost ozubených kol[2]

Finální způsob výroby	Třída přesnosti ČSN - ISO, DIN										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Frézování											
Obrázení											
Ševingování											
Broušení											
Šedá barva - přesná výroba, vyšší náklady											
Fialová barva - standardní výroba, běžné náklady											

Z Tab. 15. a kontrolovaných hodnot můžeme říci, že velké nepřesnosti byly zaznamenány hlavně u profilu ozubení, kde u všech ozubených kol byla jakost v rozmezí 8 až 11 podle DIN 3962. Zbylé kontrolované parametry byly v souladu s tabulkou na rozhraní standardní a přesné výroby.

K tomu, abychom dosáhli vyšší přesnosti ozubených kol, by bylo zapotřebí:

- omezit na nejmenší hodnoty čelní a radiální házení vůči otvoru
- brousit díru, čela i upínací trn
- velmi přesné srovnání upínacího trnu při výrobě pomocí indikátoru
- použít hrubovací frézu s přídavkem na broušení

Vhodnost použití plastového soukolí:

- tam, kde není potřeba takové pevnosti a životnosti ozubených kol
- vhodné použití pro snížení hlučnosti soukolí
- textilní stroje
- ruční převody

Vhodnost použití kovového soukolí:

- tam, kde se vyžaduje vysoká pevnost
- zemědělské stroje
- průmyslové převodovky
- traktory

ZÁVĚR

V této práci s názvem Technologie odvalovacího frézování při výrobě ozubených kol jsem v teoretické části shrnul problematiku tématu výroby ozubených kol, druhy ozubení, základní pojmy, výrobu a kontrolu.

Praktická část se dá rozdělit na několik úseků, které daly konečnou podobu této práci. V prvním úseku byl soustružen polotovar pro frézování ozubených kol podle výkresové dokumentace.

Druhý úsek obsahuje podrobné vysvětlení, jak technologicky postupovat při výrobě ozubených kol. Tento postup je možné aplikovat i na výrobu řetězových kol, jemného drážkování i ozubených kol šikmých, kde je však problematika zejména nastavení výměnných dělicích kol složitější.

V dalším úseku následovalo vytvoření pomocí generátoru v programu Solid Edge ozubeného soukolí a simulace.

V posledním úseku následovala kontrola přesnosti vyrobených ozubených kol, diskuze a volba vhodnosti použití pro soukolí ze dvou materiálů.

Zejména výsledky kontroly profilu u obou materiálů a u obou kol byly spíše neuspokojivé, přesnost se pohybovala v rozmezí 8 až 11 jakosti podle DIN 3962. Úchyly roztečí a házivosti spolu se sklonem ozubení bylo v daném rozmezí, kde se má jakost vyrobených ozubených kol metodou odvalovacího způsobu pohybovat.

Kovové kola i pastorky vykazovaly přesnější tvar evolventy než ozubení plastových kol a pastorků. Naopak lepší jakosti sklonu dosahovalo soukolí plastové. V úchylných roztečích a házivosti nelze přesně určit, které soukolí bylo přesnější, neboť výsledky nepřesnosti byly v obou případech. Příčiny a možnost zlepšení přesnosti jsou diskutovány v kapitole 5.2.

Z výsledků měření jakosti bylo určeno jako nejvhodnější použití plastového soukolí na textilní stroje, nebo ruční převody. Plastová soukolí se dají využít také jako bezpečnostní kola, aby se zabránilo poškození jiných podstatně dražších a důležitějších soukolí a částí určitého mechanismu.

Ocelová ozubená kola jako soukolí můžeme volit pro použití v zemědělských strojích např. traktorech, kde přesnost tohoto soukolí je dostačující. Ozubená kola např. pro automobilový průmysl by musela vykazovat přesnosti nejvýše jakosti 3 podle DIN 3962.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARTOŠ, Josef. *Strojní součásti Díl IIb: Převody řetězové a ozubenými koly*. Třetí vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957.
- [2] MORAVEC, Vladimír. *Konstrukce strojů a zařízení II.: Čelní ozubená kola*. Ostrava: MONTANEX a.s., 2001. ISBN 80-7225-051-5.
- [3] JETMAR, L. *Ozubená kola čelní*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956. DT 621.833.1.
- [4] VOLEK, František. *Základy konstruování a části strojů I*. Vydání I. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2009. ISBN 978-80-7318-654-8.
- [5] *Ozubené převody* [online]. SPSS Olomouc, 2007 [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: http://www.spssol.cz/~vyuka/PREDMETY/SPS/ozubene_prevody.pdf
- [6] *Konstruování strojů: Šneková soukolí* [online]. FSI VUT Brno: Ústav konstruování [cit.2012-12-09]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/6C2/prednasky/prednaska8_6c2.pdf
- [7] *Ozubené převody* [online]. SPSS Olomouc [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: http://www.spssol.cz/~vyuka/PREDMETY/SPS/ozubene_prevody.pdf
- [8] MRKVICA, Ivan. *Současné trendy v obrábění ozubených kol* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.346.vsb.cz/Mrkvica - Současné trendy v obrábění ozubených kol.pdf>
- [9] *Konstruování strojů: Kuželová soukolí* [online]. FSI VUT Brno: Ústav konstruování [cit.2012-12-09]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/6C2/prednasky/prednaska7_6c2.pdf
- [10] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. část 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004. ISBN 978-80-248-0671-62. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [11] *Konstruování strojů: Základní druhy soukolí* [online]. FSI VUT Brno: Ústav konstruování [cit.2012-12-09]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/6C2/prednasky/prednaska1_6c2.pdf
- [12] *Konstruování strojů: Čelní soukolí se šikmými zuby* [online]. FSI VUT Brno: Ústav konstruování [cit.2012-12-09]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/6C2/prednasky/prednaska5_6c2.pdf

- [13] *Konstruování strojů: Čelní soukolí s přímými zuby* [online]. FSI VUT Brno: Ústav konstruování [cit.2012-12-09]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/6C2/prednasky/prednaska4_6c2.pdf
- [14] *Konstruování strojů: Převodové mechanismy o ozubenými koly* [online]. FSI VUT Brno: Ústav konstruování [cit.2012-12-09]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/6C2/prednasky/prednaska3_6c2.pdf
- [15] *Výroba ozubení* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Ozubeni.htm>
- [16] *Převody ozubenými koly* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://ole.wz.cz/honza/2-%20Prevedy%20ozubenymi%20koly.htm>
- [17] KOSÍŘ, Tomáš. *Technologie výroby čelního ozubení*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, PhD.
- [18] PÁRTL, Antonín. *Výroba ozubených kol. Čelní soukolí* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://ozubeni.cz/>
- [19] *Design Tech* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.designtech.cz/c/plm/autodesk-inventor-20-dil.htm>
- [20] RŮŽIČKA, Václav. *Kontrola ozubených kol: s úvodem do geometrického výpočtu ozubení*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1957.
- [21] TDS - TECHNIK pro Solid Edge. *Výpočty kuželových ozubených kol* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.tds-technik.cz/edge/novinky13.html>
- [22] Malkar Industries. *Šnekové soukolí* [online]. Mumbai [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: http://4410.in.all.biz/cs/goods_snekove-soukoli_22904
- [23] VAŇÁK, Antonín. *Technologie frézování*. [online]. Šumperk, 2007 [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: http://www.sossou-spk.cz/esf/TEC_fr.pdf
- [24] Strojírenství: engineering. *Čelní ozubená kola s přímým ozubením* [online]. [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: <http://www.strojirenstvi.wz.cz/sps/rocnik3/10.php>
- [25] Ozubené kolo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: http://cs.winelib.com/wiki/Ozuben%C3%A9_kolo
- [26] KLEPAL, Václav. A KOLEKTIV. *Výroba ozubených kol*. Praha II: Státní nakladatelství technické literatury, 1959.

- [27] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část* [online]. VUT v Brně: Fakulta strojního inženýrství, 2004 [cit. 2012-12-09]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [28] Slovácké strojírný, a.s.: Výrobce obráběcích strojů. *Ozubárenské stroje* [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: http://www.tosas.cz/index.php?id_document=10125&mode=rmenu
- [29] Čelní ozubení s přímými a šikmými zuby: Korigování ozubení. [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.com/doc/gear1/help/cz/gear1txt.htm>
- [30] Gear Spect Group. *Měřicí přístroje na ozubení* [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://ww.gearspect.com/index.php/cs/gear-measuring-instruments-cs/cylindrical-gear-measuring-cs/do-180-300-500-800-cnc-cs>
- [31] PILSEN TOOLS, s.r.o.: Kulaté protahovací trny. [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.pilsentools.cz/naradi/hlavni-nar.htm>
- [32] PERNIKÁŘ, Jiří. *Technická měření*. Vysoké učení technické v Brně: Fakulta strojního inženýrství, 2002. Dostupné z: http://tl.kx.cz/TEM_ucebnice.pdf
- [33] SOMEX SERVIS. *Třmenový mikrometr na ozubená kola* [online]. 2009 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://somex.cz/mikrometry/trmenovy-mikrometr-na-ozubena-kola-1.html>
- [34] KUBOUŠEK s.r.o. *Kontrolní přístroje* [online]. 2010 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.kubousek.cz/cz/page/kontrolni-pristroje/simmy>
- [35] *Konstruování strojů: Základy teorie čelního ozubení* [online]. FSI VUT Brno: Ústav konstruování [cit.2012-12-09]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/6C2/prednasky/prednaska2_6c2.pdf
- [36] MM Průmyslové spektrum. *Nekonvenční metody obrábění* [online]. 2008 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>
- [37] Tvarsteel s.r.o. *Technologie* [online]. 2007 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.tvarsteel.cz/technologie/>
- [38] MM Průmyslové spektrum. *Řezání vodním paprskem* [online]. 2008 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem.html>

- [39] CHPS s.r.o. *Vodní paprsek: Technologie* [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/vodni-paprsek/technologie.html>
- [40] Technologie řezání plamenem. In: *Řezání kyslíkem* [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t2-10_rezanikyslikem.pdf
- [41] ESAB. In: *Svařování a pálení* [online]. 2009 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: http://www.esab.cz/global/en/news/upload/903181_Cutting.jpg

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CNC	Computer Numeric Control
ČSN	Česká státní norma
DIN	Německá národní norma
IT	Označení stupně přesnosti
HRC	Označení tvrdosti podle Rockwella
Ra	Označení drsnosti povrchu
N, V	Značení soukolí
M, Mv	Rozměr válečku vnitřního a vnějšího soukolí
D	Průměr roztečné kružnice
Da	Průměr hlavové kružnice
Df	Průměr patní kružnice
Db	Průměr základní kružnice
Z	Základní profil
m	Modul
ha	Výška hlavy zubu
hf	Výška paty zubu
h	Celková výška zubu
z	Počet zubů
t	Rozteč
s ₁ , s ₂	Tloušťka zubu
a	Vzdálenost os
r	Roztečná přímka
α	Úhel záběru
z _{th}	Mezní počet zubů

n_1, n_2	Otáčky
$r_{1,2}$	Poloměr
$i_{1,2}$	Převodový poměr
u	Převodové číslo
x	Jednotkové posunutí profilu
d_v	Průměr válečku
W	Jmenovitý rozměr přes zuby
π	Ludolfovo číslo
$\delta_{1,2}$	Úhel roztečného kužele
ω	Úhlová rychlost
$f_p \max$	Max. úchylka obvodových roztečí
$f_u \max$	Max. úchylka sousedních roztečí
F_p	Součtová úchylka roztečí
$F_{pz/8}$	Součtová úchylka roztečí k zubům
F_r	Obvodové házení ozubení
$f_{H\alpha, \beta}$	Úchylka evolventy, sklonu
$F_{\alpha, \beta}$	Rozsah úchylek profilu a sklonu min. a max.
$ff_{\alpha, \beta}$	Rozsah úchylek měřený kolmo na profil a sklon zubu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Rozměry ozubení [18]</i>	13
<i>Obr. 2. Evolventa [17]</i>	14
<i>Obr. 3. Cykloidní ozubení [17]</i>	15
<i>Obr. 4. Čelní soukolí s přímými zuby [19]</i>	16
<i>Obr. 5. Kuželové soukolí základní [21]</i>	17
<i>Obr. 6. Soukolí válcová [22]</i>	18
<i>Obr. 7. Soukolí smíšená [7]</i>	18
<i>Obr. 8. Soukolí globoidní [7]</i>	19
<i>Obr. 9. Šroubová soukolí s mimoběžnými osami [7]</i>	20
<i>Obr. 10. Záběr dvou zubů [35]</i>	20
<i>Obr. 11. Tvary ozubených kol [23]</i>	22
<i>Obr. 12. Kruhový tvar ozubení [25]</i>	23
<i>Obr. 13. Vnitřní ozubení [25]</i>	24
<i>Obr. 14. Kladná korekce [7]</i>	25
<i>Obr. 15. Změna paty zubu podle hodnoty x [29]</i>	25
<i>Obr. 16. Záporná korekce [7]</i>	25
<i>Obr. 17. Odvalovací způsob výroby [5]</i>	27
<i>Obr. 18. Odvalovací frézka OFA 75 CNC 6 [28]</i>	29
<i>Obr. 19. a) Kotoučová modulová fréza b) stopková modulová fréza[27]</i>	30
<i>Obr. 20. Dělicí přístroj[23]</i>	30
<i>Obr. 21. Obrázení metoda Maag [27]</i>	31
<i>Obr. 22. Odvalovací obrážečka OHA 50 CNC 5 [31]</i>	32
<i>Obr. 23. Obrázení metodou Fellows [27]</i>	33
<i>Obr. 24. Protahovací trny kulaté [31]</i>	34
<i>Obr. 25. Princip řezání drátovou elektrodou [37]</i>	35
<i>Obr. 26. Řezání vodním paprskem[39]</i>	36
<i>Obr. 27. Řezání plamenem [41]</i>	37
<i>Obr. 28. Měření rozměru přes zuby [33]</i>	39
<i>Obr. 29. Měření tloušťky zubů zuboměrem[23]</i>	40
<i>Obr. 30. Kontrola a)vnějšího ozubení b)vnitřního ozubení se sudým počtem zubů c) vnitřní ozubení s lichým počtem zubů [17]</i>	41
<i>Obr. 31. Měření tvaru zubu projekcí</i>	42

<i>Obr. 32. Systém SIMMY pro měření házivosti [34].....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 33. Graf jednobokého odvalu[10]</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 34. Měřicí přístroj[30]</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 35. Návrh pastorku (vlevo) a ozubeného kola (vpravo)</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 36. Na levé fotce hrotový soustruh SU40, na pravé obrážecí stroj 7A 412.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 37. Frézovací odvalovací stroj F-06</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 38. Použitá fréza.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 39. Upnutí nástroje</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 40. Nastavení výměnných kol dělicích.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 41. Kontrola obvodové házivosti</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 42. Výroba velkého plastového a kovového kola.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 43. Doraz a ovládací panel stroje</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 44. Posuvové a otáčkové páky</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 45. Generování ozubení v programu Solid Edge</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 46. Soukolí v programu Solid Edge.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 47. Vyrobené soukolí ozubených kol</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 48. Proměření přesnosti ozubení u velkého kola.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 49. Proměření přesnosti ozubení u malého kola – pastorku</i>	<i>61</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Použité materiály.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 2. Fyzikální vlastnosti Ertalonu PA 6G.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 3. Základní rozměry obou vyráběných ozubených kol.....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 4. Parametry soustruhu SU40 a obrážecího stroje 7A 412.....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 5. Parametry odvalovacího stroje F-06.....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 6. Parametry nástroje.....</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 7. Počty zubů výměnných dělicích kol.....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 8. Řezné podmínky při výrobě ozubených kol.....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 9. Naměřené hodnoty profilu zubu pro kola.....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 10. Naměřené hodnoty sklonu zubu pro kola.....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 11. Naměřené hodnoty úchylek roztečí pro kola.....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 12. Naměřené hodnoty profilu zubu pro pastorek.....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 13. Naměřené hodnoty sklonu zubu pro pastorek.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 14. Naměřené hodnoty úchylek roztečí pro pastorek.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 15. Vliv technologie výroby na jakost ozubených kol[2].....</i>	<i>66</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PřílohaPI Výrobní výkres ozubeného kola (UTB-1)

PřílohaPII Výrobní výkres ozubeného pastorku (UTB-2)

PřílohaPIII Technologický postup - kolo

PřílohaPIV Technologický postup - pastorek

Na CD ve složce přílohy jsou:

PřílohaPV Výsledky měření plastového kola

PřílohaPVI Výsledky měření kovového kola

PřílohaPVII Výsledky měření plastového pastorku

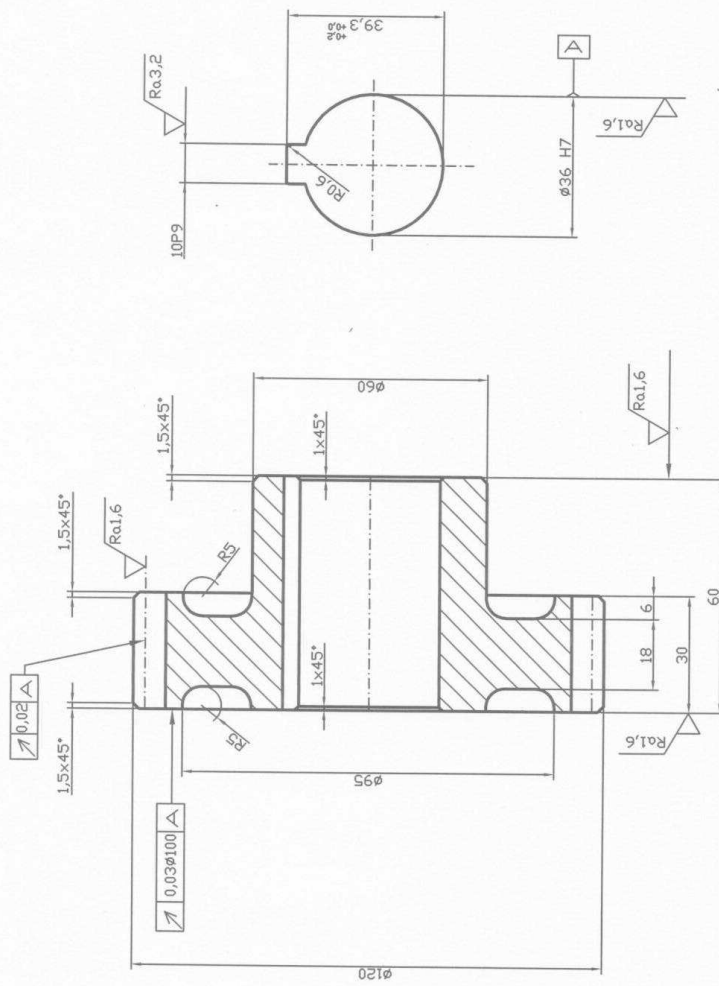
PřílohaPVIII Výsledky měření kovového pastorku

PřílohaPIX Vygenerované ozubené soukolí v programu Solid Edge

PřílohaPX Simulace soukolí

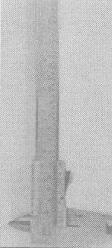
PřílohaPXI Video z výroby

Modul	m	3
Počet zubů	z	38
Úhel záběru	α	20°
Jednotkové posunutí	x.m	není
Ozubení		Přímé ozubení
		Nekorigované
		Nebroušené
Roztečný průměr	D	114 mm
Hlavový průměr	Da	120 mm
Patní průměr	Df	106,5 mm
Základní kružnice	Db	107,1 mm
Rozteč	t	8,86 mm
Výška zubu	h	6,75 mm
Rozeznání přes zubu	M _{fs}	41,45 mm
Spoluzabírající pastorek	Výkres	UTB-2
Stupeň přesnosti podle		CSN 014405



INDEX	ZEMĚNA	INDEX	INDEX
	JATUN		PODPIS
Příloha PI			
ZNAMENÍ	1:1	CSN 14220-3/ PA6GT10	HMOTNOST kg(2,3/0,33) MĚK
ROZMĚRY	1:2	ISO 8015 AND	Tolu ISO 8015 AND
PROJEKT	INDRM.BEF.	CSN ISO 2768-MK	TŘ.Č.
VÝPR.	Jar. Soderfik	Č. KUSTOVNIKU	
PŘEZK.	SCHVALIL	STAVBY V.	Č.Y.
TECHNOL.			
NAZEV			
Dzubené kolo		UTB-1	
		Listů	
		List	

Příloha PIV. Technologický postup-pastorek

UTB ZLÍN		Technologický postup - pastorek		Zpracoval:		Slatík Jan	
		Počet kusů		Kontrolní měřidlo		Rozsah 0-150 mm	
		1		Ocel 1.7131 (ČSN 14220.3), Ertalon PA6G			
		Materiál		Typ Ø 60 mm			
		Druh polotovaru		Hmotnost pastorku (plast/kov)			
		Východí rozměr		v (m·min ⁻¹)		n (min ⁻¹)	
		Nástroj		h (mm)		f (mm/ot.)	
		Nůž ubírací pravý, tvar destičky 18 čtvercový		0,5		0,7	
		Nůž robový pravý, tvar destičky 12 obdélníkový		62,8		0,8	
		Nůž robový pravý, tvar destičky 12 obdélníkový		88,8		0,8	
		Vrták Ø 21 ČSN 22143		13,2		0,4	
		Nůž vnitřní obráběcí, tvar destičky 10.1 čtvercový		34,2		0,3	
		Výsružník Ø2218 ČSN 221431		6,9		0,2	
		Nůž robový pravý, tvar destičky 12 obdélníkový		87,9		0,3	
		Nůž ubírací pravý, tvar destičky 18 čtvercový		62,8		0,5	
		Nůž hladicí, tvar destičky 16 obdélníkový		Ø56 = 87,9, ø40=62,8		0,2	
		Nůž obráběcí 8 P9 8x18 úhel břitu 8°		30		0,1	
		Nůž obráběcí 8 P9 8x18 úhel břitu 8°		0,2		0,15	
Číslo operace	Stroj	Popsání práce	v (m·min ⁻¹)	h (mm)	f (mm/ot.)	n (min ⁻¹)	t _h (min)
1.	Soustruh hrotový SU40	a) zarovnat čelo 1,5mm	94,3	0,5	0,7	500	0,28
		b) soustružit na Ø40 mm délku 10mm	62,8	2	0,8	500	0,31
		a) otočení upnutí, soustružit ø56,5mm na délku 30mm	88,8	3,5	0,8	500	0,08
2.	Soustruh hrotový SU40	b) vrtat otvor ø21 mm	13,2	0,8	0,3	500	0,67
		c) soustružit otvor ø21,8mm	34,2	0,2	0,4	200	0,67
		d) vystužit otvor ø22,18mm	6,9	0,2	0,4	100	1,19
		a) upnout na kuželový tm ø22, soustružit povrch ø 56 mm	87,9	0,25	0,3	500	0,23
3.	Soustruh hrotový SU40	b) zarovnat čelo k délce 40 mm	62,8	0,5	0,6	500	0,08
		c) srážení hran 2x45°, otočení obrobku srážení hran 1x45°	Ø56 = 87,9, ø40=62,8	3	0,2	500	0,14
		a) obrábět drážku pro pero	30	0,2	0,1	500	0,15