

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2017

JAROSLAV LOZRT

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



**Agronomická
fakulta**

**Mendelova
univerzita
v Brně**



Výroba ozubených kol
Bakalářská práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Michal Černý, CSc.

Vypracoval:
Jaroslav Lozrt

Brno 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „**Výroba ozubených kol**“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnici o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Michalu Černému, CSc. za cenné rady, připomínky a odborné vedení, při psaní této práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce s názvem: „Výroba ozubených kol“ je v první části zaměřena na rozdělení ozubených převodů dle různých hledisek. Druhá část se zabývá materiály, které jsou vhodné pro výrobu ozubení a jejich tepelným zpracováním. Ve třetí části jsou popsány jednotlivé způsoby výroby ozubených kol, včetně dokončovacích metod. Poslední, čtvrtá, část je praktická a popisuje návrh a výrobu korigovaného vnějšího čelního ozubeného soukolí s přímými zuby. Výroba je realizována frézováním dělicím způsobem modulovou kotoučovou frézou. Toto soukolí je určeno pro pojezd zahradní sekačky na trávu, kde nahrazuje původní soukolí s poškozeným pastorkem.

Klíčová slova: Ozubené kolo, převod, obrábění, technologie, vnější čelní ozubení s přímými zuby, korekce

ABSTRACT

Bachelor thesis entitled: „Manufacture of gears“ in the first part focused on the distribution of gears according to various criteria. The second part deals with materials, which are suitable for making gear and their heat treatment. In the third part describes the different methods of production gear, including finishing methods. The last, fourth, part is practical and describes the design and manufacture corrected external spur gear with straight teeth. Production is carried out by milling dividing method modular disc cutter. This gear is designed for travel of garden lawn mower, which replaces the original gear with a broken pinion.

Key words: Gear, transfer, processing, technology, external spur gear with straight teeth, correction

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	CÍL PRÁCE	12
3	ROZDĚLENÍ OZUBENÝCH PŘEVODŮ	13
3.1	Rozdělení ozubených převodů dle převodového poměru	13
3.2	Rozdělení ozubených převodů dle profilu zubu	14
3.3	Rozdělení ozubených převodů dle vzájemné polohy os	15
3.3.1	Soukolí s rovnoběžnými osami.....	15
3.3.1.1	<i>Čelní soukolí vnější</i>	<i>15</i>
3.3.1.2	<i>Čelní soukolí vnitřní.....</i>	<i>19</i>
3.3.1.3	<i>Čelní soukolí hřebenové.....</i>	<i>19</i>
3.3.2	Soukolí s různoběžnými osami – kuželová soukolí	20
3.3.3	Soukolí s mimoběžnými osami.....	21
3.3.3.1	<i>Šroubové soukolí</i>	<i>21</i>
3.3.3.2	<i>Šnekové soukolí.....</i>	<i>23</i>
3.4	Rozdělení ozubených převodů dle tvaru boků zubů	25
3.4.1	Ozubení s přímými zuby.....	25
3.4.2	Ozubení se šikmými zuby	25
3.4.3	Ozubení se šípovými zuby	25
3.4.4	Ozubení se zakřivenými zuby	26
3.5	Rozdělení ozubených převodů dle způsobu korekce.....	26
3.5.1	Korekce posunutím profilu, resp. nástroje	27
3.5.2	Korekce zvětšením úhlu záběru nástroje.....	28
3.5.3	Korekce snížením výšky zubu	28
3.6	Rozdělení ozubených převodů dle volby druhu polotovaru.....	29
3.7	Rozdělení ozubených převodů dle způsobu výroby	31
3.8	Rozdělení ozubených převodů dle tepelného zpracování.....	31
3.9	Rozdělení ozubených převodů dle dokončovacích metod obrábění.....	31

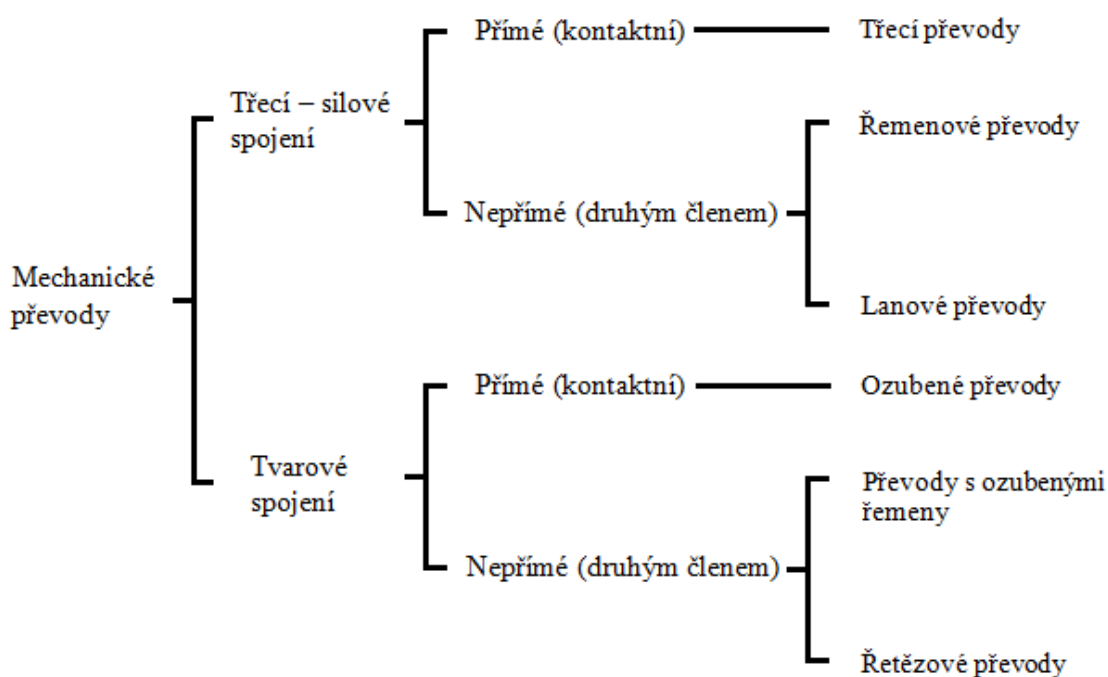
4	MATERIÁLY A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OZUBENÝCH KOL..	32
	
4.1	Materiály ozubených kol.....	32
4.1.1	Materiály pro valivá soukolí	32
	<i>4.1.1.1 Oceli tvářené – konstrukční uhlíkové (nelegované)</i>	<i>32</i>
	<i>4.1.1.2 Oceli tvářené – konstrukční slitinové (legované).....</i>	<i>33</i>
	<i>4.1.1.3 Oceli na odlitky – uhlíkové (nelegované).....</i>	<i>33</i>
	<i>4.1.1.4 Oceli na odlitky – slitinové (legované)</i>	<i>33</i>
	<i>4.1.1.5 Tvárná litina.....</i>	<i>33</i>
	<i>4.1.1.6 Šedá litina.....</i>	<i>34</i>
	<i>4.1.1.7 Neželezné kovy</i>	<i>34</i>
	<i>4.1.1.8 Plasty</i>	<i>34</i>
4.1.2	Materiály pro výrobu šneků.....	34
	<i>4.1.2.1 Oceli tvářené – konstrukční uhlíkové (nelegované)</i>	<i>34</i>
	<i>4.1.2.2 Oceli tvářené – konstrukční slitinové (legované).....</i>	<i>34</i>
4.1.3	Materiály pro výrobu šnekových kol.....	35
	<i>4.1.3.1 Šedá litina.....</i>	<i>35</i>
	<i>4.1.3.2 Mosaz a hliníkový bronz.....</i>	<i>35</i>
	<i>4.1.3.3 Cínový bronz.....</i>	<i>35</i>
4.2	Význam uvedených pojmů tepelného zpracování.....	35
	4.2.1 Normalizační žhání (normalizace).....	35
	4.2.2 Povrchové kalení	36
	4.2.3 Zušlechťování.....	37
	4.2.4 Cementování	39
	4.2.5 Nitridování.....	39
	4.2.6 Nitrocementování	39
	4.2.7 Karbonitridace	40
5	VÝROBA OZUBENÝCH KOL.....	41
5.1	Technologie výroby ozubení třískovým obráběním.....	41
	5.1.1 Výroba vnějších čelních ozubených kol frézováním dělicím způsobem ..	41
	<i>5.1.1.1 Popis technologie</i>	<i>41</i>
	<i>5.1.1.2 Nástroje</i>	<i>43</i>

5.1.1.3	Jednoduchý dělicí přístroj.....	43
5.1.1.4	Univerzální dělicí přístroj (UDP)	44
5.1.2	Výroba vnějších čelních ozubených kol frézováním odvalovacím způsobem.....	48
5.1.3	Výroba vnějších čelních ozubených kol obrážením dělicím způsobem ...	49
5.1.4	Výroba vnějších čelních ozubených kol obrážením odvalovacím způsobem.....	49
5.1.4.1	Kotoučový obrážecí nůž (systém Fellows).....	49
5.1.4.2	Hřebenový obrážecí nůž (systém Maag).....	51
5.1.5	Výroba vnějších čelních ozubených kol protahováním dělicím způsobem	51
5.1.6	Výroba vnitřních čelních ozubených kol	52
5.1.7	Výroba kuželových ozubených kol	53
5.1.7.1	Výroba kuželových ozubených kol s přímými a šikmými zuby.....	53
5.1.7.2	Výroba kuželových ozubených kol se zakřivenými zuby.....	54
5.1.8	Výroba šneků.....	57
5.1.9	Výroba šnekových kol.....	57
5.2	Další technologie výroby ozubení (beztrískové)	58
5.3	Dokončovací metody obrábění ozubení.....	58
5.3.1	Ševingování	58
5.3.2	Broušení	59
5.3.2.1	Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči.....	59
5.3.2.2	Broušení odvalovacím způsobem	60
5.3.3	Lapování	61
5.3.4	Zaběhávání	62
6	VÝROBA OZUBENÉHO SOUKOLÍ – PRAKTICKÁ ČÁST.....	63
6.1	Návrh ozubeného soukolí.....	63
6.1.1	Zjištění modulu ozubení	63
6.1.2	Výšková korekce ozubení	65
6.1.3	Výpočet rozměrů pastorku.....	66
6.1.4	Výpočet rozměrů velkého ozubeného kola	66
6.1.5	Výpočet rozměrů polotovarů a volba materiálu soukolí	67

6.1.5.1	<i>Výpočet rozměrů polotovaru pastorku</i>	67
6.1.5.2	<i>Výpočet rozměrů polotovaru velkého ozubeného kola</i>	68
6.2	Popis výroby ozubeného soukolí	69
6.2.1	Popis výroby pastorku	69
6.2.1.1	<i>Pracovní postup před výrobou ozubení na pastorku</i>	69
6.2.1.2	<i>Pracovní postup související s frézováním ozubení na pastorku</i>	70
6.2.2	Popis výroby velkého ozubeného kola.....	74
6.2.2.1	<i>Pracovní postup před výrobou ozubení na velkém ozubeném kole.....</i>	74
6.2.2.2	<i>Pracovní postup související s frézováním ozubení na velkém ozubeném kole.....</i>	77
7	ZÁVĚR	80
8	LITERATURA A INTERNETOVÉ ZDROJE	82
9	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	87
10	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	90
11	SEZNAM PŘÍLOH	93

1 ÚVOD

Ozubené kolo slouží k přenosu otáčivého pohybu a patří mezi nejdůležitější strojní součásti, jelikož se s ním setkáváme prakticky každý den. Ozubená kola jsou součástí hodinových strojků, kuchyňských spotřebičů, převodových ústrojí mobilních energetických prostředků, čerpadel, obráběcích strojů atd. Ozubený převod je zařazen mezi mechanické převody přímé s tvarovým spojením.



Obr. 1 Rozdělení mechanických převodů [1]

Historie ozubení sahá až do počátků lidského technického poznání. K jakému období je vznik této strojní součásti vázán, však není známo. Zcela jistě, se ale ozubení již používalo několik staletí př. n. l., protože se o něm zmiňuje již Aristoteles, narozený roku 384 př. n. l., a pojednává o něm jako o všeobecně známé věci. Vynalezení ozubeného kola předcházela nejprve znalost válce a kola. Válců se nejdříve využívalo pro přesouvání těžkých břemen. Z válce se později vyvinulo vozové kolo, a poté, aby mohlo jedno kolo pohánět druhé, následoval vývoj kola s výstupky, tedy se zuby. Vznik ozubeného kola není vědecký objev, jeho existence vyplynula s potřeb praktického života. V počátcích nacházelo uplatnění především v oblastech zemědělství, zásobování vodou a hornictví. Je pravděpodobné, že ozubené kolo existovalo na více různých místech v různých obdobích nezávisle na sobě. [2]

2 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je v první části rozdělit ozubené převody dle různých hledisek. Ve druhé části uvést různé materiály, které jsou pro výrobu ozubení vhodné, a dále popsat možnosti tepelného zpracování těchto materiálů. V části třetí je cílem vypracovat přehled jednotlivých způsobů výroby ozubení a používaných dokončovacích metod. V poslední čtvrté, praktické, části je cílem využít poznatků z předchozích tří částí a navrhnout i vyrobit ozubené vnější čelní soukolí s přímými zuby pro pojezd zahradní sekačky na trávu. Z tohoto důvodu je hlavním cílem teoretické části podrobněji se zaměřit především na vnější čelní ozubení s přímými zuby a jednotlivé kapitoly pak jen z části doplnit informacemi o dalších typech ozubení.

3 ROZDĚLENÍ OZUBENÝCH PŘEVODŮ

Převody tvoří obecně spojovací článek mezi prvkem hnacím a prvkem hnaným. Hlavním důvodem používání převodů ve strojních zařízeních, je úprava frekvence otáčení hnaného prvku (stroje) a změna krouticího momentu. Převody ozubené pak přenášejí otáčivý pohyb a mechanickou energii (krouticí moment) z hnacího hřídele na hřídel hnaný. [1] [6] Přenášený výkon se zmenšuje o ztráty převodu, jeho účinnost je pak vyjádřena vztahem:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} [-] \quad (1)$$

kde: η - účinnost [-]
 P_2 - výkon na výstupu [W]
 P_1 - výkon na vstupu [W]. [1]

3.1 Rozdělení ozubených převodů dle převodového poměru

K určení toho, jestli se jedná o převod dopomala či dorychla slouží převodový poměr, který je u správného ozubení konstantní. Podmínka správného ozubení je definována následovně: „Hnací válcové ozubené kolo je správné, jestliže při stálé úhlové rychlosti udělí stálou úhlovou rychlost i kolu hnanému. To znamená, že převodový poměr je konstantní. Tuto podmínku splňuje ozubení, u kterého dvě po sobě se odvalující křivky mají v každém bodě dotyku společnou normálu. Normála musí procházet valivým bodem.“ [3] Převodový poměr lze vyjádřit následujícími vztahy:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{M_{k2}}{M_{k1} \cdot \eta} [-] \quad (2)$$

kde: i - převodový poměr [-]
 n_1 - otáčky hnacího hřídele [s^{-1}]
 n_2 - otáčky hnaného hřídele [s^{-1}]
 z_2 - počet zubů hnaného kola [-]
 z_1 - počet zubů hnacího kola [-]
 d_2 - průměr roztečné kružnice hnaného kola [mm]
 d_1 - průměr roztečné kružnice hnacího kola [mm]

- ω_1 - úhlová rychlost hnacího hřídele [s^{-1}]
- ω_2 - úhlová rychlost hnaného hřídele [s^{-1}]
- M_{k2} - krouticí moment na hnaném kole [$N \cdot m$]
- M_{k1} - krouticí moment na hnacím kole [$N \cdot m$]
- η - účinnost [-].

Z výše uvedených vztahů je patrné, že pro hodnotu převodového poměru mohou nastat následující 3 případy:

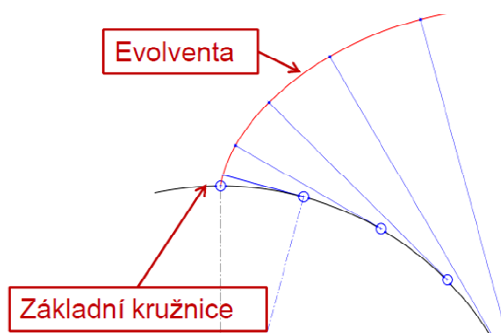
- a) je-li $i > 1$, jedná se o převod dopomala a takový převod nazýváme jako reduktor;
- b) je-li $i < 1$, jedná se o převod dorychla a takový převod nazýváme jako multiplikátor;
- c) je-li $i = 1$, jedná se o převod, který má stejné vstupní i výstupní otáčky a dochází zde pouze jen ke změně smyslu otáčení. [1] [3]

3.2 Rozdělení ozubených převodů dle profilu zubu

Dle křivky, která tvoří profil zubu, dělíme ozubení do 3 kategorií:

- a) evolventní;
- b) cykloidní;
- c) zvláštní (Wildhaber – Novikovo ozubení). [4]

Jediné správné ozubení je však jen evolventní, protože ostatní křivky se ideálnímu tvaru zubu jen přibližují. Toto dokázal v 18. stol. matematik a fyzik Leonhard Euler. [2] Evolventu opisuje bod na přímce, která se odvaluje po základní kružnici (každý bod na přímce, odvalující se po základní kružnici, tedy opisuje evolventu). [4] Základní kružnice tedy určuje počátek evolventní části zubu, což je důležité, protože nachází-li se pata zubu pod základní kružnicí, dochází k jeho podřezání.



Obr. 2 Konstrukce evolventy [3]

Cykloida pak vzniká odvalováním kružnice po přímce nebo odvalováním kružnice po kružnici (zvnějšku nebo zevnitř). [4] Tento profil zuby byl nejvíce používán před zavedením výroby evolventního ozubení, protože pro tehdejší účely byl dostačující a hlavně levně vyrobitelný. Z tohoto důvodu je cykloidní ozubení v malé míře používáno i v dnešní době, pouze však pro malé výkony a nízké otáčky, používá jej např. hodiňářský průmysl. [2]

U Wildhaber – Novikova ozubení mají zuby konvexní popř. konkávní boky tvořené kruhovými oblouky. Výhodou tohoto ozubení je malý stykový tlak, proto je používáno u reduktorů válcovacích stolic při malých rychlostech. Pro tyto účely je používáno jen ozubení šikmé. Nevýhodou je pak složitý výrobní nástroj, citlivost na osovou vzdálenost a problém s korigováním. [4]

3.3 Rozdělení ozubených převodů dle vzájemné polohy os

Dle vzájemné polohy (uspořádání) rozdělujeme ozubená soukolí následovně:

- ▶ **soukolí s rovnoběžnými osami**
 - ▶ čelní soukolí vnější
 - ▶ čelní soukolí vnitřní
 - ▶ čelní soukolí hřebenové
- ▶ **soukolí s různoběžnými osami**
 - ▶ kuželové soukolí
- ▶ **soukolí s mimoběžnými osami**
 - ▶ šroubové soukolí válcové
 - ▶ šroubové soukolí kuželové
 - ▶ soukolí šnekové

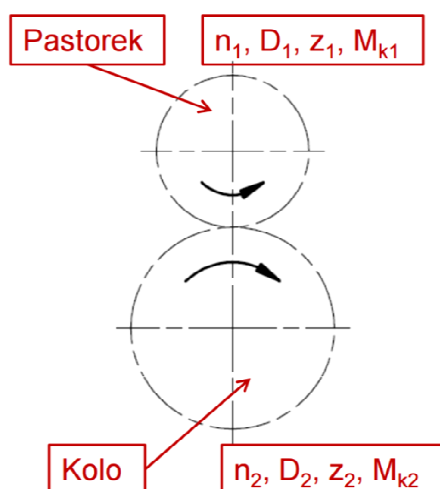
Obr. 3 Rozdělení ozubených soukolí [3]

3.3.1 Soukolí s rovnoběžnými osami

3.3.1.1 Čelní soukolí vnější

„Pohyb dvou spoluzabírajících čelních kol s přímým ozubením je v podstatě stejný, jako kdyby se po sobě odvalovaly dva válce nebo v rovině kolmé k osám kol dvě kružnice; tyto kružnice se nazývají roztečné. Menší kolo se nazývá pastorek a všechny jeho

veličiny mají index 1; větší kolo se nazývá kolo a jeho veličiny se označují indexem 2. “ [1] Převodový poměr u správného ozubení vyjadřuje rovnice (2), jeho maximální hodnota pro ruční pohon je $i_{\max} = 12$ [-] a pro motorický $i_{\max} = 8$ [-]. Mechanická účinnost jednoho soukolí je přibližně $\eta = 0,98$ [-]. [5] U jednoho soukolí tedy dochází ke ztrátám přibližně 2 [%].



Obr. 4 Čelní soukolí vnější [5]

Základní charakteristikou tvaru a velikosti zubu je modul ozubení, jehož hodnoty jsou normalizovány podle ČSN 01 4608. Modul ozubení je definován následovně:

$$m = \frac{p}{\pi} \text{ [mm]} \quad (3)$$

kde: m - modul ozubení [mm]

p - rozteč dvou sousedních zubů, měřená na oblouku roztečné kružnice [mm]

π - Ludolfovo číslo [-]. [1] [5]

Další základní rozměry ozubení pak jsou:

$$\text{Průměr roztečné kružnice: } d = m \cdot z \text{ [mm]} \quad (4)$$

$$\text{Průměr hlavové kružnice: } d_a = d + 2 \cdot h_a = d + 2 \cdot m \text{ [mm]} \quad (5)$$

$$\text{Průměr patní kružnice: } d_f = d - 2 \cdot h_f = d - 2,5 \cdot m \text{ [mm]} \quad (6)$$

$$\text{Průměr základní kružnice: } d_z = d \cdot \cos \alpha \text{ [mm]} \quad (7)$$

kde: α - úhel záběrové přímky [°], normalizovaný $\alpha = 20$ [°]

$$\text{Výška zubu: } h = h_a + h_f \text{ [mm]} \quad (8)$$

$$\text{Výška hlavy zubu: } h_a = m \text{ [mm]} \quad (9)$$

Výška paty zubu: $h_f = m + c = 1,25 \cdot m$ [mm] (10)

Hlavová vůle: $c = 0,25 \cdot m$ [mm] (11)

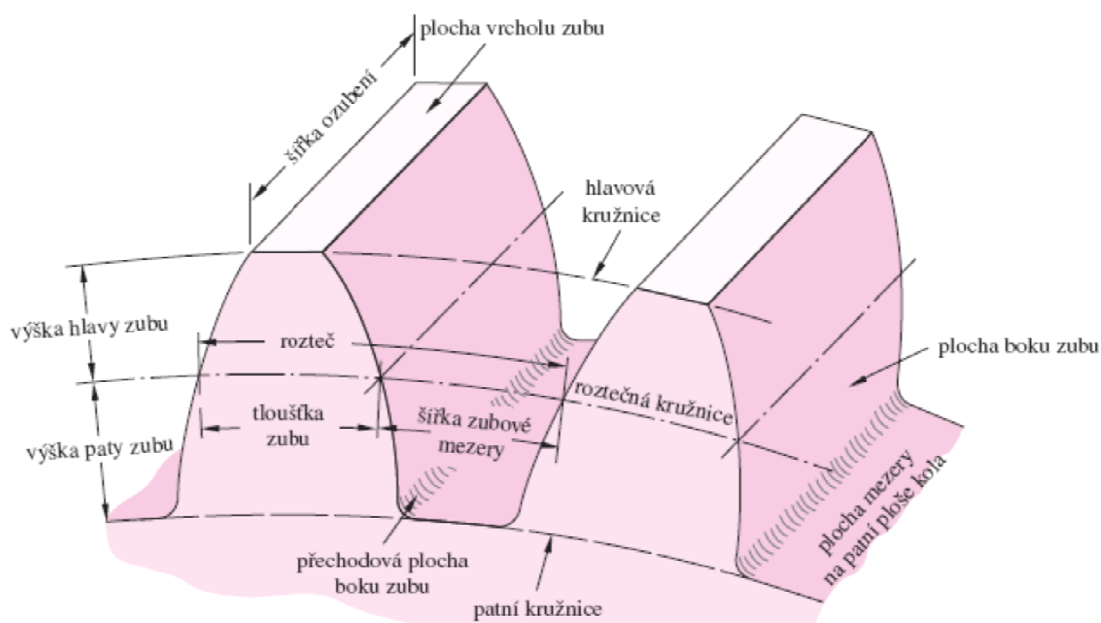
Rozteč zubů: $p = \pi \cdot m$ [mm] (12)

Tloušťka zubu: $s = \frac{p}{2}$ [mm] (13)

Osová vzdálenost hřídelů: $a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m$ [mm] (14)

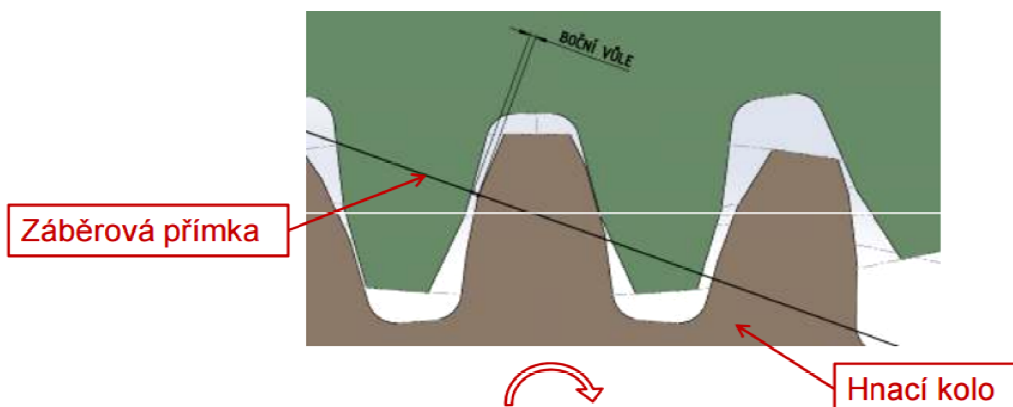
Šířka ozubení: $b = \psi \cdot m$ [mm] (15)

kde: ψ - součinitel poměrné šířky ozubení [-]. [1] [5] [6] [13]



Obr. 5 Základní pojmy čelního ozubení [40]

Pro správnou funkci ozubení je důležitá tzv. boční vůle: „Boční vůle c_n je nejkratší vzdálenost mezi nezatíženými boky spoluzabírajících zubů, která se měří na záběrové přímce. Boční vůle v ozubení je nutná vzhledem k výrobním nepřesnostem, k vyrovnání tepelné dilatace ozubeného soukolí i skříně a pro vytvoření souvislé vrstvy maziva na bocích zubů.“ [5]



Obr. 6 Boční vůle v ozubení [5]

Čelní ozubená kola mohou mít kromě přímých zubů také zuby šikmé: „Čelní ozubená soukolí se šikmými zuby slouží, stejně jako ozubená soukolí s přímými zuby, pro přenos krouticího momentu mezi rovnoběžnými hřídeli. Plocha boku zubu je u těchto kol tvořena přímkovou evolventní šroubovou plochou. Ve skutečnosti se tedy jedná o kola se šroubovitými zuby. Dvě spoluzabírající kola musí mít opačný smysl stoupání šroubovice, ale stejný úhel sklonu zubů. Čelní kolo se šikmými zuby se odvaluje na hřebenu se šikmými zuby s rovinnými boky. Normálový řez tímto hřebenem je totožný s normalizovaným základním profilem u přímých zubů. Proto se ozubená kola se šikmými zuby mohou vyrábět stejnými nástroji jako čelní kola s přímými zuby. Břit nástroje je nutné nastavit do normálové roviny.“ [7] Výhody šikmých zubů jsou klidnější a tišší chod, rovnoměrnější zatížení z důvodu většího počtu zubů v záběru a podřezávání nastává u menšího počtu zubů než u přímých zubů. Nevýhodou je vznik axiálních sil, které namáhají ložiska. [7]



Obr. 7 Čelní ozubené soukolí vnější se šikmými zuby [3]

3.3.1.2 Čelní soukolí vnitřní

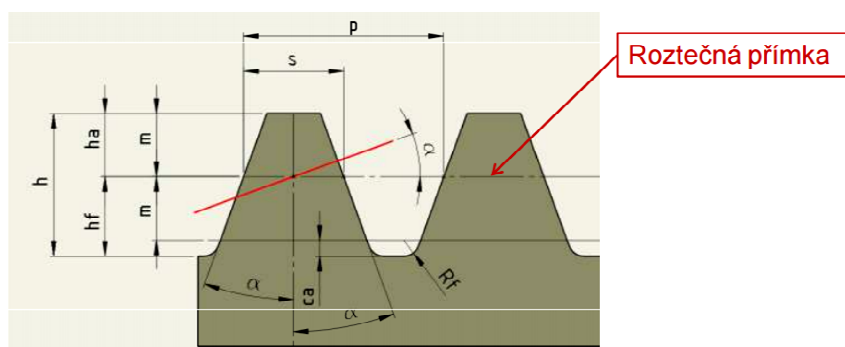
Čelní soukolí vnitřní je nejčastěji používáno u planetových převodů, planetové převodovky se vyznačují tím, že umožňují dosažení velkých převodových poměrů. [1] Toto soukolí má oproti vnějšímu soukolí stejný smysl otáčení jak u hnacího, tak i u hnaného kola.



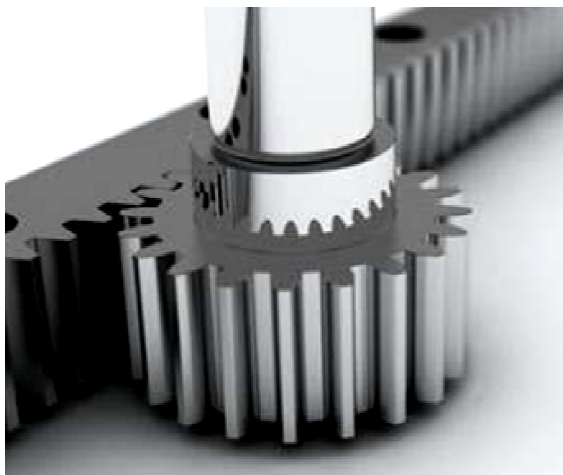
Obr. 8 Čelní ozubené soukolí vnitřní [40]

3.3.1.3 Čelní soukolí hřebenové

„Při zvětšování průměru roztečné kružnice až k nekonečnu se tato změni v roztečnou přímku. Tím se ozubené kolo změni v ozubený hřeben a evolventní křivka profilu zubu přejde v přímku, která je skloněna pod úhlem záběru α . Dostaneme tak základní profil, od kterého je odvozen výrobní nástroj ozubení (obrážecí hřeben nebo odvalovací fréza). Základní profil je i podkladem pro teoretické výpočty. Úhel záběru pro ozubená kola je normalizovaný. V některých případech je však vhodné použít jiný, než normalizovaný úhel záběru.“ [5] Spojení ozubeného hřebenu s ozubeným kolem slouží k přeměně rotačního pohybu v pohyb přímočarý a naopak. [4]



Obr. 9 Základní profil evolventního ozubení [5]



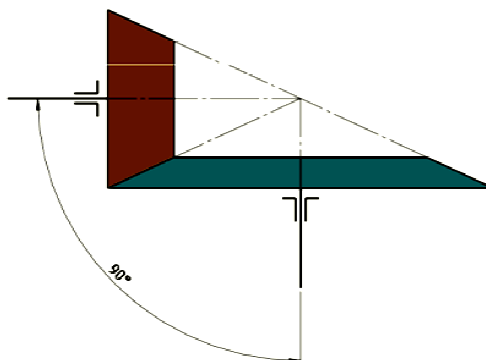
Obr. 10 Čelní soukolí hřebenové [3]

3.3.2 Soukolí s různoběžnými osami – kuželová soukolí

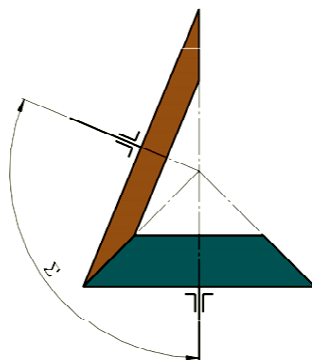
„Kuželová soukolí slouží k přenosu krouticího momentu mezi různoběžnými hřídeli. Úhel mezi osou hnacího a hnaného kola bývá většinou 90° . V porovnání s válcovými koly je výroba i montáž kuželových kol náročnější a dražší.“ [8]

Dle koncepce rozdělujeme kuželová soukolí následovně:

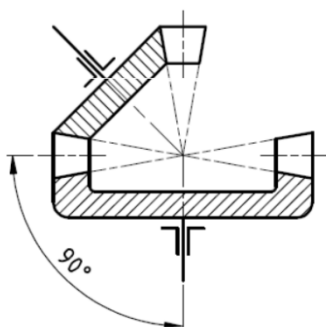
- soukolí s vnějším ozubením pravoúhlé (osy svírají úhel 90°);
- soukolí s vnějším ozubením kosoúhlé (osy svírají úhel větší nebo menší než 90°);
- soukolí základní s rovinným kolem (obdoba základního profilu u čelního ozubení);
- soukolí s vnitřním ozubením. [8]



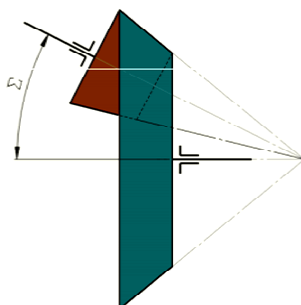
Obr. 11 Pravoúhlé kuželové soukolí s vnějším ozubením [8]



Obr. 12 Kosoúhlé kuželové soukolí s vnějším ozubením [8]



Obr. 13 Kuželové soukolí základní s rovinným kolem [8]



Obr. 14 Kuželové soukolí s vnitřním ozubením [8]

3.3.3 Soukolí s mimoběžnými osami

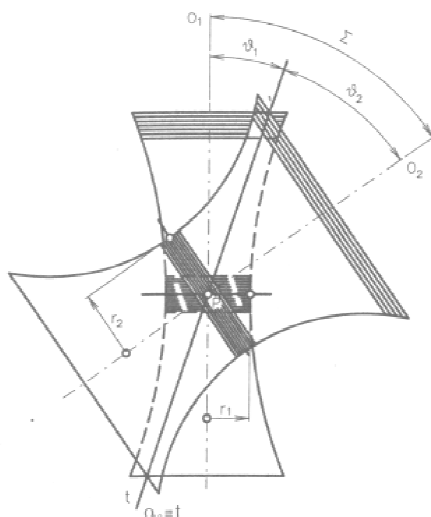
3.3.3.1 Šroubové soukolí

„Šroubové soukolí slouží k přenosu rotačního pohybu a krouticího momentu mezi mimoběžnými hřídeli. Převody mezi mimoběžnými hřídeli pomocí kombinace soukolí kuželových popř. i čelních, jsou konstrukčně složitější a nákladnější. Šroubová soukolí mají naproti tomu nižší účinnost, a proto jsou vhodná pro přenos menších výkonů. Teoretickým základem šroubových soukolí jsou soukolí hyperboloidní. Základní plochy

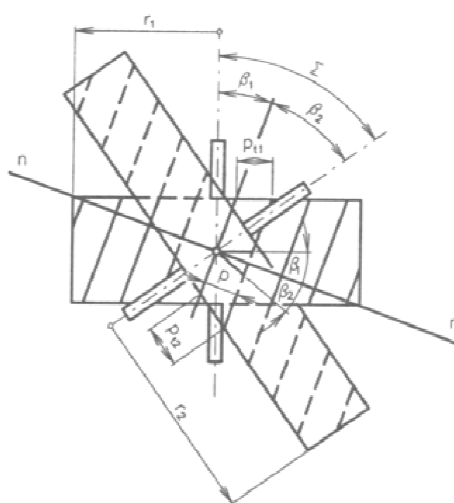
těchto kol jsou rotační hyperboloidy, jejichž osy otáčení jsou mimoběžné.“ [1] Tato soukolí nejsou z technologických důvodů téměř nepoužívána, protože jejich výroba je drahá a obtížná, proto slouží jen jako teoretický základ pro následující reálná soukolí:

- a) šroubová soukolí válcová;
- b) šroubová soukolí kuželová. [1] [4]

„Šroubová soukolí válcová se uplatňují v místě nejkratší příčky mimoběžných os, kde tvar hyperboloidních těles lze s jistou přibližností nahradit kruhovými válci. Šroubová soukolí kuželová se uplatňují v oblastech od nejkratší příčky odlehlých, kde se hyperboloidy nahradí komolými kužely. U obou případů potom přímkový dotyk přechází v dotyk bodový.“ [4]



Obr. 15 Hyperboloidní šroubové soukolí [4]



Obr. 16 Šroubové soukolí válcové [4]

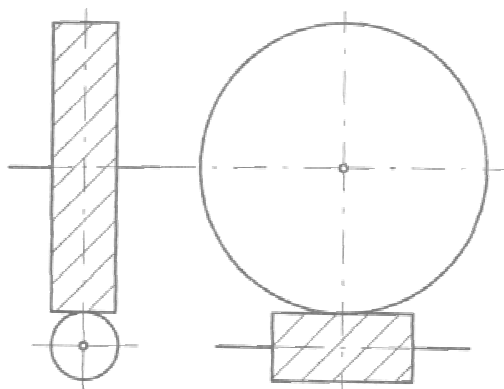


Obr. 17 Šroubové soukolí kuželové [3]

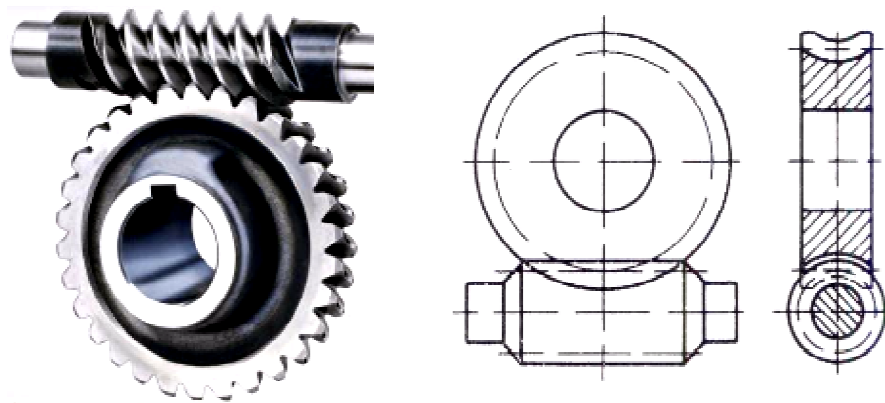
3.3.3.2 Šnekové soukolí

„Šnekové soukolí je v podstatě válcové šroubové soukolí, u kterého počet zubů hnačícího kola tzv. šneku je, $z_1 = 1, 2, 3$, výjimečně více, takže šnek přechází svým tvarem v jedno nebo vícechodý šroub. Spoluzabírající kolo se nazývá šnekové kolo. Šnek i šnekové kolo mohou být buď válcové, nebo globoidní.“ [1] Podle tohoto rozdělujeme šneková soukolí následovně:

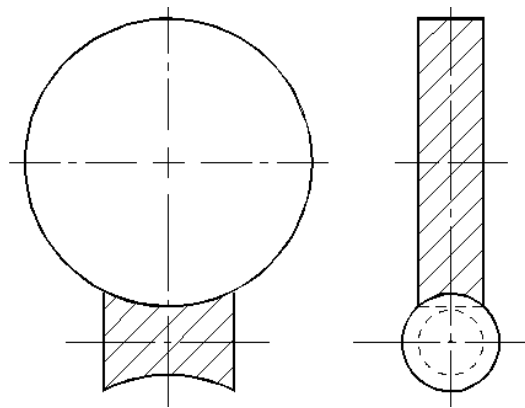
- a) soukolí válcová (obyčejná) – obě kola mají tvar válců;
- b) válcový šnek + globoidní šnekové kolo – nejpoužívanější případ;
- c) globoidní šnek + válcové šnekové kolo – málo používané;
- d) globoidní šnek + globoidní šnekové kolo – nejúnosnější ale také nejdražší;
- e) válcový šnek + šnekový hřeben – změna rotačního pohybu na pohyb přímočarý. [4]



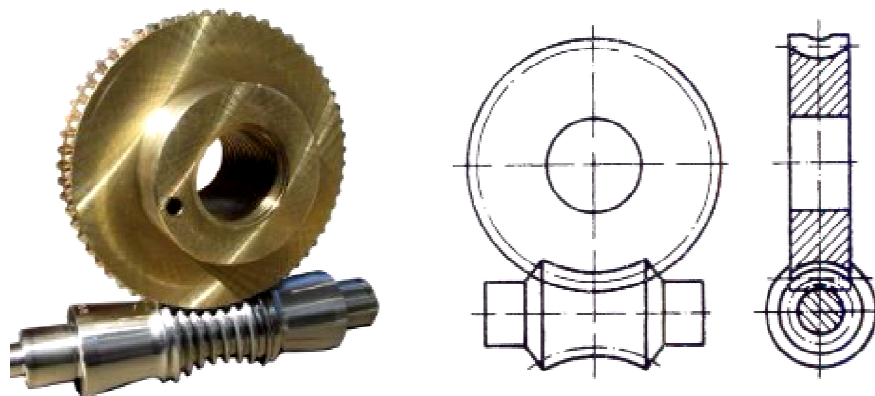
Obr. 18 Šnekové soukolí válcové [4]



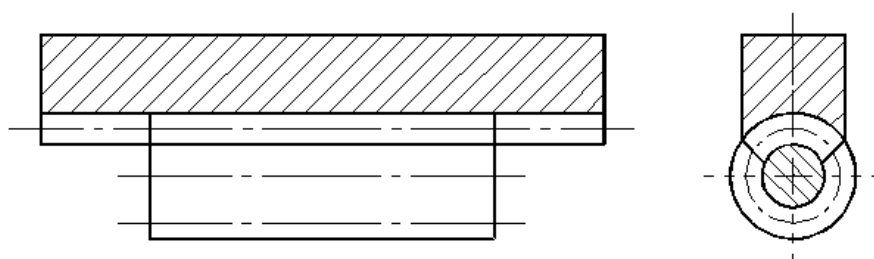
Obr. 19 Válcový šnek + globoidní šnekové kolo [40]



Obr. 20 Globoidní šnek + válcové šnekové kolo [4]



Obr. 21 Globoidní šnek + globoidní šnekové kolo [40]



Obr. 22 Válcový šnek + šnekový hřeben [4]

3.4 Rozdělení ozubených převodů dle tvaru boků zubů

Dle tvaru boků zubů rozdělujeme ozubení následovně:

- ▶ s přímými zuby
- ▶ s šikmými zuby
- ▶ s šípovými zuby
- ▶ se zakřivenými zuby

Obr. 23 Rozdělení ozubení dle tvaru boků zubů [3]

3.4.1 Ozubení s přímými zuby

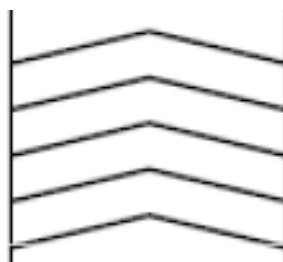
Jedná se o nejběžnější tvar zubů, používán je jak u čelních (obr. 10), tak i kuželových kol. Nevýhodou přírodních zubů oproti šikmým zubům je hlučnost, protože mají malý součinitel trvání záběru. Výhodou oproti šikmým zubům je to, že nevzniká axiální síla. [7] [9]

3.4.2 Ozubení se šikmými zuby

Ozubení se šikmými zuby (obr. 7) má pozvolný záběr, klidnější a tišší chod i při vyšších rychlostech z důvodu vyšší hodnoty součinitele trvání záběru. Může přenášet větší výkony. Zatížení zubů je rovnoměrnější a jejich podřezání nastává při menším počtu zubů, než u zubů přírodních. Nevýhodou je vznik axiálních sil, které namáhají ložiska. Axiální síly se zvyšují s rostoucím úhlem sklonu zubů, který bývá 8° až 20° . [7] „Účinnost kol se šikmými zuby je o něco menší, než u kol s přírodnými zuby, protože axiální síla zvětšuje tření; rozdíl však nejsou velké.“ [10]

3.4.3 Ozubení se šípovými zuby

Šípové zuby odstraňují axiální síly, tedy nevýhodu šikmých zubů. Úhel sklonu zubů je možno volit až 45° . Zuby šípových kol dosahují nejvyšší pevnosti uprostřed, proto je pro soukolí s jedním smyslem otáčení doporučen pohyb ve směru šípu. [10]



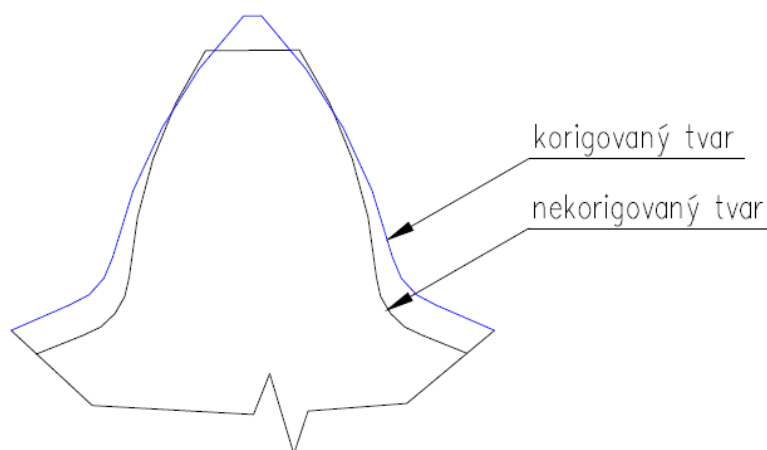
Obr. 24 Šípové zuby [3]

3.4.4 Ozubení se zakřivenými zuby

Ozubení se zakřivenými zuby je mnoho druhů např. kruhové obloukové zuby, paraboloidní zuby a eloidní zuby. Zakřivených zubů je využíváno u kuželových kol: „Podobně jako u čelních kol se šikmými zuby klesá i u kuželových kol se zakřivenými zuby mezní počet zubů proti jejich počtu u kol s přímými zuby. Kromě toho jsou zakřivené zuby pevnější a lépe se přizpůsobují deformacím hřídelů v provozu, takže dobrý záběr zůstává zachován a soukolí běží tiše.“ [11]

3.5 Rozdělení ozubených převodů dle způsobu korekce

„Korigování ozubení je změna tvaru ozubení, přispívající k dosažení požadovaných vlastností, např. k zesílení paty, k zabránění podříznutí zubů, zmenšení skluzu, snížení měrných tlaků, k dosažení dané vzdálenosti os apod.“ [12] [13]



Obr. 25 Zesílení paty zubu korekcí [14]

3.5.1 Korekce posunutím profilu, resp. nástroje

Jedná se o nejčastější způsob korekce, protože nevyžaduje žádné zvláštní nástroje. „Korekce posunutím profilu lze použít k zlepšení všech druhů ozubení. Při této korekci je nástroj posunut proti vyráběnému kolu tak, že se již jeho roztečná přímka (či roztečná kružnice u způsobu Fellow) nedotýká roztečné kružnice obrobku. Roztečná kružnice obrobku se při výrobě odvaluje po přímce rovnoběžné s roztečnou přímkou nástroje, vzdálenou o hodnotu $x \cdot m$, kde x je tzv. jednotkové posunutí nástroje. Průměr hlavové kružnice obrobku se zvětší nebo zmenší o hodnotu $2 \cdot x \cdot m$, podle toho, zda jde o kladnou či zápornou korekci. Korekce dosahovaná posunutím profilu se označuje za kladnou (+), je-li při ní nástroj proti běžnému ozubení jakoby vysunut ze záběru, tj. u kol s vnějším ozubením je vzdálen více od středu kola, kdežto u kol s vnitřním ozubením se ke středu kola přiblíží. Je-li nástroj při korekci proti běžnému ozubení zasunut hlouběji do záběru, jde o korekci zápornou (-).“ [13]

Teoretický mezní počet zubů, u kterého ještě nedoje k podřezání je 17. V praxi se ale připouští mírné podřezání, a tak praktický mezní počet zubů je 14. Obě hodnoty platí pro normalizovaný úhel záběrové přímky $\alpha = 20^\circ$. [4] Pro určení toho, o jakou hodnotu $x \cdot m$ je třeba posunout nástroj, aby nedošlo k podřezání zubu, je několik metod. Mezi nejběžnější patří tzv. nejmenší korekce, která odstraní pouze podřezání zubů a tzv. korekce podle Meritta, která je přesnější, protože kromě odstranění podřezání zubů bere ohled i na zlepšení tvaru a pevnosti zubů. [14] Tato korekce je použita i v praktické části pro úpravu osové vzdálenosti soukolí. Jednotkové posunutí určíme z následujících 2 rovnic:

$$x = 0,4 \cdot \left(1 - \frac{z_1}{z_2}\right) [-] \quad (16)$$

$$x = 0,02 \cdot (30 - z_1) [-] \quad (17)$$

kde: x - jednotkové posunutí [-]

z_1 - počet zubů pastorku [-]

z_2 - počet zubů velkého kola [-]. [14]

Z obou rovnic získáme dva rozdílné výsledky a pro určení hodnoty $x \cdot m$ použijeme ten s vyšší hodnotou jednotkového posunutí. [14] Po zjištění hodnoty $x \cdot m$ již lze určit rozměry korigovaného ozubení.

Podle toho, jestli byla provedena u jednotlivých kol kladná, záporná nebo případně nebyla provedena žádná korekce, rozlišujeme 3 druhy soukolí:

- a) soukolí N – obě kola jsou bez korekce $\Rightarrow x_1 = x_2 = 0$;
- b) soukolí VN resp. V0 – obě kola jsou korigována tak, aby nedošlo ke změně osové vzdálenosti $\Rightarrow x_1 = -x_2$;
- c) soukolí V – pastorek má u tohoto soukolí kladnou korekci vždy a kolo je buď nekorigováno, nebo má také kladnou korekci, čímž dochází ke změně osové vzdálenosti $\Rightarrow x_1 \neq x_2 \neq 0$. [4] [14]

3.5.2 Korekce zvětšením úhlu záběru nástroje

„Poněvadž počet zubů kola s normální výškou ozubení a s profilem na mezi podříznutí je dán vztahem $z_m = \frac{2}{\sin^2 \alpha}$, je možno nástrojem s větším úhlem záběru α vyrobit kola s menším počtem zubů. Poloměr základní kružnice se zmenšuje se zvětšujícím se α a evolventa začíná blíže ke středu kola. Na boku zubu se prodlouží evolventní část, zatímco přechodová křivka se zkrátí. Pro úhel $\alpha = 30 [^\circ]$ je $z_m \doteq 8$. Nejmenší dosažitelný mezní počet zubů je $z_m = 6$ při $\alpha = 32 [^\circ]$, avšak zub vychází již špičatý. Proto se volí úhel α mezi $20 [^\circ]$ a $30 [^\circ]$. Korekce zvětšením úhlu se používá hlavně u kol pro zubová čerpadla a u soukolí pracujících s rázy. Nevýhodou tohoto způsobu je jednak potřeba zvláštních nástrojů s příslušným úhlem α , jednak zvětšené zatížení ložisek.“ [13]

3.5.3 Korekce snížením výšky zubu

„Změní-li se výška hlavy zubu základního profilu z $h_a = m$ na $h_a = \omega \cdot m$, kde $\omega \leq 1$, změní se mezní počet zubů z_m podle vzorce $z_m = \frac{2 \cdot \omega}{\sin^2 \alpha}$. Při $\omega < 1$ se bude mezní počet zubů zmenšovat, např. pro $\omega = 0,8$ a $\alpha = 20 [^\circ]$ je $z_m \doteq 14$, při $\omega = 0,7$ a $\alpha = 20 [^\circ]$ je $z_m \doteq 12$. Zub je na patě nezeslabený, evolventní část boku se prodlouží, ale součinitel záběru je menší.“ [13]

3.6 Rozdělení ozubených převodů dle volby druhu polotovaru

„Polotovary dělíme na normalizované a nenormalizované a podle druhu materiálu na polotovary z kovových materiálů (železných a neželezných) a polotovary z nekovových materiálů (plastů apod.).“ [15]

mezi **normalizované polotovary** (podle průřezu) patří:

- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1. předvalky (bloky, sochory aj.), | 5. trubky, |
| 2. tyče (kruhové, čtvercové aj.), | 6. dráty, |
| 3. plechy, | 7. profily tenkostěnné. |
| 4. pásy, | |

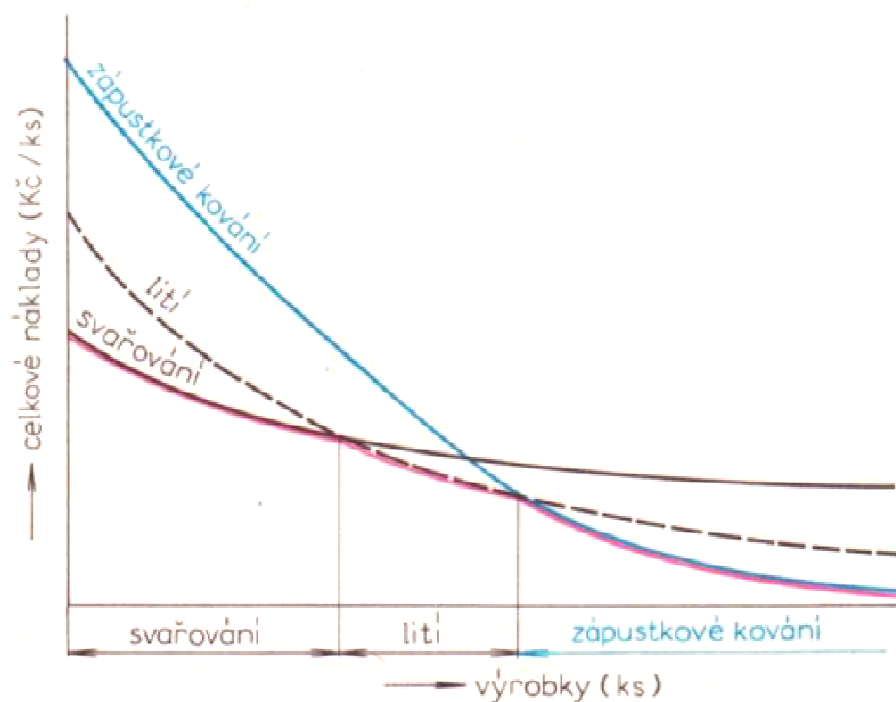
mezi **nenormalizované polotovary** patří:

- | | |
|-------------|------------------------|
| 1. odlitky, | 5. výpalky a odřezky, |
| 2. výkovky, | 6. pájené polotovary, |
| 3. výlisky, | 7. lepené polotovary, |
| 4. svarky, | 8. slinuté polotovary. |

Obr. 26 Normalizované a nenormalizované polotovary [16]

„Správná volba polotovaru se stává stále složitějším technicko-hospodářským úkolem. V zásadě platí, že pro menší počet součástí (tj. v kusové a malosériové výrobě) se navrhují polotovary s většími přídávky na obrábění, tzv. polotovary hrubé (obvykle normalizované), a pro velký počet součástí (tj. v sériové a hromadné výrobě) polotovary s malými přídávky, tzv. polotovary přesnější nebo přesné (obvykle nenormalizované). Vychází se tedy především z počtu kusů, na němž je závislá i cena polotovaru. Proto jsou normalizované polotovary levnější než nenormalizované polotovary, které se vyrábějí jen na zakázku. Nevýhodou normalizovaných polotovarů je, že se vyrábějí jen v určitých (normalizovaných) velikostech, tzn., že jsou určeny rozměrovými normami a technickými dodacími předpisy. To způsobuje, že někdy musíme volit zbytečně velký rozměr polotovaru, a potom odebrat větší přídávky na obrábění. Kromě materiálu má na volbu druhu polotovaru často větší a mnohdy rozhodující vliv druh výroby, protože ten určuje pracnost všech dalších způsobů zpracování polotovaru v hotovou součást. Proto se v důležitých případech a velkých sériích musí před konečným rozhodnutím o druhu a způsobu výroby polotovaru provést porovnávací technicko-hospodářský rozbor. Přitom se přihlíží nejen k nákladům na polotovar, ale také k nákladům na obrábění, které budou samozřejmě různé, podle způsobu obrábění. Výpočtem vlastních nákladů na výrobu součástí pro různé počty kusů a různé výrobní metody dostaneme křivky, kte-

ré se zakreslí do diagramu. Body, ve kterých se křivky protínají, vyznačují mezní body hospodárnosti, červená čára pak křivku hospodárnosti.“ [15] Na obr. 27 je diagram, který porovnává způsoby výroby polotovarů svařováním, litím a zápuštkovým kováním.



Obr. 27 Technicko-hospodářský rozbor volby polotovarů [16]

„Při volbě materiálu polotovarů se musí uvažovat tato hlediska:

1. konstrukční (funkční) – materiál musí vyhovovat podmínkám pevnosti, tuhosti, malé hmotnosti, prostředí, ve kterém bude součást pracovat, aj.;
2. technologické – materiál musí vyhovovat technologickým podmínkám, např. obrobitelnosti, slévateľnosti, tvárnosti, svařitelnosti, aj.;
3. hospodárnosti – musí se přihlížet k ceně materiálu, k nahrazování deficitních materiálů, k životnosti součástí, k měrné spotřebě materiálu (na jednotku výkonu), aj.“ [15]

„Zásadně se volí nejlevnější druh materiálu, který jinak svými vlastnostmi vyhovuje všem hlediskům. Neznamená to však, že by musel být vždy nejvhodnější, přihlédneme-li např. k jeho hmotnosti, dostupnosti apod.“ [15] Materiály ozubených kol se podrobně zabývá kapitola 4.

3.7 Rozdělení ozubených převodů dle způsobu výroby

Ozubení lze vyrábět mnoha způsoby. Způsob výroby je ovlivněn i volbou polotovaru, která je popsána v kapitole 3.6, jednotlivé metody výroby jsou pak popsány v kapitole 5.

3.8 Rozdělení ozubených převodů dle tepelného zpracování

Podle druhu materiálu a velikosti zatížení se provádí tepelné zpracování, a to z důvodu získání požadovaných vlastností materiálu. [1] Tepelné zpracování jednotlivých materiálů je popsáno v kapitole 4.

3.9 Rozdělení ozubených převodů dle dokončovacích metod obrábění

Dokončovacími metodami obrábění je využíváno pro získání požadované přesnosti a jakosti povrchu zubů. [29] Dokončovacími metodami obrábění se zabývá kapitola 5.

4 MATERIÁLY A TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OZUBENÝCH KOL

V této kapitole jsou nejprve uvedeny jednotlivé skupiny materiálů, které jsou pro různá ozubená kola používány, a dále je k těmto skupinám materiálů doplněno, jakým způsobem jsou tepelně zpracovávány konkrétní materiály. Závěr kapitoly je pak věnován vysvětlení uvedených pojmů tepelného, případně chemicko-tepelného zpracování. Uvedené označení materiálů je dle ČSN a lze jej dle převodních tabulek převést na označení dle EN. Převodní tabulky jsou dostupné z internetových zdrojů [41] a [42].

4.1 Materiály ozubených kol

„Na volbu materiálu a konstrukci ozubených kol a na způsob jejich výroby má vliv mnoho činitelů, např. velikost přenášených sil a obvodových rychlostí, požadovaná trvanlivost a bezpečnost, cena a hmotnost, počet vyráběných kusů, vlivy pracovního prostředí, přípustná hlučnost aj. Všechna ozubená soukolí lze rozřídít podle kinematických poměrů v záběru zubů do dvou vyhraněných skupin. První skupinu tvoří soukolí valivá, u nichž je valení doprovázeno poměrně malým skluzem – převážně v radiálním směru (výškovém), do druhé pak patří soukolí šroubová, u nichž navíc vzniká velký skluz podél zubů. V každé z těchto dvou skupin jsou jiné specifické požadavky na materiál. Pro valivá soukolí se hodí materiály s velkou povrchovou tvrdostí, kdežto pro šroubová soukolí jsou vhodné kombinace materiálu poměrně měkkého na jednom kole s materiálem tvrdším na druhém kole, resp. šneku.“ [17]

4.1.1 Materiály pro valivá soukolí

Dle kapitoly 3.3 lze uvést, že se jedná o materiály vhodné pro výrobu soukolí s rovnoběžnými a s různoběžnými osami, tedy o čelní a kuželová soukolí.

4.1.1.1 Oceli tvářené – konstrukční uhlíkové (nelegované)

Mezi tyto oceli patří třídy 10, 11 a 12. Oceli třídy 10 nejsou pro výrobu ozubení používány, z třídy 11 a 12 jsou používány oceli následující:

- a) tepelně nezpracované: 11 423, 11 500, 11 523, 11 600, 11 601, 11 700;
- b) normalizačně žíhané: 11 421, 11 500, 11 600, 11 700, 12 040, 12 050;

- c) povrchově kalené: 11 600, 11 700, 12 050, 12 051;
- d) zušlechtěné: 12 050;
- e) cementační: 12 010, 12 020, 12 023. [4] [17] [18] [19]

4.1.1.2 Oceli tvářené – konstrukční slitinové (legované)

Tuto skupinu tvoří oceli třídy 13 až 17 a na ozubená kola jsou používány tyto oceli:

- a) tepelně nezpracované: 17 243;
- b) povrchově kalené: 14 140, 14 240, 15 261, 16 440;
- c) zušlechtěné: 13 141, 13 240, 14 240, 15 231, 15 241, 15 260, 16 250, 16 430, 16 440;
- d) cementační: 14 120, 14 220, 14 221, 14 223, 16 120, 16 220, 16 526, 16 720;
- e) nitridované: 13 242, 14 340, 15 230, 15 330, 15 340, 16 343;
- f) nitrocementované: 14 140, 14 220. [4] [17] [18] [19] [20] [21]

4.1.1.3 Oceli na odlitky – uhlíkové (nelegované)

Tyto oceli jsou značeny ČSN 42 26×× a jsou používány ve stavu:

- a) normalizačně žíhaném: 42 2631, 42 2650, 42 2651, 42 2660, 42 2661;
- b) povrchově kaleném: 42 2660, 42 2661. [4] [17] [18] [19]

4.1.1.4 Oceli na odlitky – slitinové (legované)

Z této skupiny jsou využívány oceli s označením ČSN 42 27×× nebo ČSN 42 28×× a jsou používány ve stavu:

- a) normalizačně žíhaném: 42 2715, 42 2719, 42 2720, 42 2721, 42 2750, 42 2821;
- b) povrchově kaleném: 42 2719, 42 2720, 42 2750, 42 2821;
- c) zušlechtěném: 42 2719, 42 2720, 42 2721, 42 2750. [4] [17] [18] [19]

4.1.1.5 Tvárná litina

Označení tvárné litiny, neboli litiny s kuličkovým grafitem, je ČSN 42 23×× a lze ji použít v těchto 2 případech:

- a) tepelně nezpracovanou: 42 2306, 42 2307;

b) zušlechtěnou: 42 2308. [4] [18] [19]

4.1.1.6 Šedá litina

Označení šedé litiny, neboli litiny s lupínkovým grafitem, je ČSN 42 24××. Používány jsou jen tepelně nezpracované šedé litiny tohoto označení: 42 2412, 42 2421, 42 2424, 42 2425. [17] [19]

4.1.1.7 Neželezné kovy

V přístrojové technice jsou používány z neželezných kovů mosaz, bronz a slitiny hliníku. [4]

4.1.1.8 Plasty

Plasty jsou používány pro kinematické, resp. málo zatížené převody. Pro výrobu ozubení jsou vhodné tyto plasty: Polyetylen, polyamidy, polykarbonát, polymethylmetakrylát (plexisklo), fenolformaldehydová pryskyřice + plnivo (textil). [4] [18]

4.1.2 Materiály pro výrobu šneků

4.1.2.1 Oceli tvářené – konstrukční uhlíkové (nelegované)

- a) tepelně nezpracované: 11 500, 11 600, 11 601, 11 700, 12 060, 12 061, 12 062;
- b) normalizačně žíhané: 11 500, 11 600, 11 700, 12 050, 12 061;
- c) povrchově kalené: 11 600, 11 700, 12 050, 12 060, 12 061;
- d) zušlechtěné: 12 050, 12 061;
- e) cementační: 12 020;
- f) karbonitridované: 12 061. [4] [17] [18] [19]

4.1.2.2 Oceli tvářené – konstrukční slitinové (legované)

- a) povrchově kalené: 14 140;
- b) zušlechtěné: 13 151, 14 140, 14 331, 16 240;
- c) cementační: 14 220, 14 223, 16 220;

d) nitridované: 13 242, 14 340, 15 230, 15 330, 15 340, 16 343. [4] [17] [18] [19]

4.1.3 Materiály pro výrobu šnekových kol

4.1.3.1 Šedá litina

Pro malé kluzné rychlosti (ruční pohon) jsou používány tepelně nezpracované šedé litiny tohoto označení: 42 2415, 42 2420, 42 2425, 42 2430, 42 2456. [18] [19]

4.1.3.2 Mosaz a hliníkový bronz

Pro vyšší kluzné rychlosti a vyšší výkony jsou používány odlitky z mosazi, které jsou značeny ČSN 42 33×× a odlitky z bronzu, které jsou značeny ČSN 42 31××. Konkrétně se jedná o materiály s tímto označením:

- a) mosaz: 42 3311, 42 3313;
- b) hliníkový bronz: 42 3145, 42 3147. [18]

4.1.3.3 Cínový bronz

Pro střední a velké kluzné rychlosti a výkony jsou používány odlitky z cínového bronzu s tímto označením: 42 3120, 42 3123, 42 3135, 42 3137. [18]

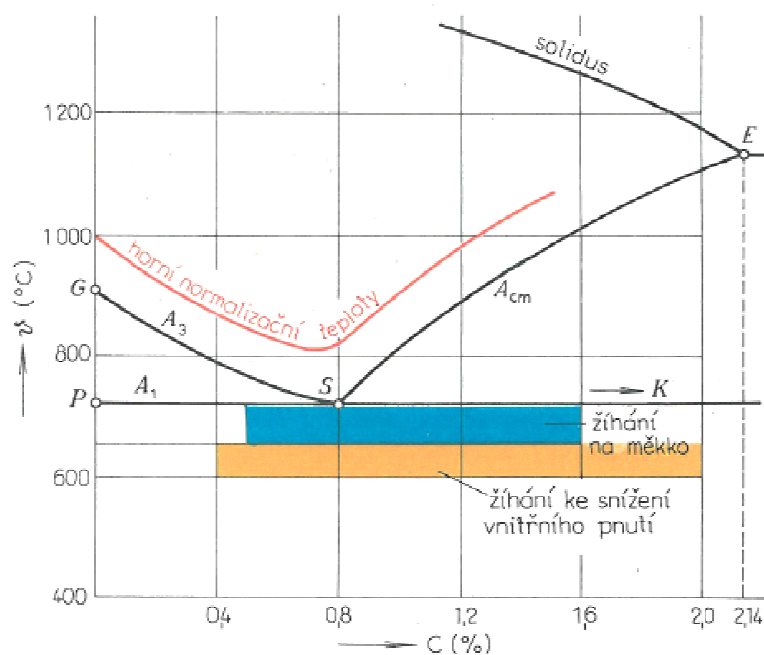
4.2 Význam uvedených pojmů tepelného zpracování

„Tepelné zpracování je proces, při němž je předmět v tuhém stavu podroben určitým změnám teploty pro dosažení požadovaných vlastností materiálu. Ovlivňuje-li se děj záměrně také chemickým účinkem prostředí, jde o chemicko-tepelné zpracování.“ [1]

4.2.1 Normalizační žíhání (normalizace)

Žíhání je obecně proces, který zahrnuje ohřev předmětu na žíhací teplotu, výdrž na této teplotě a v poslední fázi pomalé ochlazování předmětu, za účelem např. zlepšení obrobitelnosti, snížení tvrdosti nebo snížení vnitřních pnutí. [1] Termín normalizační žíhání neboli normalizace, je pak definován takto: „Normalizovaná součást bývá zpra-

vidla ohřátá na mírně vyšší teplotu než v případě úplného vyžhání. Při normalizaci je součást ochlazena proudícím vzduchem na pokojovou teplotu. To vyvolá hrubozrnnější strukturu, která je v případě nízkouhlíkových ocelí snadněji obrobitelná. Protože takovéto ochlazování je mnohem rychlejší než pomalé ochlazování při žhání, je méně času pro získání rovnovážného stavu a materiál je tvrdší než v případě žháného stavu. Normalizace se často používá jako konečné tepelné zpracování ocelí. Ochlazování proudícím vzduchem lze přirovnat k pomalému kalení.“ [22] Při normalizaci je materiál vsazen do pece přehřáté přibližně na 400 [°C] a dále je ohříván na normalizační teplotu, která je 800 až 900 [°C]. [1] [23] V rovnovážném diagramu Fe-Fe₃C leží normalizační teplota, v závislosti na obsahu uhlíku v materiálu, nad křivkami A₃ nebo A_{cm} – viz červená křivka na obr. 28, která zobrazuje horní normalizační teploty. Teploty vhodné pro normalizaci, tedy leží v oblasti mezi křivkami A₃ nebo A_{cm} a červenou křivkou.

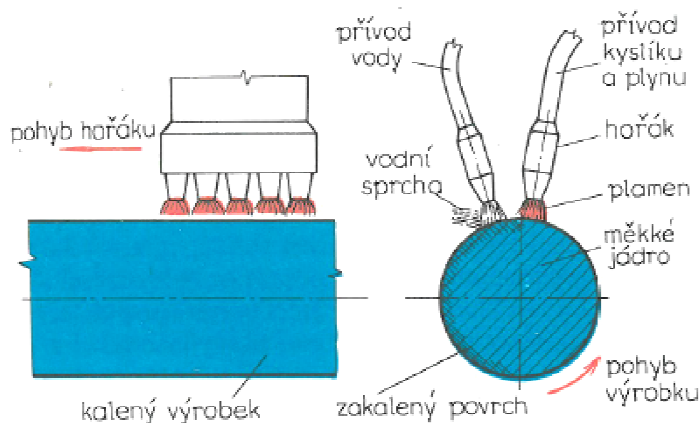


Obr. 28 Normalizační teploty v rovnovážném diagramu Fe-Fe₃C [24]

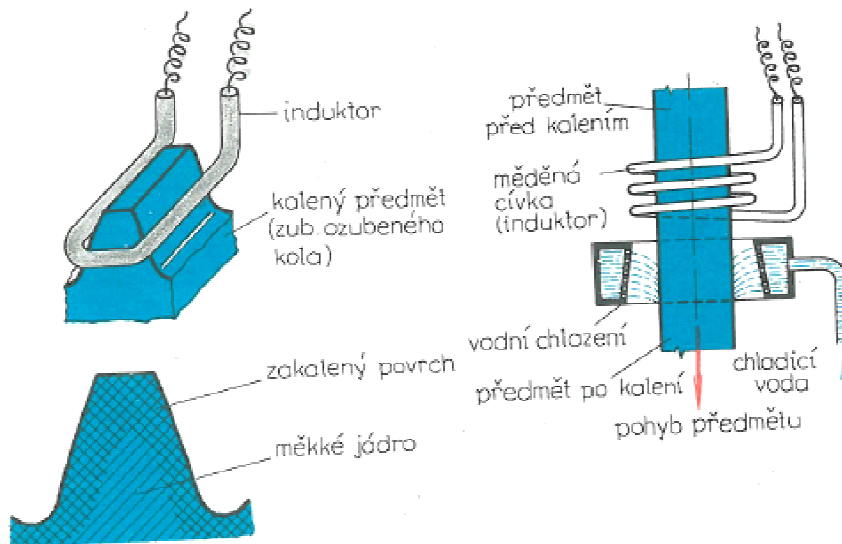
4.2.2 Povrchové kalení

„Povrchové kalení spočívá v ohřátí povrchu ocelového předmětu na teplotu kalení a v jeho bezprostředním ochlazení. Ohřívá se buď kyslíkoplynovým plamenem (obr. 29), nebo indukovaným elektrickým proudem (obr. 30), ochlazuje se vodou. Povrchově se kalí předměty, které mají mít tvrdý povrch, aby vzdorovaly opotřebení, a měkké jádro,

aby byly odolné proti nárazům. Takové předměty se zhotovují z oceli obsahující 0,4 až 0,6 [%] uhlíku.“ [24] Teplota ohřevu u povrchového kalení je 200 [°C], případně i více, nad křivkou A₃ v rovnovážném diagramu Fe-Fe₃C. Z toho plyne, že povrch materiálu je tedy přibližně zahříván na 1 000 [°C]. Z uvedených dvou způsobů ohřevu je výhodnější ohřev indukční, protože okujení povrchu materiálu je malé a nevyžaduje tedy často dalších úprav. [25]



Obr. 29 Princip povrchového kalení plamenem [24]



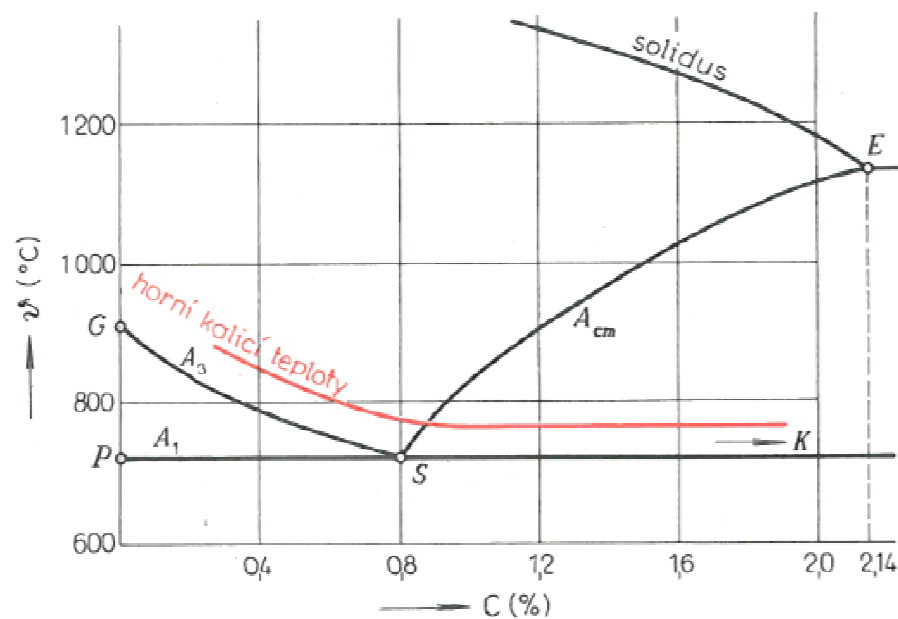
Obr. 30 Princip indukčního povrchového kalení [24]

4.2.3 Zušlechťování

Pojmem zušlechťování je označeno prokalení předmětu v celém průřezu a jeho následné popouštění za vysokých teplot. Zušlechťování je prováděno za účelem dosažení

vysoké meze kluzu, pevnosti a odolnosti proti únavě materiálu, při současném zachování vysoké houževnatosti. [25]

Podmínkou, aby mohl být materiál prokalený, je obsah uhlíku. U uhlíkových ocelí je minimální hodnota obsahu uhlíku 0,35 [%]. [25] Proces kalení pak zahrnuje pomalý a stejnoměrný ohřev materiálu na teplotu kalení, která se volí 30 až 50 [°C] nad křivkou A_3 resp. A_1 (viz červená křivka na obr. 31). [24] Poté následuje ochlazení materiálu: „K ochlazování se používá látek s různou chladicí schopností. Nejrychleji ochlazuje studená voda, pomaleji olej a nejpomaleji vzduch. Ochlazovací schopnost vody lze zvýšit přidáním soli nebo kyseliny a zmírnit ohřevem nebo přidáním vápenitých látek. Chladicí účinek lze zvýšit pohybem chladicí látky (vodní sprcha) nebo pohybem kaleného předmětu v lázni.“ [24]



Obr. 31 Kalicí teploty v rovnovážném diagramu $Fe-Fe_3C$ [24]

Druhou fází zušlechťování, která navazuje na kalení, je popouštění: „Popouštěním se zmírňuje nežádoucí křehkost a vnitřní pnutí zakalených předmětů a do jisté míry se zvyšuje jejich houževnatost, ovšem na úkor tvrdosti. Popouštění následuje hned po zalkalení. Kalený předmět se nechá zcela vychladnout, znova se ohřeje na popouštěcí teplotu a ochladí se ve vodě (popouštění vnějším teplem). Může se však postupovat také tak, že se předmět vyjme z ochlazovací lázně před jeho úplným ochlazením, vyčká se, až teplo zevnitř prohřeje povrch a předmět se znova ponoří do ochlazovací lázně, jakmile jeho očištěný povrch získá příslušnou popouštěcí barvu (popouštění vnitřním teplem).“ [24]

Při zušlechťování je popouštění prováděno při teplotách 350 až 700 [°C] a jedná se o tzv. popouštění za vysokých teplot. [25]

4.2.4 Cementování

„Cementování je jedním z nejpoužívanějších způsobů chemicko-tepelného zpracování. Při něm se povrch předmětu z měkké oceli (s obsahem uhlíku max. 0,3 [%]) nasycuje uhlíkem v plynném, kapalném nebo pevném prostředí při teplotách 800 až 950 [°C] na obsah 0,7 až 0,9 [%] uhlíku. Zakalením této vrstvy se dosáhne velké tvrdosti, přičemž se zachová houževnaté jádro. Nauhličená vrstva bývá 0,5 až 1,5 [mm] tlustá. Zastaralý způsob cementování v pevném prostředí je pomalejší než cementování v plynném prostředí nebo v cementační lázni.“ [24] Zakalení součásti probíhá přímo z teploty nauhličování a poté je součást popuštěna. [22]

4.2.5 Nitridování

„Nitridování je nasycování povrchu slitinové oceli dusíkem při teplotě 480 až 550 [°C], aby se získal tvrdý povrch. Předměty určené k nitridování se vkládají do vzduchotěsně uzavřené elektrické pece, do níž se přivádí plynný amoniak (NH_3), který se při styku s horkým kovem rozkládá na vodík a dusík. Dusík pak vniká do povrchu oceli a tvoří se slitinovými prvky (hlavně s Al a Cr) nitridy, které dávají oceli velkou povrchovou tvrdost. Výhodou nitridování je nízká teplota a také to, že nitridované předměty se již nekalí, takže nenastává vnitřní pnutí a deformace.“ [24] Nitridovaná vrstva se pohybuje od 0,05 do 0,65 [mm] a doba nitridace je 5 až 80 hodin. Výhodou nitridovaného povrchu je také to, že si udržuje svoji tvrdost až do teploty 500 [°C], oproti cementovanému povrchu, který ztrácí původní tvrdost již při 180 [°C]. Pokud se před nitridací součást zušlechťí, tak při jejím průběhu nehrozí žádné deformace a rozměrové změny jsou zanedbatelné. [26] Po nitridování již není třeba součást brousit, ale někdy se broušení provádí. [4]

4.2.6 Nitrocementování

Jedná se o cementování s přísadkou dusíku: *„V průběhu nitrocementace je na povrchu ocelového dílu vytvořena tvrdá, ořeru vzdorná vrstva, která vedle uhlíku obsahuje*

také menší množství dusíku. Dusík je do atmosféry dodáván čpavkem, který je vkapáván do nahřívací komory pece. Díly jsou většinou po provedení nitrocementace zakaleny do oleje nebo solné lázně. Ve srovnání s cementací je nitrocementace prováděna při nižších teplotách mezi 850 a 870 [°C] a po kratší dobu.“ [27] Nitrocementační vrstva bývá 0,075 až 0,6 [mm]. Nitrocementování nahrazuje cementaci menších ozubených kol. [27]

4.2.7 Karbonitridace

„Karbonitridace kombinuje účinek sycení povrchu součástí zároveň dusíkem i uhlíkem za teploty 550 až 590 [°C], tedy nižší než nitrocementace. Z atmosféry tvořené čpavkem a zemním plynem dusík a uhlík difundují do součástí a na povrchu součástí se vytváří vrstva karbonitridů o hloubce 10 – 25 [μm]. Vzniká vrstva velmi tvrdá (dle materiálu) a vysoce odolná proti zadírání a otěru. Pod touto vrchní vrstvou proniká dusík až do hloubky 0,6 [mm] (podle druhu oceli). Tato tzv. difúzní vrstva podporuje nosnost vrchní vrstvy karbonitridů a zvyšuje únavovou pevnost karbonitridovaných výrobků. Karbonitridace zároveň zvyšuje odolnost proti korozi.“ [28] Stejně jako u nitridování je u karbonitridace výhodou to, že součást již nemusí být broušena. [4]

5 VÝROBA OZUBENÝCH KOL

V této kapitole jsou nejprve uvedeny jednotlivé technologie výroby ozubení třískovým obráběním, a dále jsou také krátce zmíněny i další (beztřískové) výrobní technologie. Následně jsou uvedeny dokončovací metody obrábění. Z důvodu výroby vnějšího čelního ozubeného soukolí s přímými zuby, frézováním dělicím způsobem v praktické části, je nejprve uvedena tato technologie výroby. Další technologie výroby jsou pak popsány již méně podrobně.

5.1 Technologie výroby ozubení třískovým obráběním

„Výroba ozubených kol je náročná a vyžaduje kvalitní obráběcí stroje i nástroje. I nejpřesněji vyrobená kola však nemusí mít zcela plynulý záběr a málo hlučný chod vlivem pružné deformace hřídelů a zubů kol i nepřesné montáže. Výroba ozubených kol je obrábění tvarových, většinou evolventních nebo cykloidních ploch vícebřitým nástrojem.“ [29]

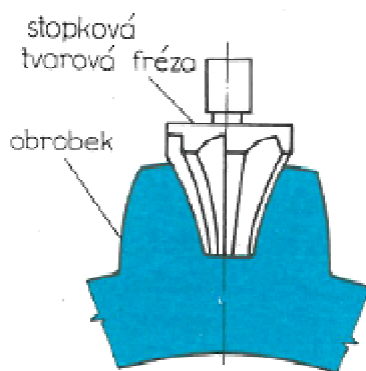
5.1.1 Výroba vnějších čelních ozubených kol frézováním dělicím způsobem

Touto technologií lze frézovat přímé, šikmé i šípové vnější čelní ozubení. [29]

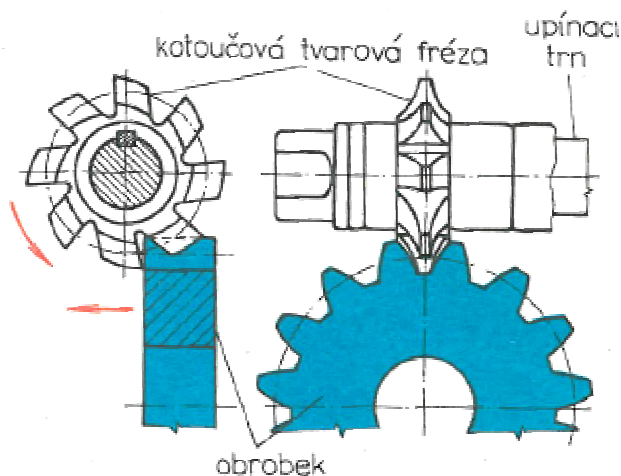
5.1.1.1 Popis technologie

„Nejjednodušším způsobem frézování ozubených kol je dělicí způsob. Nástrojem jsou čepové (obr. 32) nebo kotoučové tvarové (obr. 33) frézy, jejichž tvar je shodný s tvarem vyfrézované zubové mezery. Frézy vytvářejí postupně jednu zubovou mezeru za druhou. Tak lze frézovat na konzolových nebo na univerzálních frézkách jen čelní ozubení, a to ještě s nepříliš velkou přesností, neboť pro každý počet zubů ozubeného kola (při stejném modulu) má zubová mezera jiný tvar. Pro přesné vyfrézování zubové mezery by tedy bylo třeba pro každý počet zubů ozubeného kola použít jinou frézu, což není možné.“ [24] Nepřesnost při výrobě dále také vzniká při nastavení vzájemné polohy obrobku a nástroje. Z důvodu těchto výrobních nepřesností jsou ozubená kola, vyrobená dělicím způsobem, určena pro přenos výkonů při malých obvodových rychlostech, a to do 5 [m·s⁻¹]. [30] Způsob nastavení vzájemné polohy obrobku a nástroje, pomocí

výškoměru (nádrhu), je popsán v praktické části. Před frézováním šikmého ozubení je nutné natočit stůl univerzální frézky o úhel stoupání šroubovice zubu a následně je frézováno za současného posuvného pohybu stolu frézky, se kterým je svázané otáčení dělicího přístroje, resp. obrobku. Z uvedených dvou variant nástrojů je výhodnější frézování kotoučovou frézou, protože je tento způsob výkonnější. Při frézování šípového ozubení však kotoučovou frézou nelze použít, to je možné vytvořit pouze při použití čepové (stopkové) frézy. Obrobek je při frézování dělicím způsobem upnutý v dělicím přístroji, který umožňuje, po vyfrézování jedné zubové mezery, otočení obrobku o požadovanou zubovou rozteč. [29] Dělicí přístroje jsou podrobněji popsány v kapitole 5.1.1.3 a 5.1.1.4.



Obr. 32 Výroba ozubení dělicím způsobem čepovou (stopkovou) tvarovou frézou [24]



Obr. 33 Výroba ozubení dělicím způsobem kotoučovou tvarovou frézou [24]

5.1.1.2 Nástroje

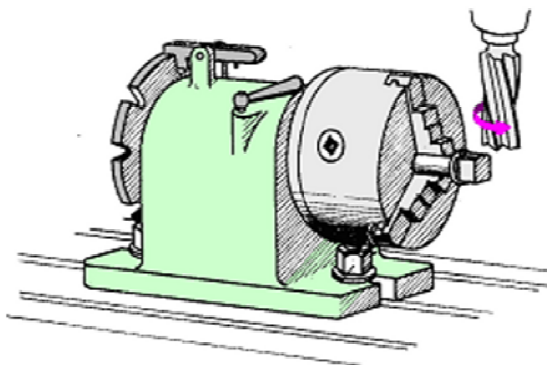
Modulové frézy jsou vyráběny ve třech normalizovaných sadách. Tyto sady mají 26, 15 nebo 8 členů (fréz) o stejném modulu a úhlu záběru. [30] Pro výrobu ozubeného soukolí v praktické části je použita sada, která obsahuje 8 členů. Jednotlivé frézy z této sady (viz 4. a 8. sloupec v tab. 1) jsou vybírány podle toho, pro jaký počet vyráběných zubů je fréza určena (viz 1. a 5. sloupec v tab. 1).

Tab. 1 Označení fréz dle počtu členů v sadě a počtu vyráběných zubů [31]

z	Počet členů v sadě			z	Počet členů v sadě		
	26	15	8		26	15	8
	Číslo frézy				Číslo frézy		
12	1	1	1	26 a 27	5	5	5
13	1 1/2	1 1/2		28 a 29	5 1/4		
14	2	2	2	30 a 31	5 1/2	5 1/2	6
15	2 1/2	2 1/2		32 až 34	5 3/4		
16	2 3/4		3	3	35 až 37	6	6 1/2
17	3	38 až 41			6 1/4		
18	3 1/4	42 až 46			6 1/2		
19	3 1/2	3 1/2	4	47 až 54	6 3/4	7	7
20	3 3/4			55 až 65	7		
21	4	4	4	66 až 80	7 1/4	7 1/2	8
22	4 1/4			81 až 102	7 1/2		
23	4 1/2	4 1/2	4	103 až 134	7 3/4	8	8
24 a 25	4 3/4			135 až ∞	8		

5.1.1.3 Jednoduchý dělicí přístroj

Tento dělicí přístroj má zpravidla dělicí kotouč o počtu 24 otvorů nebo drážek (zářezů), ve kterých lze provést aretaci pomocí kolíku nebo západky. Umožňuje tedy pouze dělení na 2, 3, 4, 6, 8, 12 nebo 24 stejných dílů. Z tohoto důvodu je používán pouze pro frézování jednoduchých součástí, např. hlav šroubů nebo matic. Obrobek může být upnutý, podle konstrukce jednoduchého dělicího přístroje, ve vodorovné nebo svislé poloze (viz obr. 34). [32] [33]



Obr. 34 Jednoduchý dělicí přístroj s vodorovným a svislým upínáním [33]

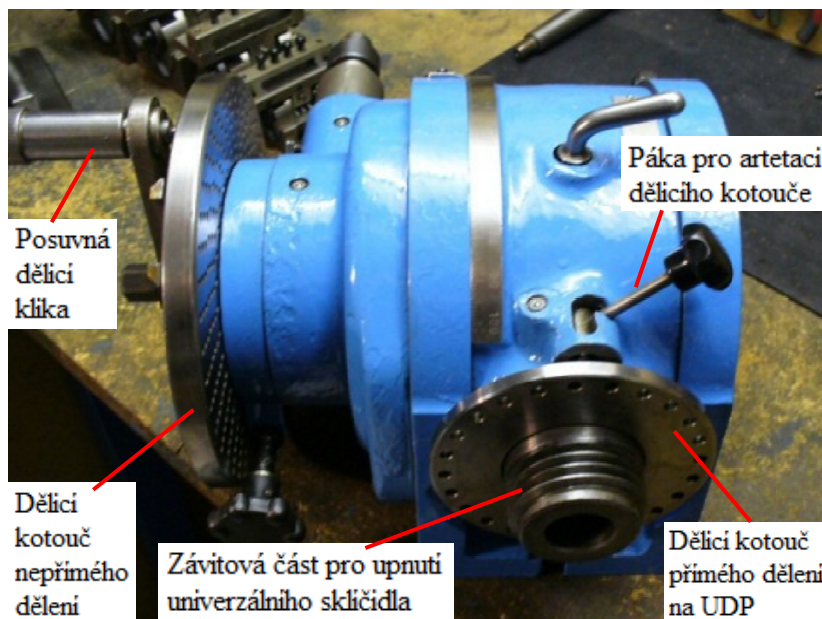
5.1.1.4 Univerzální dělicí přístroj (UDP)

S univerzálním dělicím přístrojem lze již provést dělení na požadovaný počet dílů, protože je vybavený soupravami výměnných ozubených kol a dělicích kotoučů. Jeho konstrukce dále také umožňuje vyklonění obrobku z vodorovné polohy o určitý úhel nebo frézování šroubovic. Základem konstrukce je šnekový převod zpravidla 1:40, může být ale 1:60 nebo 1:80. Tento převod lze pomocí páky rozpojit. [34] Na UDP rozeznáváme tyto způsoby dělení:

- Dělení přímé
- Dělení nepřímé
 - jednoduché,
 - složené,
 - diferenciální.

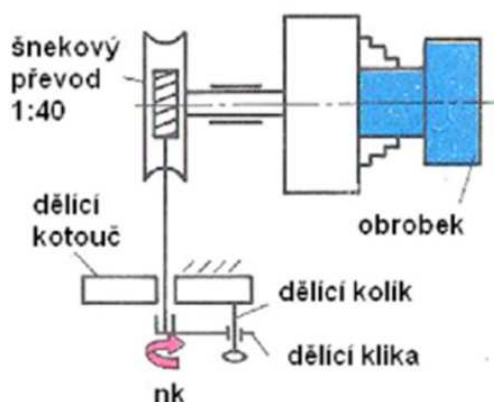
Obr. 35 Způsoby dělení na UDP [33]

Dělení přímé na UDP je shodné s jednoduchým dělicím přístrojem, je zde tedy kotouč zpravidla s počtem 24 otvorů nebo drážek. Tento kotouč je ovšem výměnný a lze místo něj případně použít i jiné kotouče s počtem 36, 42 případně 60 otvorů nebo drážek. Před přímým dělením na UDP je třeba rozpojit šnekový převod. [32] Dělicí kotouč přímého dělení, nasazený na vřetenu UDP, je v pravé přední části na obr. 36. Závitová část před tímto dělicím kotoučem slouží pro upnutí univerzálního sklíčidla a páka za kotoučem slouží k jeho aretaci pomocí kolíku.



Obr. 36 Dělicí kotouč přímého dělení na UDP [32]

Dělení nepřímé jednoduché je použito v praktické části. Toto dělení je prováděno pomocí dělicí kliky, která otáčí šnekem. Šnek dále otáčí šnekovým kolem (zpravidla již výše zmíněný převod 1:40), které otáčí vřetenem s upevněným univerzálním sklíčidlem, resp. obrobkem. Za posuvnou dělicí klikou je dělicí kotouč (vlevo na obr. 36), který lze obrátit, a který má z každé strany vždy 11 roztečných kružnic s různým počtem otvorů. Jedna strana má 24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42 a 43 otvorů a strana druhá má 46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62 a 66 otvorů. Schéma nepřímého jednoduchého dělení je na obr. 37. Při tomto způsobu dělení je využívána vždy jen jedna roztečná kružnice se zvoleným počtem otvorů, během otáčení dělicí klikou tedy nedochází k přechodu mezi roztečnými kružnicemi. [32] [33] [34]



Obr. 37 Schéma nepřímého jednoduchého dělení na UDP [33]

Zjištění, kolikrát musí být u nepřímého jednoduchého dělení otočeno dělicí klikou a po jaké roztečné kružnici, je docíleno podle tohoto vztahu:

$$n = \frac{i_s}{z_i} [-] \quad (18)$$

kde: n - počet otáček dělicí kliky [-]
 i_s - převodový poměr šnekového soukolí [-]
 z_i - počet vyráběných zubů resp. roztečí [-]. [35]

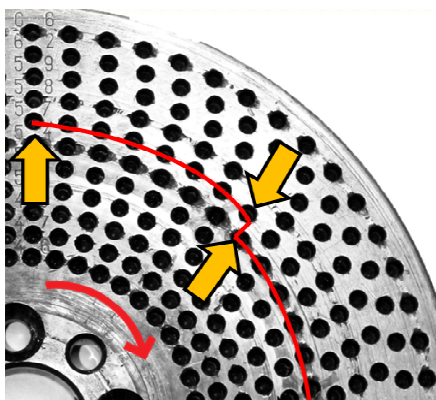
Po dosazení hodnot, do čitatele a jmenovatele, je třeba provést těchto 6 kroků:

1. Zkrátit zlomek na základní tvar (pokud již v základním tvaru není).
2. Násobit jmenovatele postupně celými kladnými čísly (od 1), dokud hodnota součinu nepřesáhne 66. Hodnota 66 je největší počet otvorů na jedné roztečné kružnici dělicího kotouče a nad tuto hodnotu již tedy nemá význam pokračovat ve výpočtech.
3. Vybrat ze všech vypočtených součinů ty, které odpovídají výše uvedeným dvěma množinám otvorů na 11 roztečných kružnicích, protože jen na těchto počtech otvorů, lze jednoduché nepřímé dělení provést.
4. Vybrat ze všech vhodných počtů otvorů jen jeden (jednu roztečnou kružnici), na které bude dělení uskutečněno. Pokud je vhodný jen jeden počet otvorů, tak je tento krok vynechán. Pokud není vhodný ani jeden počet otvorů, tak musí být zvolen jiný způsob dělení (nepřímé složené dělení nebo nepřímé diferenciální dělení).
5. Tím číslem, kterým byl násobený jmenovatel, vynásobit i čitatele (rozšíření zlomku).
6. Pokud je hodnota zlomku po rozšíření větší než 1, tak na závěr převést zlomek na smíšené číslo. Tímto krokem, jednoduše na první pohled, je zjištěn počet celých otáček dělicí kliky a zbývající počet otvorů (část kružnice), o který je třeba dělicí klikou otočit, aby byl obrobek pootočen o požadovanou rozteč. [35]

Výpočty, dle tohoto postupu, jsou provedeny s konkrétními hodnotami v praktické části.

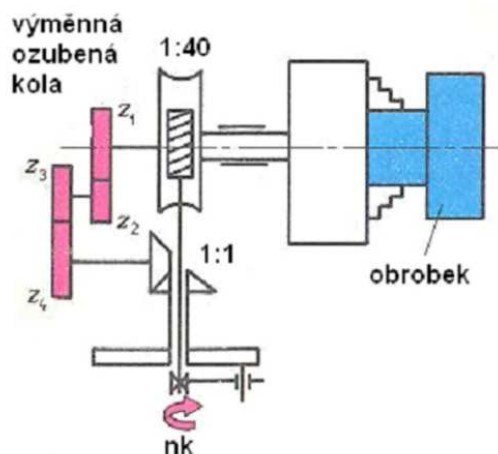
Dělení nepřímé složené využívá kombinace dvou různých dělicích kružnic, kdy je nejprve nastaven dělicí klikou určitý počet roztečí na jedné dělicí kružnici, a poté ještě na druhé dělicí kružnici. Při přechodu na druhou roztečnou kružnici může být pohyb

dělicí kliky ve stejném směru jako u první roztečné kružnice nebo ve směru opačném. Oba pohyby dělicí kliky jsou tedy buď sečítány, nebo odečítány. Nevýhoda tohoto způsobu dělení je ve složité manipulaci, z důvodu kombinace dvou roztečných kružnic, proto se téměř nevyužívá. [35] Na obr. 38 je znázorněný přechod z roztečné kružnice o počtu 57 otvorů, na roztečnou kružnici s počtem 54 otvorů, přičemž jsou oba pohyby dělicí kliky sečítány.



Obr. 38 Princip nepřímého složeného dělení na UDP [35]

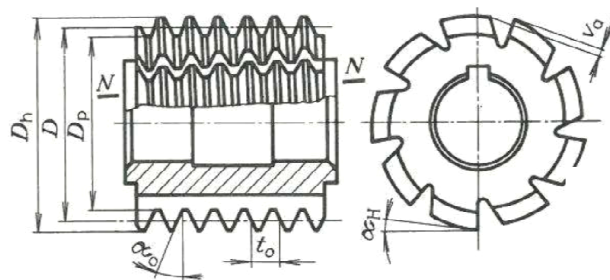
Dělení nepřímé diferenciální: „Používá se tam, kde nelze použít dělení jednoduché a složené – převážně tehdy, je-li počet roztečí prvočíslo a dělicí kotouč nemá tolik otvorů. Dělicí klikou dělíme na větší nebo menší počet dílů než je třeba a takto vzniklý rozdíl (diference) se vyrovná otáčením dělicího kotouče. Pootočení dělicího kotouče v kladném nebo opačném smyslu je umožněno vloženými výměnnými ozubenými koly.“ [33] Aby byla umožněna rotace dělicího kotouče, je nutné, aby byl uvolněn a spojen přes kuželová a čelní ozubená kola s vřetenem UDP, viz obr. 39. [33]



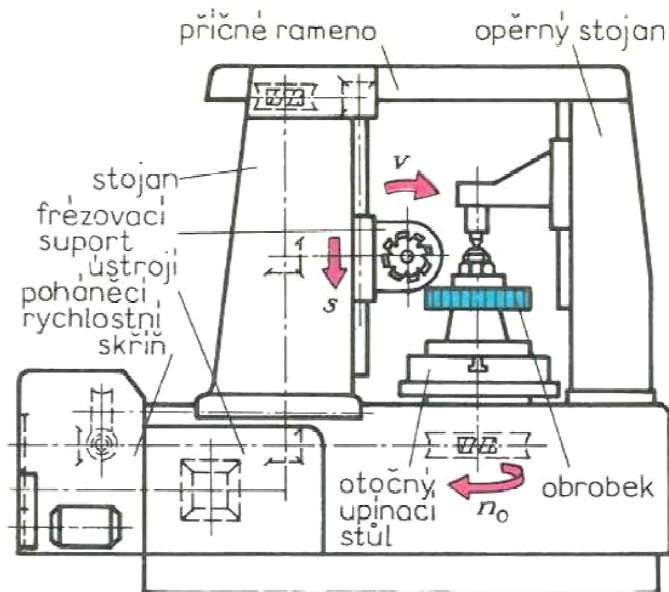
Obr. 39 Schéma nepřímého diferenciálního dělení na UDP [33]

5.1.2 Výroba vnějších čelních ozubených kol frézováním odvalovacím způsobem

„Frézování odvalovacím způsobem je nejčastější způsob výroby ozubení. Používá se tzv. odvalovacích fréz, což jsou válcové tvarové frézy, představující šnek, zabírající s obráběným ozubeným kolem. Na šneku jsou vyfrézovány drážky, čímž vzniknou jednotlivé zuby frézy (obr. 40). Odvalovací frézy na frézování ozubení se vyrábějí z vysoce výkonných rychlořezných ocelí, většinou s tvrdými otěruvzdornými povlaky, např. TiN, nebo i se vsazenými hřebeny s břity ze slinutých karbidů. Profil zubů frézy je lichoběžníkový (tzv. základní profil). Evolventa boku zubů frézovaného kola vznikne odvaalem boku zubů frézy. Proto lze odvalovací frézou příslušného modulu přesně vyrobit ozubená kola bez ohledu na počet zubů. Na odvalovací frézce je obrobek upnut na stole, který se otáčí, fréza je upnuta na trnu vřetene frézky a je natočena o úhel stoupání šroubovice. Při frézování kola se šikmými zuby je třeba natočit frézu ještě o úhel stoupání šroubovice zubů kola. Frézuje se celá hloubka zubové mezery najednou.“ [29]



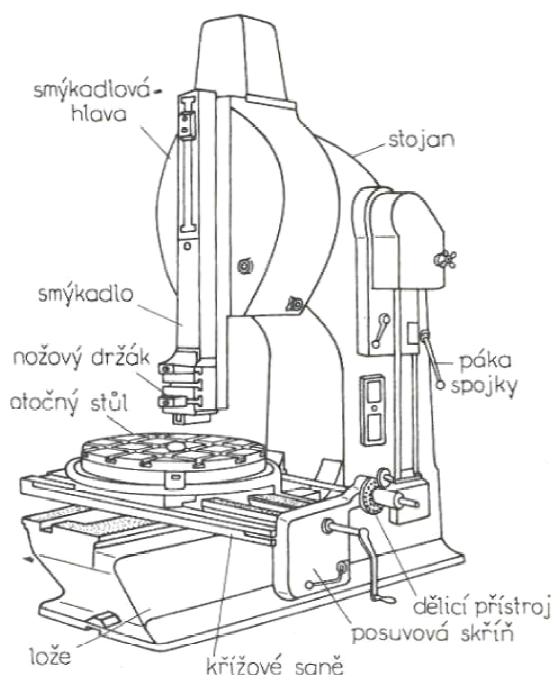
Obr. 40 Odvalovací fréza [30]



Obr. 41 Princip odvalovacího frézování [30]

5.1.3 Výroba vnějších čelních ozubených kol obrážením dělicím způsobem

Obrážecí nástroj má tvar zubové mezery, obrobek je upínán do dělicího zařízení. Hlavní řezný pohyb (nerovnoměrný přímočarý vratný) je konán nástrojem, umístěným v nožovém držáku na smýkadle, posuv je konán obrobkem. Jako stroj je obvykle používána svislá obrázečka s dělicím stolem (obr. 42). Tato metoda výroby ozubení je méně přesná a také málo produktivní. Výhodou je ochlazení nástroje při zpětném chodu. [29]



Obr. 42 Svislá obrázečka [36]

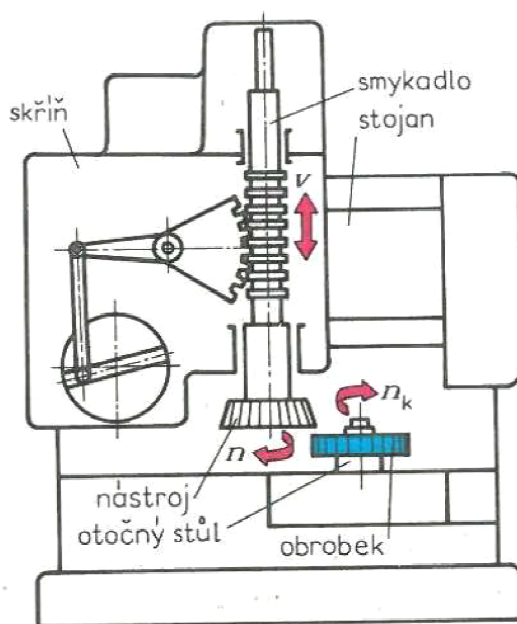
5.1.4 Výroba vnějších čelních ozubených kol obrážením odvalovacím způsobem

Jedná se o přesnější a produktivnější metodu než je obrážení dělicím způsobem. Tato technologie však vyžaduje speciální obrážecí stroj. Obrážecím nástrojem může být kotoučový obrážecí nůž (tzv. systém Fellows) nebo hřebenový obrážecí nůž (tzv. systém Maag). [29]

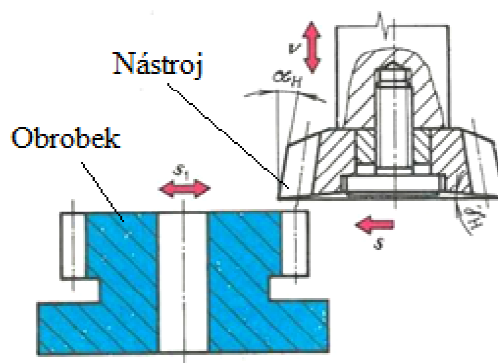
5.1.4.1 Kotoučový obrážecí nůž (systém Fellows)

„Kotoučový obrážecí nůž vykonává přímočarý vratný pohyb a současně se pomalu otáčí. Obráběné kolo, upnuté na stole obrázečky, se také otáčí. Otáčky kola a nástroje jsou v opačném poměru počtu zubů. Na začátku obrážení se k sobě nástroj i obrobek

nastaví na dotek. Nástroj se postupně přisouvá k obrobku až na plnou hloubku zubové mezery (během asi $\frac{1}{4}$ otáčky kola) a pak se přisuv zastaví. Nástroj i obráběné kolo se dále otáčí a nástroj vykonává hlavní řezný pohyb. Kolo je tedy vyrobeno za asi $1 \text{ a } \frac{1}{4}$ své otáčky. U velkých modulů je plné hloubky zubové mezery dosaženo až po několika otáčkách vyráběného ozubeného kola. Aby nástroj při zpětném pohybu nedřel o obrobek, je obrobek odsunut vačkou z řezu. Kinematické schéma obrážky na ozubení je na obr. 43. U kol se šikmými zuby vykonává nástroj během pracovního zdvihu navíc šroubový pohyb a má šikmé zuby.“ [29] Výhodou všech metod obrázení je to, že je třeba podstatně menšího prostoru pro přeběh nástroje přes okraje obrobku, oproti jiným obráběcím technologiím. Výhoda je patrná z obr. 44, na kterém je osazení v blízkosti ozubení, které by, např. při použití odvalovací frézy, bránilo jejímu přeběhu přes okraje obrobku. [2]



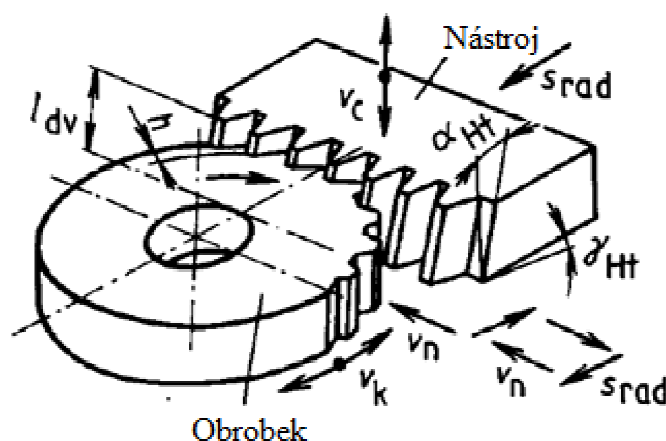
Obr. 43 Stroj pro obrázení ozubení kotoučovým nožem [30]



Obr. 44 Obrázení ozubení kotoučovým nožem v blízkosti osazení [30]

5.1.4.2 Hřebenový obrážecí nůž (systém Maag)

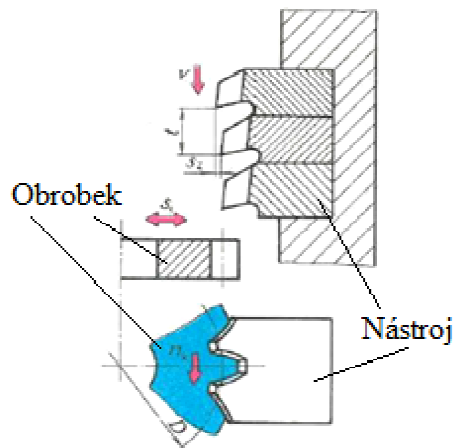
„Hřebenový obrážecí nůž je výrobně jednodušší, zuby mají lichoběžníkový tvar základního profilu. Nástroj vykonává přímočarý vratný pohyb ve směru sklonu zubů a obráběné kolo se po něm odvaluje. Po obrobení několika zubových mezer se otáčení stolu zastaví, stůl se pootočí o několik roztečí zpět a posune se do výchozí polohy podél hřebenu. Obrábění dalších zubových mezer může pokračovat. Tento cyklus se opakuje, až jsou vytvořeny zuby po celém obvodu kola.“ [29]



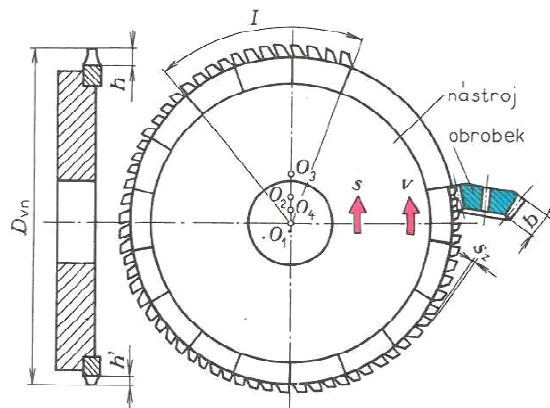
Obr. 45 Obrážení ozubení hřebenovým nožem [30]

5.1.5 Výroba vnějších čelních ozubených kol protahováním dělicím způsobem

„Protahování ozubených kol se používá, vzhledem k vysoké ceně nástrojů, pouze v hromadné výrobě. Protahují se zejména kola s vnitřním ozubením. Profil kalibrovacích zubů trnu odpovídá tvaru zubových mezer kola. Protahování vnějšího ozubení se provádí dělicím způsobem protahovacím trnem (obr. 46), který má profil jedné nebo několika zubových mezer. Kolo se pak pootočí o příslušný počet roztečí a cyklus se opakuje. K protahování vnějšího ozubení úzkých ozubených kol se někdy používá i kotoučových protahováků. Kotoučový protahovák (obr. 47) má na obvodě zuby s postupně rostoucím rozměrem tak, aby poslední kalibrovací zuby měly tvar zubové mezery. Po protažení jedné zubové mezery se kolo dělicím způsobem pootočí o jednu rozteč zubů. K tomu je na obvodě protahováku vynechána část bez zubů.“ [29]



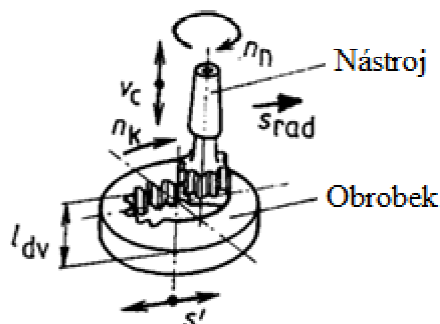
Obr. 46 Protahování vnějšího ozubení protahovacím trnem [30]



Obr. 47 Protahování vnějšího ozubení kotoučovým protahovákem [30]

5.1.6 Výroba vnitřních čelních ozubených kol

Z výše uvedených metod třískového obrábění, umožňují výrobu vnitřních čelních ozubených kol: Obrázení dělicím způsobem (kapitola 5.1.3), obrázení odvalovacím způsobem kotoučovým obrážecím nožem (kapitola 5.1.4.1) a protahování dělicím způsobem protahovacím trnem (kapitola 5.1.5). [29]



Obr. 48 Obrázení vnitřního čelního ozubení kotoučovým nožem [29]

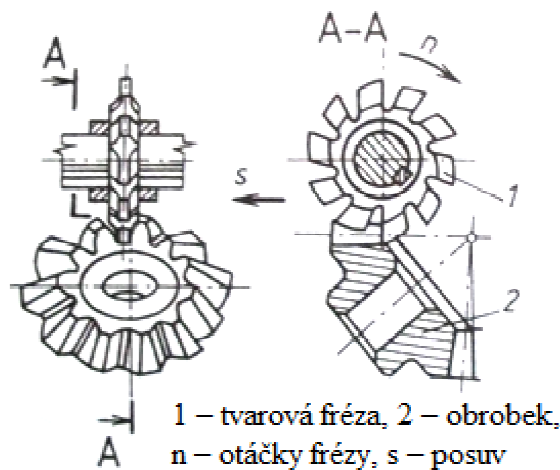
5.1.7 Výroba kuželových ozubených kol

„Kuželová ozubená kola se vyrábějí buď s přímými nebo šikmými zuby nebo se zakřivenými zuby. Výroba přímých zubů je jednodušší, soukolí se zakřivenými zuby má však menší hlučnost a může přenášet vyšší výkon.“ [29]

5.1.7.1 Výroba kuželových ozubených kol s přímými a šikmými zuby

„Bok zubu vzniká odvalem roviny po kuželové ploše, proto se podél povrchové přímky kužele tvar zubu mění (modul se směrem k vrcholu kužele lineárně zmenšuje). Kuželové kolo s přímými (nebo šikmými) zuby lze vyrábět frézováním dělicím způsobem, obrážením podle šablony, protahováním kotoučovým protahovákem, obrážením odvalovacím způsobem.“ [29]

Frézování dělicím způsobem je prováděno, stejně jako u čelních ozubených kol, tvarovou kotoučovou (obr. 49) nebo tvarovou stopkovou frézou. Vyrobené zuby jsou nepřesné, a proto je tento způsob spíše vhodný pro výrobu polotovarů (předhrubování) pro ostatní metody. [29]

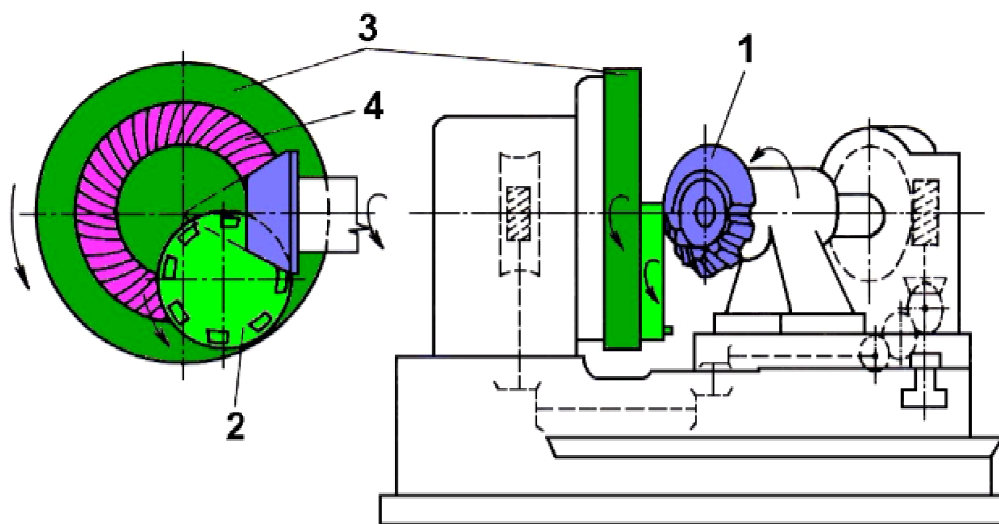


Obr. 49 Frézování kuželového ozubení tvarovou kotoučovou frézou [29]

Obrážení podle šablony (obr. 50) je metoda používaná pro přesnější ozubená kola větších modulů. Princip spočívá v kopírování evolventní šablony kopírovací kladkou, na které je upevněný obrážecí nůž. [29]

loidy – tzv. eloidní ozubení) a Klingelnberg (zuby zakřiveny podle prodloužené evolventy – tzv. paloidní ozubení). [29] [37]

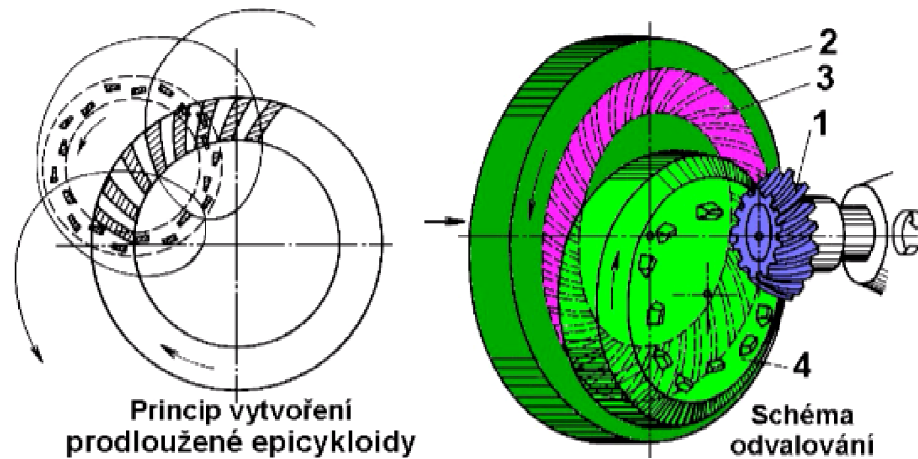
„Metoda Gleason je charakterizována jako odvalovací frézování kuželových kol dělicím způsobem pomocí čelní nožové hlavy (obr. 52). Princip obrábění vyplývá z dvoubokého záběru (odvalu) pomyslného plochého základního kola (4) s obráběným ozubeným kolem (1). Základní kolo je tvořeno unášecí deskou (3), na níž je upnuta frézovací hlava (2). Nože frézovací hlavy mají lichoběžníkový profil a jsou uspořádány obvykle za sebou, s vystřídáními vnějšími a vnitřními břity. Řezná rychlost, která není vázána na ostatní pracovní pohyby, je určena rotací frézovací hlavy.“ [37]



1 - obráběné kolo, 2 - nožová hlava, 3 - unášecí deska, 4 - pomyslné základní kolo

Obr. 52 Frézování kuželového ozubení způsobem Gleason [37]

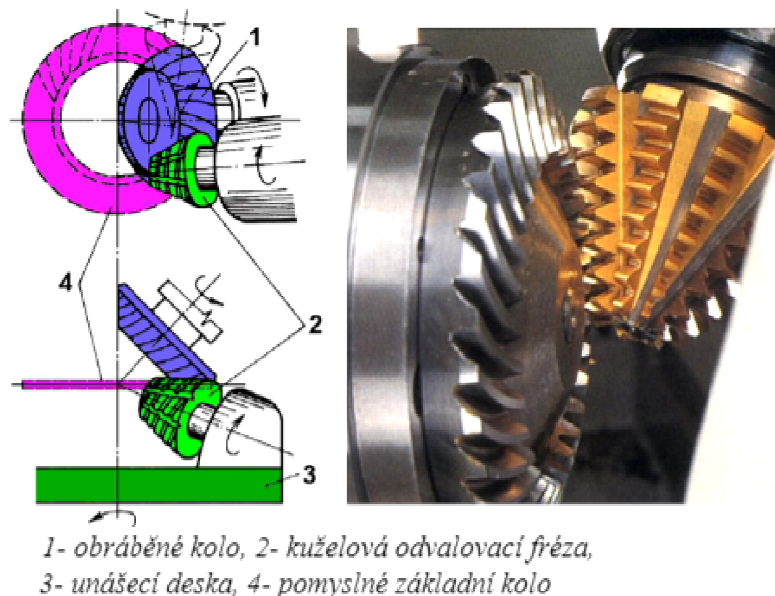
Metoda Oerlikon: „Jedná se o odvalovací frézování čelní nožovou hlavou (obr. 53), která vytváří boky zubů obráběného kola plynulým odvalem (to znamená, že nejsou zapotřebí dělicí pohyby jako v případě metody Gleason). Kuželové ozubení vzniká kombinací tří na sobě navzájem závislých pohybů – rotačním pohybem nožové hlavy, rotačním pohybem obrobku, který je současně dělicím pohybem a natáčením unášecí desky, na níž je výstředně upnuta čelní nožová hlava. Jednotlivé břity čelní nožové hlavy (s přímkovým ostrím) jsou uspořádány po skupinách tak, že tvoří části samostatných spirál.“ [37]



1 - obráběné kolo, 2 - unášecí deska, 3 - pomyslné základní kolo, 4 - nožová hlava

Obr. 53 Frézování kuželového ozubení způsobem Oerlikon [37]

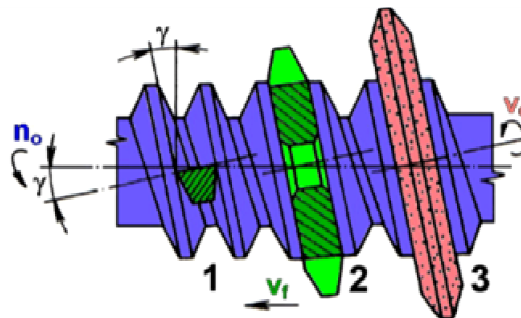
Metoda Klingelberg: „Kuželová kola s paloidním ozubením se u metody Klingelberg vyrábějí odvalovacím frézováním pomocí kuželové frézy, která vytváří boky zubů obráběného kola plynulým odvalem (obr. 54). Podobně jako u způsobu Oerlikon jsou zubové mezery obráběného kola vytvářeny kombinací tří pohybů – rotačního pohybu frézy, rotačního pohybu obrobku a odvalovacího pohybu frézy na unášecí desce. Tento způsob je vhodný pro kusovou a malosériovou výrobu.“ [37]



Obr. 54 Frézování kuželového ozubení způsobem Klingelberg [37]

5.1.8 Výroba šneků

„Šneky se vyrábějí soustružením nebo frézováním. Soustruží se tvarovým nožem, podobně jako závit. Tvarový nůž se natočí o úhel stoupání šroubovice. Šnek se frézuje stopkovou nebo kotoučovou frézou na univerzálních frézkách. Globoidní šneky se frézují pomocí speciálního přípravku na odvalovacích frézkách nebo na speciálních strojích. Pro dosažení vyšší jakosti obroběného povrchu a přesnosti rozměrů se šneky mohou brousit na bruskách na závity.“ [29]

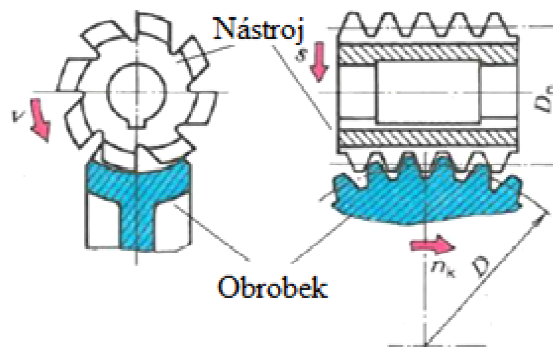


1 - soustružení tvarovým nožem, 2 - frézování kotoučovou frézou, 3 - broušení tvarovým kotoučem

Obr. 55 Schéma výroby válcového šneku [37]

5.1.9 Výroba šnekových kol

„Šneková kola se obvykle frézují odvalovací frézou, která má profil šneku. Její osa je kolmá na osu kola a leží přesně v polovině tloušťky kola. Fréza a kolo se otáčejí jako šnek a šnekové kolo v záběru a fréza se přisouvá radiálně ke kolu (radiální způsob). Speciální frézy s kuželovým náběhem umožňují tangenciální přísuv.“ [29] Je používán i radiálně tangenciální způsob. V tomto případě je nejprve provedeno hrubování radiálním posuvem a následným tangenciálním posuvem je provedeno obrábění na čisto. [37]



Obr. 56 Výroba šnekového kola odvalovací frézou radiálním způsobem [30]

5.2 Další technologie výroby ozubení (beztrískové)

Metodami třískového obrábění, které jsou uvedeny v kapitole 5.1, je vyráběna naprostá většina ozubení. Mohou však být také použity například i tyto (beztrískové) způsoby výroby:

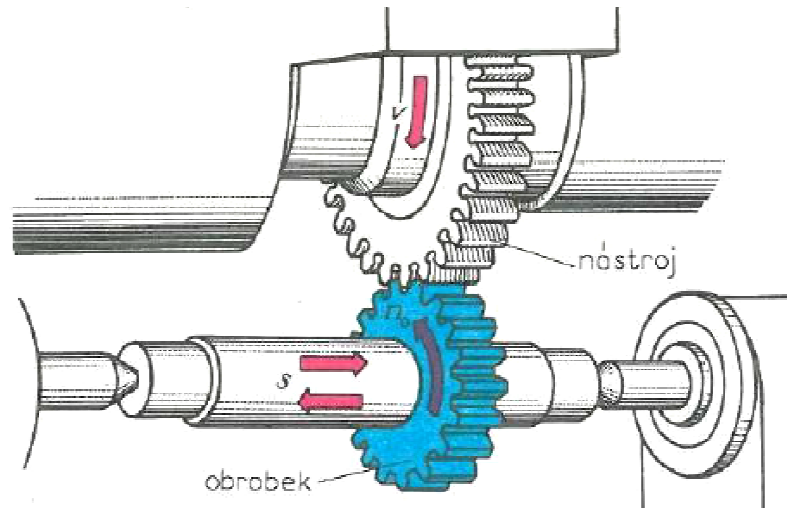
- a) odlévání – pískové a skořepinové formy, formy získané metodou vytavitelných modelů, kokily (trvalé kovové formy), odstředivé lití;
- b) prášková metalurgie (slinování);
- c) tváření za tepla – zápuštěvé kování;
- d) tváření za studena – válcování (nejnovější a nejproduktivnější výrobní technologie);
- e) vstřikování – z termoplastů (malá únosnost a přesnost, ozubení je však levné a zpravidla není vyžadováno mazání);
- f) elektroerozivní obrábění;
- g) obrábění laserem;
- h) 3D tisk. [18] [22] [38] [39]

5.3 Dokončovací metody obrábění ozubení

Protože přímo obráběním vždy nelze dosáhnout požadované přesnosti a jakosti povrchu zubů, jsou používány dokončovací metody, mezi které patří ševingování, broušení, lapování a zaběhávání. [29]

5.3.1 Ševingování

„Ševingování se používá u nekalených kol, vyrobených odvalovacím frézováním nebo obrážením. Nástroj, ševingovací kolo, má tvar přesného ozubeného kola daného modulu. Zuby mají na bocích drážky, které vytvářejí břity. Obráběné kolo je nasazeno na trnu a může se volně otáčet v hrotech. Ševingovací kolo je poháněné (obvodová rychlost asi $100 [m \cdot min^{-1}]$) a zabírá s obráběným kolem bez vůle. Osy obou kol jsou mimoběžné; tím je vyvoláno klouzání břitů po boku zubů obrobku (řezná rychlost). Tak dochází k odebírání velmi jemných třísek. Nástroj nebo obrobek mají navíc přídatný vratný posuvný pohyb. V každé úvrati se kolo postupně radiálně přiblíží až na správnou osovou vzdálenost. Přídavek na ševingování se volí $0,04$ až $0,1 [mm]$.“ [29]



Obr. 57 Princip ševingování [30]

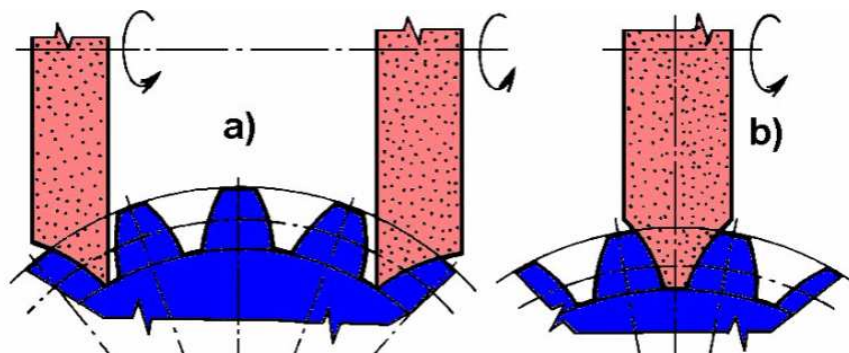
5.3.2 Broušení

„Broušení ozubených kol se používá především pro přesná kalená ozubená kola. Odstraňují se jím deformace po tepelném zpracování a nepřesnosti vzniklé při obrábění. Ozubená kola menších modulů lze brousit i zcela bez předchozího obrábění, obvykle brousicími kotouči z kubického nitridu boru. Ozubená kola se brousí dělicím způsobem tvarovými kotouči, nebo odvalovacím způsobem.“ [29]

5.3.2.1 Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči

„Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči se provádí buď tak, že kotouč má tvar zubové mezery a brousí se oba boky mezer současně (obr. 58b), nebo tak, že se brousí pouze jeden bok zubu. Nevýhodou prvního způsobu je rychlé a nerovnoměrné opotřebení brousicího kotouče. Po vybroušení jedné zubové mezery se kolo pootočí o jednu rozteč zubů a cyklus se opakuje. Tento způsob broušení je méně přesný a kinematicky odpovídá frézování ozubení kotoučovou tvarovou frézou.“ [29] Při broušení pouze jednoho boku zubu může být použitý buď jeden tvarový brousicí kotouč nebo pro zvýšení výkonnosti dva tvarové brousicí kotouče (obr. 58a). [29]

Orovnávání požadovaných profilů brousicích kotoučů je prováděno diamantovým orovnávačem podle zvětšené šablony nebo také pomocí speciálního tvarovacího zařízení. [37]



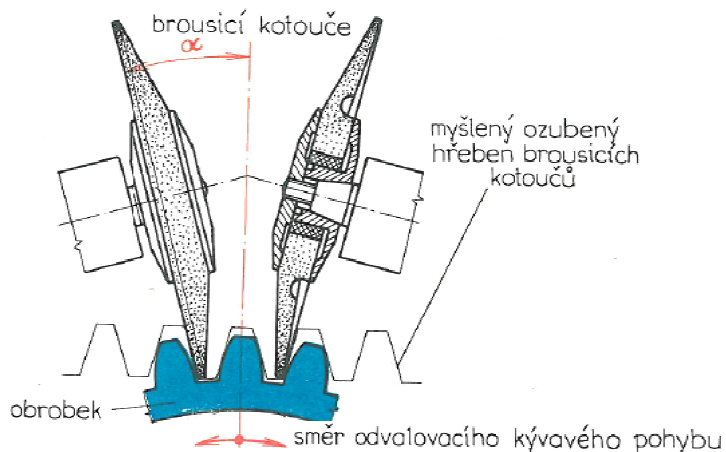
Obr. 58 Broušení ozubených kol dělicím způsobem [37]

5.3.2.2 Broušení odvalovacím způsobem

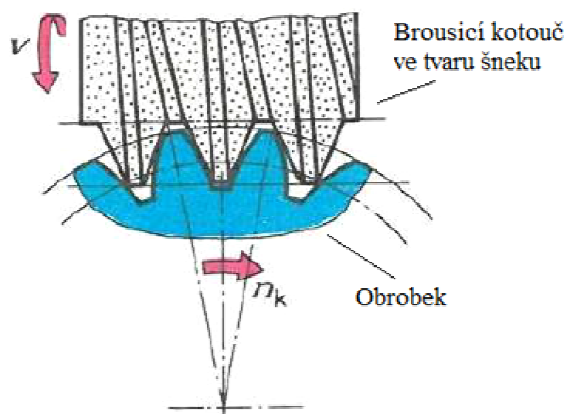
„Broušení odvalovacím způsobem lze provádět odvalem v jedné zubové mezeře a pak dělicím přístrojem natočit obrobek na další zubovou mezeru, nebo kontinuálně, kotoučem s vytvořenou šroubovicí základního profilu.“ [29]

Broušení odvalem v jedné zubové mezeře: „Jeden nebo dva kotouče tvoří svými rovinami využitelnými pro broušení boky zubu hřebene (základního profilu). Broušené ozubené kolo se odvaluje pomocí speciálního zařízení po rovinách obou kotoučů využitelných pro broušení. Zároveň se kolo posouvá ve směru své osy, aby se brousila celá délka zubu. Po obroušení jedné zubové mezery se dělicím způsobem kolo pootočí o jednu zubovou rozteč.“ [29] Metoda s použitím jednoho kotouče je označována jako tzv. systém Niles a metoda se dvěma kotouči je označována jako tzv. systém Maag. U systému Maag jsou broušící kotouče, při modulu ozubení větším jak 9 [mm], umístěny v jedné zubové mezeře. Pokud je modul ozubení menší, musí být každý broušící kotouč v jiné zubové mezeře. Mezi jednotlivými broušícími cykly jsou vždy broušící kotouče automaticky orovnány a opět nastaveny do správné polohy. [37] Na obr. 59 je znázorněno broušení systémem Maag s umístěnými broušícími kotouči ve dvou zubových mezerách, dále je zde zobrazen i pomyslný základní profil (ozubený hřeben), který je tvořený rovinami broušících kotoučů.

„Broušení odvalem broušícího kotouče ve tvaru šneku se základním profilem (obr. 60) je velmi výkonné. Kinematika je podobná odvalovacímu frézování. Broušící šnek je v záběru s obrobkem kontinuálně (jako šnek a šnekové kolo) a jejich pohyby musí být svázány převody.“ [29] Tato metoda je označována jako tzv. systém Reishauer a používána je především pro menší moduly ozubení. [37]



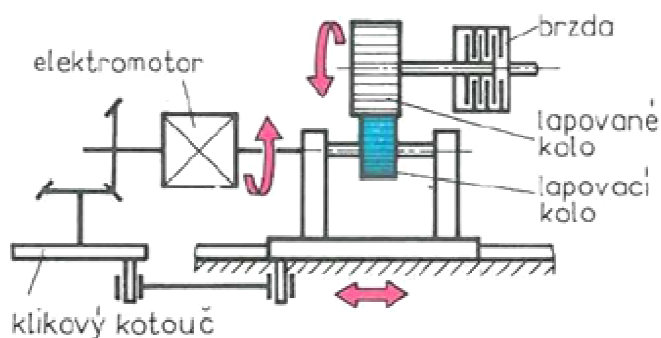
Obr. 59 Broušení ozubeného kola odvalovacím způsobem Maag [24]



Obr. 60 Broušení ozubeného kola odvalovacím způsobem Reishauer [30]

5.3.3 Lapování

„Lapování ozubených kol se provádí litinovým ozubeným kolem, které zabírá s lapovaným kolem. Na nástroj, který je poháněn, se nanáší lapovací pasta. Lapované kolo je brzděné. Aby byl úběr materiálu rovnoměrný, koná lapovací nástroj ještě axiální přímočarý vratný pohyb.“ [29]



Obr. 61 Princip lapování [30]

5.3.4 Zaběhávání

„Zaběhávání ozubených kol se užívá tam, kde se zuby nedají brousit, např. u kuželových kol se zakřivenými zuby. Obě kola spolu zabírají při zatížení. Do místa záběru se přivádí olej s rozptýleným brusivem. Osy obou kol se přibližují a zaběhávání končí v okamžiku dosažení správné osové vzdálenosti.“ [29]

6 VÝROBA OZUBENÉHO SOUKOLÍ – PRAKTICKÁ ČÁST

V této závěrečné kapitole je uveden v první části návrh korigovaného ozubeného vnějšího čelního soukolí s přímými zuby, které je určeno pro pojezd zahradní sekačky na trávu. Druhá část kapitoly je věnována popisu výroby tohoto soukolí, která je realizována frézováním dělicím způsobem, modulovou kotoučovou frézou, na svislé konzolové frézce. Soukolí je vyráběno 2× (pro levé i pravé zadní pojezdové kolo).

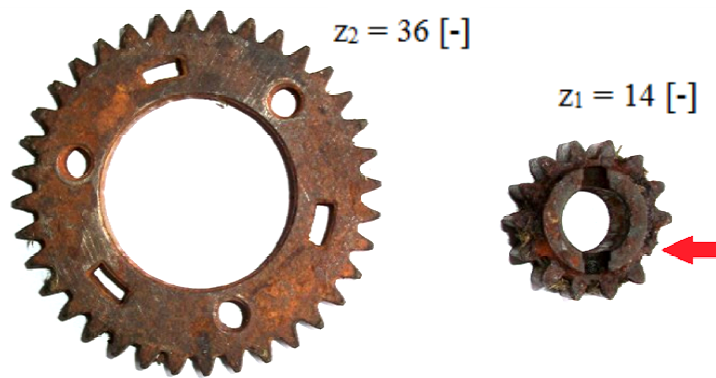
6.1 Návrh ozubeného soukolí

6.1.1 Zjištění modulu ozubení

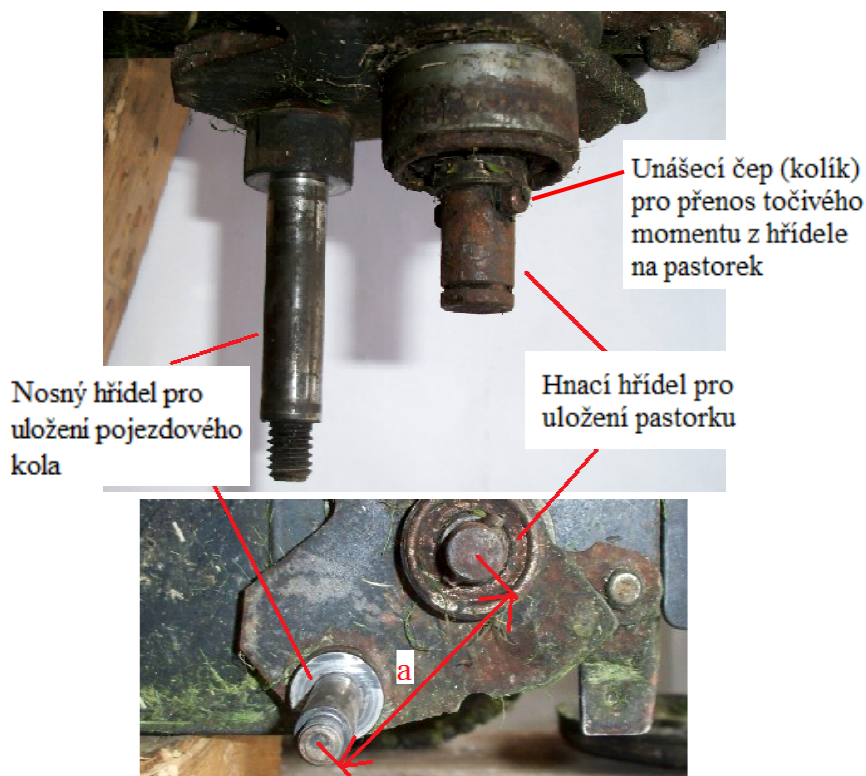
V první fázi návrhu je nutné určit modul ozubení poškozeného soukolí, které je na obr. 62 (viz šipka – ulomený zub na pastorku). Modul byl zjišťován pomocí přiložení kotoučových fréz, různých modulů, do nečistot zbavené zubové mezery, avšak modul ozubení přesně neodpovídal ani jednomu modulu na kotoučové fréze. Po změření průměrů obou hřídelů, které jsou určeny pro uložení pastorku a zadního pojezdového kola sekačky (obr. 63), a změření ostatních rozměrů soukolí, byly zjištěny hodnoty odpovídající anglickým palcům. Z tohoto důvodu nemohl přesně odpovídat, po přiložení kotoučové frézy, žádný modul ozubení, protože tyto frézy jsou normalizovány dle ČSN. Dále tedy bylo nutné vybrat alespoň přibližný modul ozubení a následně přepočítat rozměry soukolí tak, aby byla zachována přesná osová vzdálenost, a aby alespoň přibližně odpovídal převodový poměr, nebo nejlépe, aby platilo, že počet zubů na pastorku $z_1 = 14$ [-] a počet zubů na velkém ozubeném kole $z_2 = 36$ [-]. Pro výpočet modulu ozubení bylo využito rovnic (4) a (5), přičemž bylo využito průměru hlavové kružnice pastorku, $d_{a1} = \frac{5}{4}$ ["] = 31,75 [mm], který byl naměřen posuvným měřítkem:

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m = m \cdot z_1 + 2 \cdot m \Rightarrow m = \frac{d_{a1}}{z_1 + 2} = \frac{31,75}{14 + 2} \cong 1,98 \text{ [mm]} \Rightarrow (19)$$

=> byl zvolen nejbližší normalizovaný modul ozubení $m = \underline{2,0 \text{ [mm]}}$. [4]



Obr. 62 Původní velké ozubené kolo a poškozený pastorek



Obr. 63 Hřídele pro uložení pojezdového kola a pastorku

Nyní bude proveden výpočet, jestli je zvolený modul ozubení $m = 2,0$ [mm] vhodný. K tomuto ověření bude využita rovnice (14) pro výpočet osové vzdálenosti hřídelů. Naměřená osová vzdálenost hřídelů (viz obr. 63): $a = 1\frac{15}{16}$ ["] \cong 49,21 [mm]. Za počty zubů budou nejprve dosazeny původní hodnoty, což by byla nejvhodnější varianta, protože by to znamenalo zachování původního převodového poměru:

$$a = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m = \frac{14 + 36}{2} \cdot 2 = \underline{50,0 \text{ [mm]}} \quad (20)$$

Vypočtená osová vzdálenost má větší hodnotu, než je hodnota požadovaná, z tohoto důvodu bude snížen počet zubů na velkém ozubeném kole na hodnotu $z_2 = 35$ [-] a proveden další výpočet:

$$a = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m = \frac{14 + 35}{2} \cdot 2 = \underline{49,0 \text{ [mm]}} \quad (21)$$

Hodnota vypočtené osově vzdálenosti je již přijatelnější, avšak ne zcela přesná. V tomto případě lze však požadovanou hodnotu osově vzdálenosti dosáhnout kladnou výškovou korekcí, která bude provedena, s hodnotami z této rovnice, v následující kapitole.

Z výše uvedených rovnic (20) a (21) je patrné, že i při snížení počtu zubů na pastorku by změna osově vzdálenosti byla stejná, avšak dle kapitoly 3.5.1 lze prakticky, bez korigování, použít mezní počet zubů právě 14, proto počet zubů na pastorku již není vhodné více snižovat. Naopak, snížení počtu zubů na velkém ozubeném kole vede, dle rovnice (2), k současnému snížení převodového poměru, což způsobí zvýšení rychlosti pojezdu sekačky. I přesto tedy bude dále upřednostňována pevnost zubu pastorku, na úkor zvýšení rychlosti pojezdu sekačky, které, při snížení počtu zubů o jeden, je v tomto případě zanedbáno.

6.1.2 Výšková korekce ozubení

Nejprve bude provedena výšková korekce pouze na pastorku. Pokud tato bude pro dosažení požadované osově vzdálenosti dostačující, tak velké ozubené kolo již dále korigováno nebude. Protože bude korekce provedena za účelem změny (zvětšení) osově vzdálenosti, dle kapitoly 3.5.1 vznikne tzv. soukolí V. Korekce (výpočet jednotkového posunutí) bude provedena tzv. podle Meritta s využitím rovnic (16) a (17):

$$x = 0,4 \cdot \left(1 - \frac{z_1}{z_2}\right) = 0,4 \cdot \left(1 - \frac{14}{35}\right) = \underline{0,24 \text{ [-]}} \quad (22)$$

$$x = 0,02 \cdot (30 - z_1) = 0,02 \cdot (30 - 14) = \underline{0,32 \text{ [-]}} \quad (23)$$

Pro zjištění hodnoty $x \cdot m$ (posunutí nástroje) je dále vybrán výsledek s vyšší hodnotou jednotkového posunutí, tedy $x = 0,32$ [-]:

$$x \cdot m = 0,32 \cdot 2 = \underline{0,64 \text{ [mm]}} \quad (24)$$

Z této rovnice plyne, že u pastorku by v případě potřeby mohla být kladná výšková korekce až 0,64 [mm], což by znamenalo zvýšení osové vzdálenosti soukolí z původní hodnoty 49,0 [mm], až na hodnotu 49,64 [mm]. Požadovaná hodnota osové vzdálenosti je však jen 49,21 [mm], proto bude dále, pro výpočet rozměrů pastorku, využita jen potřebná (nižší) hodnota $x \cdot m = \underline{0,21 \text{ [mm]}}$, a protože je tato kladná výšková korekce pastorku dostačující k dosažení požadované osové vzdálenosti, spoluzabírající velké ozubené kolo již korigováno nebude.

6.1.3 Výpočet rozměrů pastorku

Pro výpočet rozměrů pastorku budou využity jen rovnice, nezbytně nutné k jeho výrobě, které jsou uvedeny v kapitole 3.3.1.1. U rovnic (9) a (10) je nutné, z důvodu použité kladné výškové korekce, připočíst, resp. odečíst, člen $x \cdot m$. [13] Výrobní výkres pastorku je označen jako příloha 1.

$$\text{Průměr roztečné kružnice: } d_1 = m \cdot z_1 = 2 \cdot 14 = \underline{28,0 \text{ [mm]}} \quad (25)$$

$$\text{Výška hlavy zubu: } h_{a1} = m + x \cdot m = 2 + 0,21 = \underline{2,21 \text{ [mm]}} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \text{Výška paty zubu: } h_{f1} &= 1,25 \cdot m - x \cdot m = 1,25 \cdot 2 - 0,21 = \\ &= \underline{2,29 \text{ [mm]}} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\text{Výška zubu: } h_1 = h_{a1} + h_{f1} = 2,21 + 2,29 = \underline{4,5 \text{ [mm]}} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \text{Průměr hlavové kružnice: } d_{a1} &= d_1 + 2 \cdot h_{a1} = 28,0 + 2 \cdot 2,21 = \\ &= \underline{32,42 \text{ [mm]}} \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{Průměr patní kružnice: } d_{f1} &= d_1 - 2 \cdot h_{f1} = 28,0 - 2 \cdot 2,29 = \\ &= \underline{23,42 \text{ [mm]}} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\text{Šířka ozubení: } b_1 = \frac{1}{2} ["] = \underline{12,7 \text{ [mm]}} - \text{rozměr dle původního pastorku}$$

6.1.4 Výpočet rozměrů velkého ozubeného kola

V tomto případě nebyla provedena žádná korekce, a tak zde již člen $x \cdot m$ nefiguruje, výpočet bude opět proveden dle rovnic z kapitoly 3.3.1.1. Výrobní výkres velkého ozubeného kola je označen jako příloha 2.

$$\text{Průměr roztečné kružnice: } d_2 = m \cdot z_2 = 2 \cdot 35 = \underline{70,0 \text{ [mm]}} \quad (31)$$

$$\text{Výška hlavy zubu: } h_{a2} = m = 2,0 = \underline{2,0 \text{ [mm]}} \quad (32)$$

$$\text{Výška paty zubu: } h_{f2} = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 2,0 = \underline{2,5 \text{ [mm]}} \quad (33)$$

$$\text{Výška zubu: } h_2 = h_{a2} + h_{f2} = 2,0 + 2,5 = \underline{4,5 \text{ [mm]}} \quad (34)$$

$$\text{Průměr hlavové kružnice: } d_{a2} = d_2 + 2 \cdot h_{a2} = 70,0 + 2 \cdot 2,0 = \underline{74,0 \text{ [mm]}} \quad (35)$$

$$\text{Průměr patní kružnice: } d_{f2} = d_2 - 2 \cdot h_{f2} = 70,0 - 2 \cdot 2,5 = \underline{65,0 \text{ [mm]}} \quad (36)$$

$$\text{Šířka ozubení: } b_2 = \frac{9}{32} ["] \cong \underline{7,1 \text{ [mm]}} - \text{rozměr dle původního ozubení}$$

6.1.5 Výpočet rozměrů polotovarů a volba materiálu soukolí

Nyní jsou již vypočteny rozměry soukolí a je třeba stanovit rozměry polotovarů, a materiály, ze kterých bude soukolí vyrobeno. Jako materiál soukolí byla zvolena, tepelně nezpracovaná, konstrukční uhlíková ocel 11 500 (dle ČSN), resp. E295 (dle EN). [41] Velikost přídavek na délku polotovarů (pastorku i velkého ozubeného kola) byla zvolena 3 až 4 [mm], a to tak, aby délka polotovarů (v milimetrech) byla celé číslo. Dělení materiálu proběhlo pomocí pásové pily. Velikosti přídavek na průměry polotovarů, budou stanoveny dle následujícího vztahu, určeného pro výpočet přídavku na obrábění tyčového válcovaného polotovaru:

$$p_c = \frac{5 \cdot d_s}{100} + 2 \text{ [mm]} \quad (37)$$

kde: p_c - celkový přírůstek na obrábění polotovaru [mm]

d_s - jmenovitý průměr součásti (zde průměr hlavové kružnice) [mm]. [15]

6.1.5.1 Výpočet rozměrů polotovaru pastorku

Šířka pastorku je i s krátkým osazením $\frac{9}{16} ["]$ (viz obr. 62), což je tedy přibližně 14,3 [mm], proto byla zvolena délka polotovaru pastorku $L_{p1} = \underline{18 \text{ [mm]}}$.

Dále bude proveden výpočet přídatku na průměr polotovaru, dle rovnice (37), pro průměr hlavové kružnice pastorku $d_{a1} = d_{s1} = 32,42$ [mm] a následně bude ze strojnických tabulek vybrán nejbližší vyšší průměr válcovaného polotovaru:

$$p_{c1} = \frac{5 \cdot d_{s1}}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 32,42}{100} + 2 \cong \underline{3,62 \text{ [mm]}} \quad (38)$$

Z tohoto výpočtu plyne, že potřebný průměr polotovaru je přibližně 36,05 [mm], byl tedy zvolen, nejbližší vyšší průměr polotovaru pastorku, $D_{p1} = \underline{38,0 \pm 0,8 \text{ [mm]}}$. [18] Tento zvolený průměr polotovaru vyhovuje i s ohledem na jeho výrobní tolerance, protože i při výběru polotovaru s dolním mezním rozměrem, je jeho průměr větší, než požadovaných 36,05 [mm].

6.1.5.2 Výpočet rozměrů polotovaru velkého ozubeného kola

Zde již není osazení, tak jako na pastorku, a tak šířka velkého ozubeného kola je rovna šířce ozubení, tedy $\frac{9}{32}$ ["], což je přibližně 7,1 [mm]. Z tohoto důvodu byla zvolena délka polotovaru velkého ozubeného kola $L_{p2} = \underline{11 \text{ [mm]}}$.

Jako u pastorku, bude proveden výpočet přídatku na průměr polotovaru, dle rovnice (37); průměr hlavové kružnice velkého ozubeného kola $d_{a2} = d_{s2} = 74,0$ [mm]:

$$p_{c2} = \frac{5 \cdot d_{s2}}{100} + 2 = \frac{5 \cdot 74,0}{100} + 2 = \underline{5,7 \text{ [mm]}} \quad (39)$$

Z tohoto výpočtu plyne, že potřebný průměr polotovaru je 79,7 [mm], byl tedy zvolen, nejbližší vyšší průměr polotovaru velkého ozubeného kola, $D_{p2} = \underline{80 \pm 0,8 \text{ [mm]}}$. [18] Z výrobních tolerancí zvoleného polotovaru je patrné, že polotovar může mít až o hodnotu 0,5 [mm] menší průměr, než požadovaný průměr 79,70 [mm]. Tato skutečnost byla však dále zanedbána, protože další normalizovaný jmenovitý průměr, válcované kruhové tyče, má hodnotu 85 [mm]. [18] Použití tohoto polotovaru, o větším průměru, by znamenalo již zbytečně velký přírůstek na obrábění a také vyšší cenu polotovaru.

6.2 Popis výroby ozubeného soukolí

V této kapitole je nejprve uveden pracovní postup, který vede, z původního hutního válcovaného polotovaru, ke zhotovení polotovaru pro výrobu ozubení na pastorku. Poté následuje samotný popis pracovního postupu, který souvisí s frézováním ozubení na pastorku. Následně je celý tento postup proveden i s velkým ozubeným kolem.

6.2.1 Popis výroby pastorku

6.2.1.1 Pracovní postup před výrobou ozubení na pastorku

Před výrobou ozubení na pastorku je nutné provést tento pracovní postup:

1. Dělení hutního válcovaného polotovaru (pomocí pásové pily).
2. Předvrtání (hrubování) díry určené pro uložení pastorku na hřídel (na soustruhu).
3. Soustružení polotovaru na požadované rozměry a drsnosti povrchu.
4. Frézování vybrání pro unášecí čep (kolík) – viz obr. 62 a obr. 63.
5. Zhotovení trnu (přípravku) pro upnutí obrobku (obr. 64). Na tento trn je před výrobou ozubení nasazený a utažením matice pevně připevněný polotovar. Trn, po připevnění polotovaru, zajišťuje z jedné strany upnutí obrobku do univerzálního sklíčidla na UDP a ze strany druhé umožňuje podepření pevným hrotem koníku. Trn musí být tak dlouhý, aby nedošlo ke kolizi mezi nástrojem a univerzálním sklíčidlem na UDP (musí být umožněn krátký přeběh nástroje). Výrobní výkres trnu pro upnutí pastorku je označen jako příloha 3.



Obr. 64 Upnutí trnu s obrobkem

6.2.1.2 Pracovní postup související s frézováním ozubení na pastorku

S výrobou vnějšího přímého čelního ozubení na pastorku, při frézování dělicím způsobem, souvisí tento pracovní postup:

1. Volba řezných podmínek – otáčky vřetene frézky budou určeny z rovnice (40) a rychlost posuvu stolu frézky bude určena z rovnice (41):

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{16 \cdot 1000}{\pi \cdot 56,3} \cong 90,5 [\text{min}^{-1}] \Rightarrow \quad (40)$$

\Rightarrow byly zvoleny nejbližší nižší otáčky vřetene na stroji $n = \underline{90 [\text{min}^{-1}]}$

kde: v_c - řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

π - Ludolfovo číslo [-]

D - průměr kotoučové frézy [mm]

n - otáčky vřetene frézky [min^{-1}]. [29]

Pro frézování vybrané konstrukční uhlíkové oceli 11 500 (E295) kotoučovou frézou, vyrobenou z nástrojové rychlořezné oceli, je uváděný doporučený rozsah řezných rychlostí 13 až 23 [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]. [19] Z tohoto doporučeného rozsahu byla zvolena řezná rychlost $v_c = \underline{16 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]}$. Průměr kotoučové frézy $D = \underline{56,3 [\text{mm}]}$ byl naměřen pomocí posuvného měřítka. Nyní bude určena rychlost posuvu stolu frézky:

$$s_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \Rightarrow v_f = s_z \cdot z \cdot n = 0,06 \cdot 12 \cdot 90 = 64,8 [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \Rightarrow \quad (41)$$

\Rightarrow byla zvolena nejbližší nižší rychlost posuvu na stroji $v_f = \underline{56 [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]}$

kde: s_z - posuv na zub [mm]

v_f - rychlost posuvu stolu frézky [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

z - počet zubů kotoučové frézy [-]

n - otáčky vřetene frézky [min^{-1}]. [29]

Ocel 11 500 (E295) má pevnost v tahu 470 až 610 [MPa]. [18] Byla tedy zvolena hodnota posuvu na zub $s_z = \underline{0,06 [\text{mm}]}$, která odpovídá frézování materiálu, o pevnosti v tahu do 700 [MPa], kotoučovou frézou z nástrojové rychlořezné oceli. [19] Pro modul ozubení 2,0 [mm] je počet zubů kotoučové frézy $z = \underline{12 [-]}$.

2. Výpočet nepřímého jednoduchého dělení – bude proveden podle postupu v kapitole 5.1.1.4, a to pro hodnotu převodového poměru šnekového soukolí $i_g = 40 [-]$, a pro počet vyráběných zubů na pastorku $z_i = z_1 = 14 [-]$:

Dosazení hodnot a zkrácení zlomku na základní tvar:

$$n = \frac{i_g}{z_i} = \frac{40}{14} = \frac{20}{7} [-] \quad (42)$$

Násobením jmenovatele (číslo 7), čísla 1 až 10, byly získány tyto výsledky: 7; 14; 21; 28; 35; 42; 49; 56; 63; 70.

Z vypočtených hodnot (součinů) dále odpovídají počtu otvorů na dělicím kotouči jen tyto: 28; 42 a 49, přičemž počty otvorů 28 a 42 jsou na jedné straně dělicího kotouče, a počet otvorů 49 je na straně druhé.

Pro nepřímé jednoduché dělení byla vybrána roztečná kružnice s počtem 49 otvorů, protože dělicí kotouč byl právě otočený touto stranou k dělicí klice.

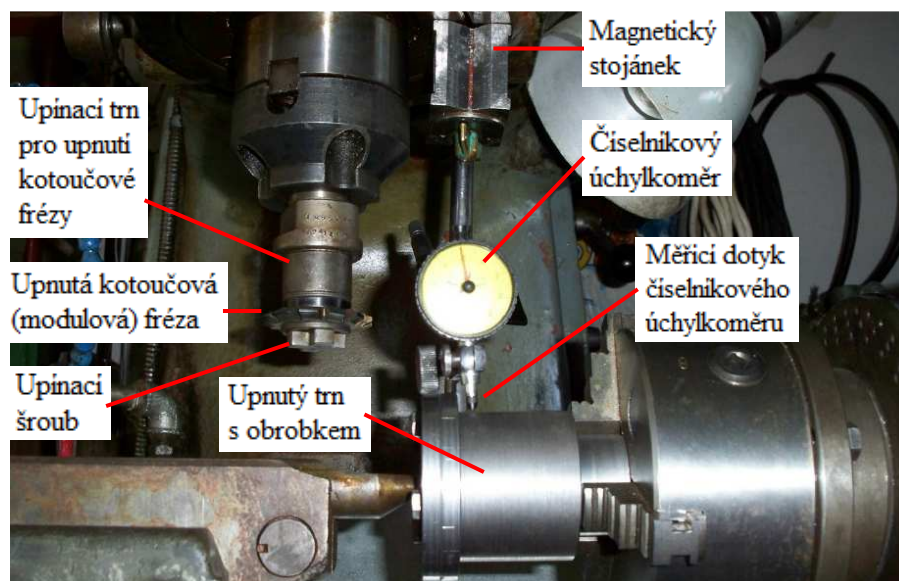
Pro získání hodnoty 49 byl násoben jmenovatel (číslo 7) také číslem 7, proto teď tímto číslem bude provedeno rozšíření zlomku v základním tvaru, z rovnice (42), a současně bude proveden i poslední krok – převedení zlomku na smíšené číslo:

$$n = \frac{i_g}{z_i} = \frac{40}{14} = \frac{20 \cdot 7}{7 \cdot 7} = \frac{140}{49} = 2 \frac{42}{49} [-] \quad (43)$$

Z tohoto výsledku je zřejmé, že při výrobě pastorku je nutné, pro vytvoření jedné zubové mezery, otočit dělicí klikou (po roztečné kružnici s počtem 49 otvorů) 2× doko-la a poté ještě o dalších 42 otvorů.

3. Nastavení zvolených otáček vřetene a posuvu pracovního stolu na frézce.
4. Vyrovnání a připevnění UDP a koníku s pevným hrotem ke stolu frézky, a nastavení dělicí kliky UDP na požadovanou roztečnou kružnici.
5. Upnutí trnu s obrobkem do univerzálního sklíčidla UDP na jedné straně, a na straně druhé podepření pevným hrotem koníku.
6. Vyrovnání trnu s obrobkem, se svíslou i vodorovnou osou stolu frézky, pomocí číselníkového úchylkoměru a lehkého poklepávání, gumovou či měděnou paličkou. Toto vyrovnání je provedeno otáčením trnu s obrobkem v univerzálním sklíčidle UDP za současného sledování výchytky ručky číselníkového úchylkoměru, až tato

nevykazuje žádnou (případně jen minimální) výchylku, je trn s obrobkem vyrovnán. Na obr. 65 je zobrazeno vyrovnávání trnu před obráběním velkého ozubeného kola.



Obr. 65 Vyrovnávání upnutého trnu s obrobkem

7. Upnutí upínacího trnu do vřetene frézky a upnutí frézy č. 2, ze sady o počtu 8 členů (dle tab. 1), do tohoto trnu – viz obr. 65.
8. Nastavení vzájemné polohy obrobku a nástroje. Nejprve je nutné změřit, pomocí výškoměru (nádrhu), vzdálenost mezi stolem frézky a libovolnou horní částí upnutého trnu s obrobkem – např. část na obr. 65, se kterou přichází do kontaktu měřicí dotyk číselníkového úchylkoměru. Od naměřené hodnoty je pak nutné odečíst polovinu průměru, na kterém proběhlo měření vzdálenosti. K vypočtené hodnotě, tedy vzdálenosti mezi stolem frézky a osou obrobku, je pak třeba připočítat ještě polovinu šířky kotoučové frézy a tuto hodnotu nastavit na výškoměru. Poté už je jen nutné nastavit polohu kotoučové frézy tak, aby její horní část těsně přiléhala ke spodní části břítu výškoměru (viz obr. 66), čímž je zajištěna souhlasná poloha vodorovných os kotoučové frézy a obrobku. Tento uvedený postup lze vyjádřit následujícím vztahem, kdy bude současně proveden výpočet s hodnotami naměřenými při výrobě pastorku:

$$H_p = H_1 - \frac{d_t}{2} + \frac{s_{kf}}{2} = 158,0 - \frac{20,0}{2} + \frac{8,2}{2} = \underline{152,1 \text{ [mm]}} \quad (44)$$

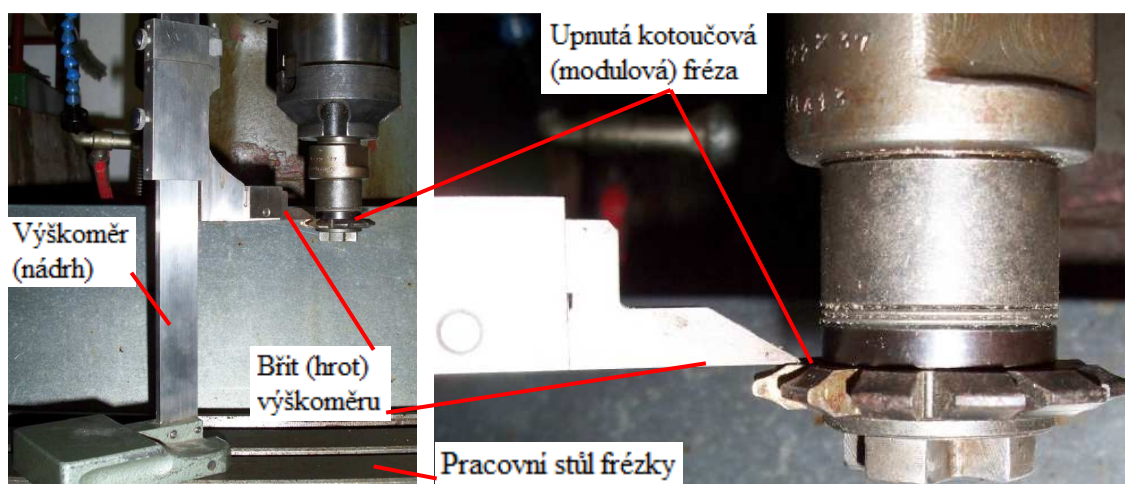
kde: H_p - potřebná hodnota (výška), kterou je třeba nastavit na výškoměru [mm]

H_1 - hodnota naměřená mezi stolem frézky a horní částí trnu s obrobkem [mm]

d_t - průměr trnu, přes který byla měřena hodnota H_1 [mm]

s_{kf} - šířka kotoučové frézy [mm].

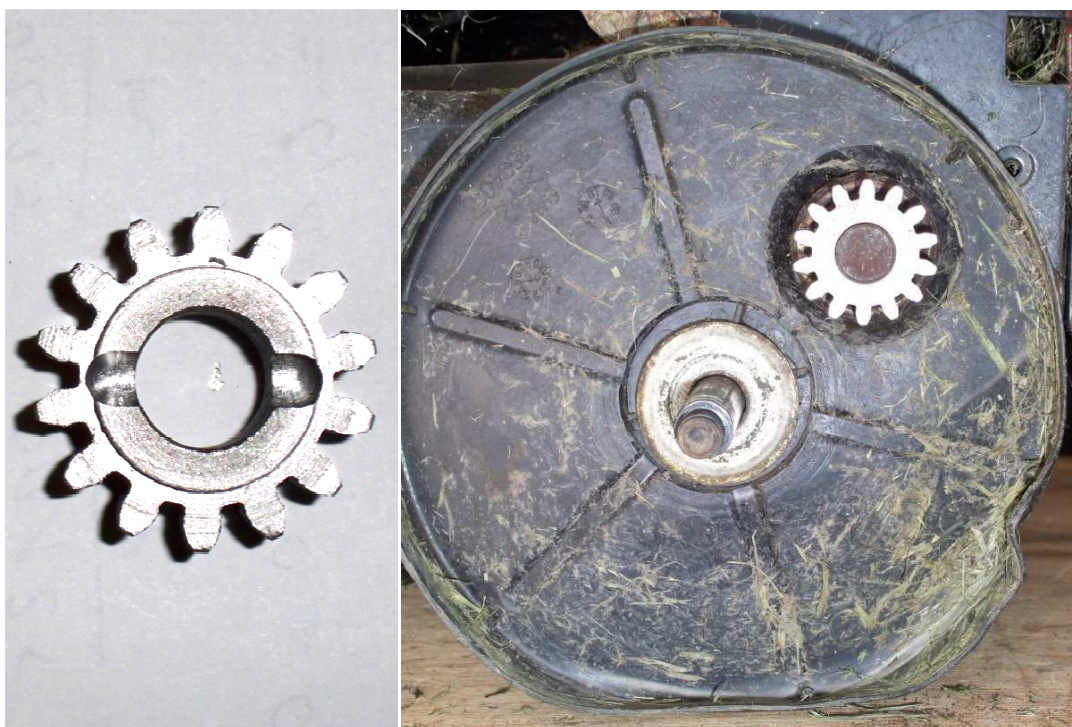
Z výpočtu je tedy patrné, že pro správné nastavení kotoučové frézy vůči obrobku je třeba na výškoměru nastavit hodnotu 152,1 [mm], resp. vzdálenost, horní části kotoučové frézy od pracovního stolu frézky, musí být právě 152,1 [mm].



Obr. 66 Nastavení správné polohy kotoučové frézy pomocí výškoměru

9. Nyní je třeba provést jen samotné frézování. Frézování každé zubové mezery bylo provedeno nesousledně, protože při tomto způsobu nehrozí náhlé posunutí pracovního stolu frézky, vlivem vůle v posuvovém šroubu, resp. působí-li obvodová síla kotoučové frézy proti směru posuvu pracovního stolu frézky (nesousledné frézování) dochází tak k vymezení této vůle a nehrozí již nežádoucí posunutí pracovního stolu. Dle rovnice (28) je požadovaná výška zubu, tedy hloubka řezu, $h_1 = 4,5$ [mm]. Nejprve bylo provedeno hrubování všech zubových mezer, s hloubkou řezu 3,5 [mm] tak, že vždy po vyfrézování jedné zubové mezery byl vypnutý automatický posuv a rychloposuvem byl pracovní stůl vrácený do původní polohy, poté byl obrobek pomocí UDP otočený, o požadovanou zubovou rozteč, a dále se postup opakoval. Frézování načisto proběhlo stejným způsobem se zbývajícím hloubkou řezu 1,0 [mm]. Jako chladicí kapalina byla použita emulze, vytvořená smícháním emulzního oleje s vodou, v poměru přibližně 1 : 25. Po vyfrézování jednoho pastorku byl na trn upnutý druhý polotovár (pro druhé pojezdové kolo), který byl opět vyrovnán pomocí číselníkového úchylkoměru. Dále proběhlo jen frézování, protože byl stroj již nastaven. Frézování pastorku je zobrazeno na obr. 64. Vyrobený pastorek je pak zobrazen

na obr. 67 (vlevo je zobrazen pastorek po výrobě a vpravo při montáži na hnací hřídel).



Obr. 67 Vyrobený pastorek

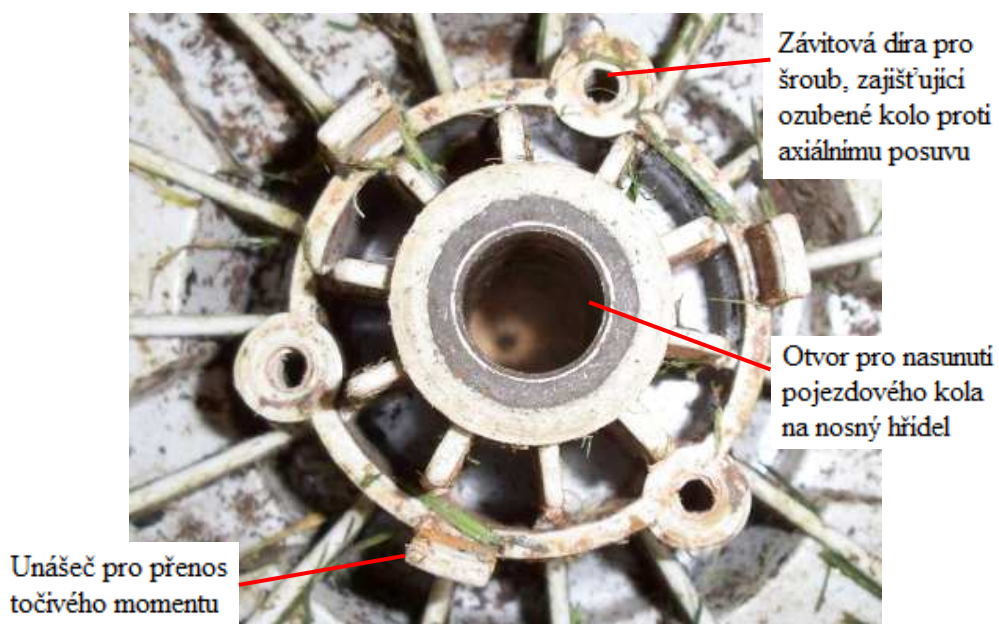
6.2.2 Popis výroby velkého ozubeného kola

6.2.2.1 Pracovní postup před výrobou ozubení na velkém ozubeném kole

Před výrobou ozubení na velkém ozubeném kole je nutné provést tento pracovní postup:

1. Dělení hutního válcovaného polotovaru (pomocí pásové pily).
2. Předvrtání (hrubování) díry určené pro uložení na pojezdové kolo (na soustruhu).
3. Soustružení polotovaru na požadované rozměry a drsnosti povrchu.
4. Vyrobení obloukových drážek pro unášče (3×), sloužící k přenosu točivého momentu z velkého ozubeného kola na pojezdové kolo sekačky (unášče, po demontáži ozubeného kola, jsou zobrazeny na obr. 68). V tomto případě byl původní průřez drážky, tvořený dvěma kruhovými oblouky a dvěma přímkami (obr. 62), zjednodušen na obloukovou drážku, přičemž došlo k nahrazení přímek poloměry. Nahrazení bylo provedeno z důvodu jednodušší výroby, avšak tento zjednodušený průřez neměl

na přenos točivého momentu vliv. Výroba probíhala na frézce, přičemž byl obrobek upnutý na otočném stole pomocí univerzálního sklíčidla. Nejprve proběhlo navrtání středícím vrtákem tak, aby následné vrtání vytvořilo krajní poloměry drážek. Na závěr byly drážky dokončeny odfrézováním zbylého materiálu ve středních částech, a to tečně k vyvrtaným poloměrům, což je zobrazeno na obr. 69.



Obr. 68 Střed pojezdového kola sekačky po demontáži ozubeného kola



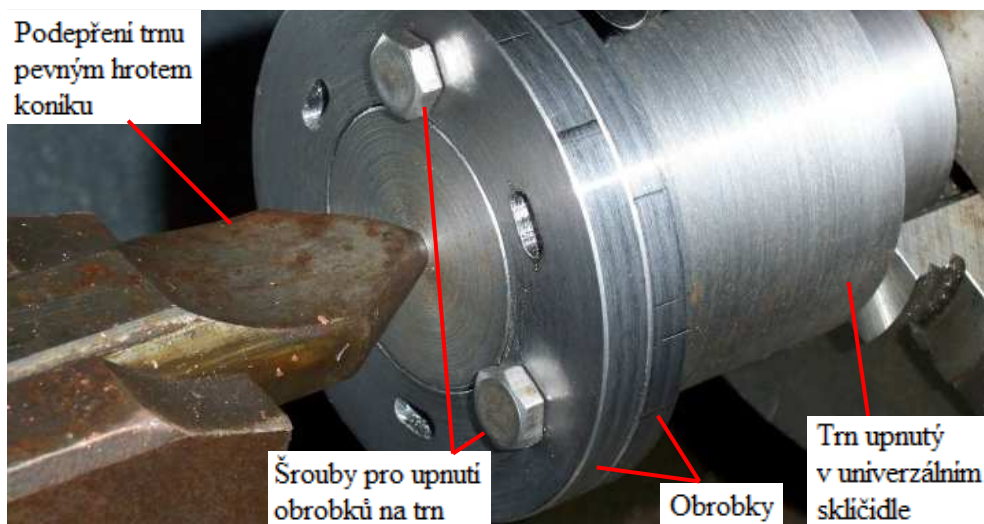
Obr. 69 Frézování obloukových drážek

5. Navrtání středícím vrtákem a následné vrtání otvorů kruhového průřezu (3×), které slouží pro montáž šroubů do závitových děr v pojezdovém kole. Tyto šrouby zajišťují ozubené kolo proti axiálnímu posuvu na pojezdovém kole sekačky. Otvory v ozubeném kole jsou zobrazeny na obr. 62 a závitové díry v pojezdovém kole na obr. 68. Navrtání i vrtání proběhlo na frézce a bylo využito předchozího upnutí při výrobě oboukrových drážek. Vrtání je zobrazeno na obr. 70.



Obr. 70 Vrtání otvorů pro šrouby

6. Zhotovení trnu (přípravku) pro upnutí obrobku. Tento trn má stejnou funkci, jako trn při výrobě pastorku. Upnutí obrobku na trn zde bylo realizováno pomocí třech šroubů (obr. 71), přičemž bylo využito vyvrtaných otvorů kruhového průřezu v obrobku. Tento způsob upnutí je vhodnější, než v případě pastorku, jelikož zde šrouby zabráňují, kombinací třecího silového a tvarového spojení, i případnému nežádoucímu rotačnímu pohybu (pootočení) obrobků vůči nástroji. V případě pastorku, který byl upnut přes podložku a matici, se jednalo pouze o třecí silové spojení, které bylo však pro výrobu dostačující. Na rozdíl od výroby pastorků, která probíhala jen po jednom kuse, byly v tomto případě upnuty na trnu oba polotovary současně. Výrobní výkres trnu pro upnutí polotovarů velkých ozubených kol je označen jako příloha 4.



Obr. 71 Upnutí obrobků na trnu pomocí šroubů

6.2.2.2 Pracovní postup související s frézováním ozubení na velkém ozubeném kole

S výrobou vnějšího přímého čelního ozubení na velkém ozubeném kole, při frézování dělicím způsobem, souvisí tento pracovní postup:

1. Volba řezných podmínek. Jelikož byl průměr a počet zubů kotoučové frézy, i obráběný materiál, shodný s výrobou pastorku, byly zvoleny stejné řezné podmínky – viz kapitola 6.2.1.2.
2. Výpočet nepřímého jednoduchého dělení – bude proveden podle postupu v kapitole 5.1.1.4, a to pro hodnotu převodového poměru šnekového soukolí $i_s = 40 [-]$, a pro počet vyráběných zubů na velkém ozubeném kole $z_i = z_2 = 35 [-]$:

Dosazení hodnot a zkrácení zlomku na základní tvar:

$$n = \frac{i_s}{z_i} = \frac{40}{35} = \frac{8}{7} [-] \quad (45)$$

Jelikož je po zkrácení zlomku na základní tvar ve jmenovateli číslo 7, tak jako při výrobě pastorku, proběhne dělení také na roztečné kružnici s počtem 49 otvorů. Z tohoto důvodu budou dále provedeny již jen poslední dva kroky – rozšíření zlomku v základním tvaru číslem 7 a převedení zlomku na smíšené číslo:

$$n = \frac{i_s}{z_i} = \frac{40}{35} = \frac{8 \cdot 7}{7 \cdot 7} = \frac{56}{49} = 1 \frac{7}{49} [-] \quad (46)$$

Z tohoto výsledku je patrné, že pro výrobu velkého ozubeného kola je nutné, pro vytvoření jedné zubové mezery, otočit dělicí klikou (po roztečné kružnici s počtem 49 otvorů) 1× dokola a poté ještě o dalších 7 otvorů.

3. Upnutí a vyrovnaní (obr. 65) trnu s obrobkem – postup stejný jako v kapitole 6.2.1.2.
4. Upnutí frézy č. 6, ze sady o počtu 8 členů (dle tab. 1), do upínacího trnu, resp. do vřetene frézky – viz obr. 65.
5. Nastavení vzájemné polohy obrobku a nástroje. Postup je stejný, jako v kapitole 6.2.1.2, jen byly naměřeny jiné hodnoty, protože došlo ke změně šířky frézy a průměru trnu s obrobkem. Z tohoto důvodu bude proveden jen výpočet dle rovnice (44):

$$H_p = H_1 - \frac{d_t}{2} + \frac{s_{kf}}{2} = 177,6 - \frac{59,2}{2} + \frac{6,2}{2} = \underline{151,1 \text{ [mm]}} \quad (47)$$

Z výpočtu je zřejmé, že pro správné nastavení kotoučové frézy vůči obrobku je třeba na výškoměru nastavit hodnotu 151,1 [mm], resp. vzdálenost, horní části kotoučové frézy od pracovního stolu frézky, musí být právě 151,1 [mm]. Při porovnání tohoto výpočtu s výpočtem při výrobě pastorku je patrné, že rozdílné hodnoty výsledků jsou způsobeny jen rozdílnou šířkou fréz. Při obrábění kotoučovými frézami s různou šířkou, by tedy bylo vhodné, zaznamenat si při prvním měření výsledek prvních dvou členů z této rovnice (vzdálenost osy obrobku od pracovního stolu frézky) a dále k tomuto výsledku připočítávat jen polovinu šířky příslušné frézy, což by urychlilo výrobu.

6. Frézování – podle rovnice (34) je požadovaná výška zubu, tedy hloubka řezu, $h_2 = \underline{4,5 \text{ [mm]}}$, postup je tedy shodný s frézováním ozubení na pastorku – viz kapitola 6.2.1.2. Frézování obou velkých ozubených kol současně, je zobrazeno na obr. 72. Vyrobené velké ozubené kolo je pak zobrazeno na obr. 73 (vlevo je zobrazeno po výrobě a vpravo při montáži na pojezdové kolo).



Obr. 72 Frézování velkých ozubených kol



Obr. 73 Vyrobené velké ozubené kolo

7 ZÁVĚR

Bakalářská práce s názvem: „Výroba ozubených kol“ je rozdělena do 4 hlavních kapitol. První 3 kapitoly jsou teoretické a závěrečná kapitola, navazující na předchozí uvedenou teorii, je praktická.

V první kapitole je provedeno rozdělení ozubených převodů dle různých hledisek. Z teorie uvedené v této kapitole, je pro návrh vyráběného soukolí, nejpodstatnější ta část, popisující výpočtové vztahy pro základní rozměry čelního ozubení s přímými zuby a část zabývající se možnostmi korekcí u ozubení.

Druhá kapitola je věnována jednotlivým materiálům, vhodných pro výrobu ozubených kol, přičemž je rozdělena na materiály čelních a kuželových ozubených kol, materiály šneků a materiály šnekových kol. Z uvedených materiálů převažuje konstrukční ocel, která je využívána především ve stavu tepelně či chemicko-tepelně zpracovaném. Použité pojmy tepelného i chemicko-tepelného zpracování jsou uvedeny v závěru této kapitoly.

Třetí kapitola, poslední z teoretických, se zabývá jednotlivými metodami třískového obrábění ozubených kol a to i s dokončovacími operacemi obrábění ozubení. Nejpodrobněji je v této kapitole popsáno frézování dělicím způsobem, jehož je využito v závěrečné kapitole.

V závěrečné kapitole je v první části proveden návrh nového ozubeného soukolí, které nahrazuje původní poškozené. Jelikož nově navržené soukolí nemělo osovou vzdálenost shodnou s původní, musela být na pastorku provedena kladná výšková korekce, kterou bylo zajištěno potřebné osové vzdálenosti. Následně byly stanoveny základní rozměry a materiál ozubeného soukolí. Pomocí těchto rozměrů byly dále, ze strojnických tabulek, stanoveny rozměry polotovarů. Následovala část druhá, ve které byl nejprve uveden popis výroby pastorku, a to od dělení hutního válcovaného polotovaru, po závěrečné frézování ozubení, dělicím způsobem, na svislé konzolové frézce. V popisu výroby bylo zahrnuto i stanovení řezných podmínek, při frézování ozubení, a výpočet nepřímého jednoduchého dělení na UDP. Stejný postup byl proveden i u spolupřevádějícího velkého ozubeného kola. Součástí práce jsou i výrobní výkresy pastorku (příloha 1) a velkého ozubeného kola (příloha 2), i výrobní výkresy trnů (přípravků) pro

jejich upnutí při výrobě (příloha 3 a 4). Jelikož byla zvolena pro výrobu ozubeného soukolí, tepelně nezpracovaná, konstrukční uhlíková ocel 11 500 (dle ČSN), resp. E295 (dle EN), navrhol bych, v případě krátké životnosti tohoto soukolí, použít např. konstrukční legovanou ocel 14 220 (dle ČSN), resp. 16MnCr5 (dle EN), která by byla chemicko-tepelně zpracována cementací, následně pak zakalena a popuštěna.

8 LITERATURA A INTERNETOVÉ ZDROJE

[1] SVOBODA P., BRANDEJS J., DVOŘÁČEK J., PROKEŠ F., 2009: *Základy konstruování*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 325 s. ISBN 978-80-7204-633-1.

[2] MRKVICA I., 2009: *Speciální technologie: výroba ozubených kol I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 92 s. ISBN 978-80-248-1931-0.

[3] SVOBODOVÁ M., 2013: *Převod ozubenými koly – princip, rozdělení*. Brno: Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace. In: spssbrno.cz [online]. [cit. 22. 11. 2016]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_15-01.pdf

[4] HOSNEDL S., KRÁTKÝ J., 2000: *Příručka strojního inženýra: obecné strojní součásti 2*. Praha: Computer Press, 198 s. ISBN 80-7226-202-5.

[5] SVOBODOVÁ M., 2013: *Čelní soukolí s vnějšími přímými zuby*. Brno: Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace. In: spssbrno.cz [online]. [cit. 24. 11. 2016]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_15-02.pdf

[6] KLETEČKA J., FOŘT P., 2007: *Technické kreslení*. Druhé opravené vydání. Brno: Computer Press, a. s., 252 s. ISBN 978-80-251-1887-0.

[7] SVOBODOVÁ M., 2013: *Čelní soukolí se šikmými zuby*. Brno: Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace. In: spssbrno.cz [online]. [cit. 24. 11. 2016]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_15-03.pdf

[8] SVOBODOVÁ M., 2013: *Kuželová soukolí*. Brno: Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace. In: spssbrno.cz [online]. [cit. 24. 11. 2016]. Dostupné z:

http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_15-05.pdf

[9] E-KONSTRUKTÉR, 2015: *Přehled používaných ozubených převodů*. In: e-konstrukter.cz [online]. [cit. 27. 11. 2016]. Dostupné z:

<http://e-konstrukter.cz/novinka/prehled-pouzivanych-ozubenych-prevodu>

[10] BUREŠ V., 1968: Čelní kola se šikmými zuby, s. 803–808. In: ČERNOCH S.: *Strojně technická příručka*. 12. přepracované vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1183 s.

[11] RŮŽIČKA V., 1968: Kuželová kola se zakřivenými zuby, s. 825–841. In: ČERNOCH S.: *Strojně technická příručka*. 12. přepracované vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1183 s.

[12] BUREŠ V., 1968: Ozubená kola, s. 755–916. In: ČERNOCH S.: *Strojně technická příručka*. 12. přepracované vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1183 s.

[13] BUREŠ V., 1968: Čelní kola s přímými zuby, s. 788–803. In: ČERNOCH S.: *Strojně technická příručka*. 12. přepracované vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1183 s.

[14] PALÁT H., 2011: *Podřezání zubů a korekce ozubení*. Opava: Střední škola průmyslová a umělecká, Opava, příspěvková organizace. In: strojka.opava.cz [online]. [cit. 28. 11. 2016]. Dostupné z:

http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/_sablony/SPS_III/VY_32_INOVACE_C-08-07.pdf

[15] HLUCHÝ M., KOLOUCH J., PAŇÁK R., 2001: *Strojírenská technologie 2: Polotovary a jejich technologičnost, 1. díl. 2.*, upravené vydání. Praha: Scientia, spol. s r. o., pedagogické nakladatelství, 316 s. ISBN 80-7183-244-8.

[16] DRIML B.: *Polotovary*. In: eluc.kr-olomoucky.cz [online]. [cit. 29. 11. 2016]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/attachments/414/1.Polotovary-prehled_a_znacen_.pdf

- [17] BUREŠ V., 1968: Materiál, konstrukce, mazání a výpočet ozubených kol, s. 862–897. In: ČERNOCH S.: *Strojně technická příručka*. 12. přepracované vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1183 s.
- [18] LEINVEBER J., VÁVRA P., 2008: *Strojnické tabulky*. Čtvrté doplněné vydání. Úvaly: Albra – pedagogické nakladatelství, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [19] JANYŠ B., GLANC F., 1976: *Dílenské tabulky*. Páté, přepracované vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 576 s.
- [20] T.E.A. TECHNIK S.R.O.: *Nerezová čelní ozubená kola*. In: teatechnik.cz [online]. [cit. 16. 1. 2017]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/nerezova-celni-ozubena-kola/>
- [21] INOX, SPOL. S R.O.: *Nerezová ocel 1.4305*. In: inoxspol.cz [online]. [cit. 16. 1. 2017]. Dostupné z: <http://inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=12>
- [22] SHIGLEY J. E., MISCHKE C. R., BUDYNAS R. G., 2010: *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTIUM, 1186 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [23] TUMLIKOVO, 2010: *Proces žihání*. In: tumlikovo.cz [online]. [cit. 18. 1. 2017]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/proces-zihani/#more-2497>
- [24] HLUCHÝ M., BENEŠ J., 1981: *Strojírenská technologie pro SPŠ nestrojnické*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 248 s.
- [25] DRIML B.: *Kalení a popouštění*. In: elitalycea.wz.cz [online]. [cit. 19. 1. 2017]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep07.pdf>
- [26] MEDUNA VAKUOVÁ KALÍRNA S.R.O.: *Nitridace v plynu*. In: kalirna.cz [online]. [cit. 19. 1. 2017]. Dostupné z: <http://kalirna.cz/cz/sluzby/item/26-nitridace-v-plynu.html>
- [27] MEDUNA VAKUOVÁ KALÍRNA S.R.O.: *Nitrocementace v plynu*. In: kalirna.cz [online]. [cit. 19. 1. 2017]. Dostupné z: <http://kalirna.cz/cz/sluzby/item/25-nitrocementace-v-plynu.html>
- [28] MEDUNA VAKUOVÁ KALÍRNA S.R.O.: *Karbonitridace v plynu*. In: kalirna.cz [online]. [cit. 20. 1. 2017]. Dostupné z:

<http://kalirna.cz/cz/sluzby/item/27-karbonitridace-v-plynu.html#tab2>

[29] ŘASA J., GABRIEL V., 2005: *Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje pro obrábění, 1. díl*. 2. vydání. Praha: Scientia, spol. s r. o., pedagogické nakladatelství, 256 s. ISBN 80-7183-337-1.

[30] KUBÍČEK M., 2013: *Výroba ozubení – shrnutí*. Brno: Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace. In: spssbrno.cz [online]. [cit. 24. 1. 2017]. Dostupné z:

http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-19.pdf

[31] TUMLIKOVO, 2010: *Princip výroby ozubených kol dělicím způsobem*. In: tumlikovo.cz [online]. [cit. 24. 1. 2017]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/princip-vyroby-ozubenych-kol-delicim-zpusobem/>

[32] TUMLIKOVO, 2010: *Dělicí přístroje – druhy dělení*. In: tumlikovo.cz [online]. [cit. 26. 1. 2017]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/delici-pristroje-druhy-deleni/>

[33] ELUC: *Frézování dělicím způsobem*. In: eluc.kr-olomoucky.cz [online]. [cit. 26. 1. 2017]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1236>

[34] STAVINOHA Z.: *Frézování pomocí dělicího přístroje*. In: coptel.coptkm.cz [online]. [cit. 26. 1. 2017]. Dostupné z:

file:///C:/Users/Admin/Downloads/VY_32_INOVACE_TF_13.pdf

[35] ŘÍMOVSKÝ P., MUDRÁK J., 2013: *Univerzální dělicí přístroj – nepřímé dělení a úvod do diferenciálního dělení*. Uherský Brod: SŠ-COPT Uherský Brod. In: eluc.kr-olomoucky.cz [online]. [cit. 28. 1. 2017]. Dostupné z:

https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1236/komponenty/2137/show_ppt

[36] KUBÍČEK M., 2013: *Hoblování, obrážení*. Brno: Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace. In: spssbrno.cz [online]. [cit. 30. 1. 2017]. Dostupné z:

http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-11.pdf

[37] HUMÁR A., 2004: *Technologie I: Technologie obrábění – 2. část*. Brno: VUT. In: docplayer.cz [online]. [cit. 2. 2. 2017]. Dostupné z:

http://docplayer.cz/10306340-Technologie-i-technologie-obrabeni-2-cast.html#show_full_text

[38] ŘASA J., POKORNÝ P., GABRIEL V., 2005: *Strojírenská technologie 3: Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění, 2. díl. 2. vydání.* Praha: Scientia, spol. s r. o., pedagogické nakladatelství, 221 s. ISBN 80-7183-336-3.

[39] 3D ZONA: *Tiskové materiály.* In: 3dzona.cz [online]. [cit. 8. 2. 2017]. Dostupné z: <http://www.3dzona.cz/cs/tiskove-materialy>

[40] KLAPKA M.: *Ozubená kola.* Brno: VUT. In: docplayer.cz [online]. [cit. 8. 3. 2017]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/13448278-Ozubena-kola-konstruovani-stroju-strojni-soucasti-www-shigley-cz.html>

[41] E-KONSTRUKTÉR, 2013: *Převodní tabulka značení ocelí.* In: e-konstrukter.cz [online]. [cit. 9. 3. 2017]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/prevodni-tabulka-znaceni-oceli>

[42] WIKUS: *Tabulky materiálů.* In: wikus.cz [online]. [cit. 9. 3. 2017]. Dostupné z: <https://www.wikus.cz/czech/technicke-informace/pilove-pasy/tabulky-materialu.html>

9 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	- osová vzdálenost [mm]
A_1	- teplota eutektoidní přeměny [°C]
A_3	- austenitizační teplota [°C]
A_{cm}	- austenitizační teplota [°C]
b	- šířka ozubení [mm]
b_1	- šířka ozubení pastorku [mm]
b_2	- šířka ozubení velkého ozubeného kola [mm]
c	- hlavová vřule [mm]
c_n	- boční vřule [mm]
d	- průměr roztečné kružnice [mm]
D	- průměr kotoučové frézy [mm]
d_1	- průměr roztečné kružnice pastorku [mm]
d_1	- průměr roztečné kružnice hnacího kola [mm]
d_2	- průměr roztečné kružnice velkého ozubeného kola [mm]
d_2	- průměr roztečné kružnice hnaného kola [mm]
d_a	- průměr hlavové kružnice [mm]
d_{a1}	- průměr hlavové kružnice pastorku [mm]
d_{a2}	- průměr hlavové kružnice velkého ozubeného kola [mm]
d_f	- průměr patní kružnice [mm]
d_{f1}	- průměr patní kružnice pastorku [mm]
d_{f2}	- průměr patní kružnice velkého ozubeného kola [mm]
D_{p1}	- zvolený průměr polotovaru pastorku [mm]
D_{p2}	- zvolený průměr polotovaru velkého ozubeného kola [mm]
d_s	- jmenovitý průměr součásti [mm]
d_{s1}	- jmenovitý průměr pastorku [mm]
d_{s2}	- jmenovitý průměr velkého ozubeného kola [mm]
d_t	- průměr trnu, přes který byla měřena hodnota H_1 [mm]
d_z	- průměr základní kružnice [mm]
h	- výška zubu [mm]
h_1	- výška zubu pastorku [mm]

H_1	- hodnota naměřená mezi stolem frézky a horní částí trnu s obrobkem [mm]
h_2	- výška zubu velkého ozubeného kola [mm]
h_a	- výška hlavy zubu [mm]
h_{a1}	- výška hlavy zubu pastorku [mm]
h_{a2}	- výška hlavy zubu velkého ozubeného kola [mm]
h_f	- výška paty zubu [mm]
h_{f1}	- výška paty zubu pastorku [mm]
h_{f2}	- výška paty zubu velkého ozubeného kola [mm]
H_p	- potřebná hodnota (výška), kterou je třeba nastavit na výškoměru [mm]
i	- převodový poměr [-]
i_{max}	- maximální převodový poměr [-]
i_s	- převodový poměr šnekového soukolí [-]
L_{p1}	- zvolená délka polotovaru pastorku [mm]
L_{p2}	- zvolená délka polotovaru velkého ozubeného kola [mm]
m	- modul ozubení [mm]
M_{k1}	- krouticí moment na hnacím kole [N·m]
M_{k2}	- krouticí moment na hnaném kole [N·m]
n	- počet otáček dělicí kliky [-]
n	- otáčky vřetene frézky [min^{-1}]
n_1	- otáčky hnacího hřídele [s^{-1}]
n_2	- otáčky hnaného hřídele [s^{-1}]
p	- rozteč dvou sousedních zubů, měřená na oblouku roztečné kružnice [mm]
P_1	- výkon na vstupu [W]
P_2	- výkon na výstupu [W]
p_c	- celkový přídavek na obrábění polotovaru [mm]
p_{c1}	- celkový přídavek na obrábění polotovaru pastorku [mm]
p_{c2}	- celkový přídavek na obrábění polotovaru velkého ozubeného kola [mm]
s	- tloušťka zubu [mm]
S_{kf}	- šířka kotoučové frézy [mm]
S_z	- posuv na zub [mm]
v_c	- řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
v_f	- rychlost posuvu stolu frézky [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

x	- jednotkové posunutí [-]
z	- počet zubů ozubeného kola [-]
z	- počet zubů kotoučové frézy [-]
z_1	- počet zubů pastorku [-]
z_1	- počet zubů hnacího kola [-]
z_2	- počet zubů velkého ozubeného kola [-]
z_2	- počet zubů hnaného kola [-]
z_i	- počet vyráběných zubů resp. roztečí [-]
z_m	- mezní počet zubů [-]
α	- úhel záběrové přímky [°]
η	- účinnost [-]
π	- Ludolfovo číslo [-]
ψ	- součinitel poměrné šířky ozubení [-]
ω	- součinitel změny výšky hlavy zubu [-]
ω_1	- úhlová rychlost hnacího hřídele [s^{-1}]
ω_2	- úhlová rychlost hnaného hřídele [s^{-1}]
ČSN	- česká technická norma [-]
EN	- evropská norma [-]
Fe-Fe ₃ C	- železo-karbid železa (železo-cementit) [-]
TiN	- nitrid titanu [-]
UDP	- univerzální dělicí přístroj [-]

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení mechanických převodů [1]</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 2 Konstrukce evolventy [3].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 3 Rozdělení ozubených soukolí [3].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 4 Čelní soukolí vnější [5]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 5 Základní pojmy čelního ozubení [40].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 6 Boční vůle v ozubení [5].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 7 Čelní ozubené soukolí vnější se šikmými zuby [3]</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 8 Čelní ozubené soukolí vnitřní [40].....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 9 Základní profil evolventního ozubení [5].....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 10 Čelní soukolí hřebenové [3].....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 11 Pravoúhlé kuželové soukolí s vnějším ozubením [8].....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 12 Kosouhlé kuželové soukolí s vnějším ozubením [8]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 13 Kuželové soukolí základní s rovinným kolem [8].....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 14 Kuželové soukolí s vnitřním ozubením [8]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 15 Hyperboloidní šroubové soukolí [4]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 16 Šroubové soukolí válcové [4]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 17 Šroubové soukolí kuželové [3]</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 18 Šnekové soukolí válcové [4]</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 19 Válcový šnek + globoidní šnekové kolo [40]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 20 Globoidní šnek + válcové šnekové kolo [4]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 21 Globoidní šnek + globoidní šnekové kolo [40].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 22 Válcový šnek + šnekový hřeben [4]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 23 Rozdělení ozubení dle tvaru boků zubů [3].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 24 Šípové zuby [3].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 25 Zesílení paty zubu korekcí [14]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 26 Normalizované a nenormalizované polotovary [16].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 27 Technicko-hospodářský rozbor volby polotovarů [16]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 28 Normalizační teploty v rovnovážném diagramu Fe-Fe₃C [24].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 29 Princip povrchového kalení plamenem [24]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 30 Princip indukčního povrchového kalení [24].....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 31 Kalicí teploty v rovnovážném diagramu Fe-Fe₃C [24].....</i>	<i>38</i>

<i>Obr. 32</i>	<i>Výroba ozubení dělicím způsobem čepovou (stopkovou) tvarovou frézou [24]</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 33</i>	<i>Výroba ozubení dělicím způsobem kotoučovou tvarovou frézou [24]</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 34</i>	<i>Jednoduchý dělicí přístroj s vodorovným a svislým upínáním [33]</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 35</i>	<i>Způsoby dělení na UDP [33]</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 36</i>	<i>Dělicí kotouč přímého dělení na UDP [32]</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 37</i>	<i>Schéma nepřímého jednoduchého dělení na UDP [33]</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 38</i>	<i>Princip nepřímého složeného dělení na UDP [35]</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 39</i>	<i>Schéma nepřímého diferenciálního dělení na UDP [33]</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 40</i>	<i>Odvalovací fréza [30]</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 41</i>	<i>Princip odvalovacího frézování [30]</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 42</i>	<i>Svislá obrážeečka [36]</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 43</i>	<i>Stroj pro obrážení ozubení kotoučovým nožem [30]</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 44</i>	<i>Obrážení ozubení kotoučovým nožem v blízkosti osazení [30]</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 45</i>	<i>Obrážení ozubení hřebenovým nožem [30]</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 46</i>	<i>Protahování vnějšího ozubení protahovacím trnem [30]</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 47</i>	<i>Protahování vnějšího ozubení kotoučovým protahovákem [30]</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 48</i>	<i>Obrážení vnitřního čelního ozubení kotoučovým nožem [29]</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 49</i>	<i>Frézování kuželového ozubení tvarovou kotoučovou frézou [29]</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 50</i>	<i>Obrážení kuželového ozubení podle šablony [29]</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 51</i>	<i>Obrážení kuželového ozubení odvalovacím způsobem [29]</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 52</i>	<i>Frézování kuželového ozubení způsobem Gleason [37]</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 53</i>	<i>Frézování kuželového ozubení způsobem Oerlikon [37]</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 54</i>	<i>Frézování kuželového ozubení způsobem Klingelberg [37]</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 55</i>	<i>Schéma výroby válcového šneku [37]</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 56</i>	<i>Výroba šnekového kola odvalovací frézou radiálním způsobem [30]</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 57</i>	<i>Princip ševingování [30]</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 58</i>	<i>Broušení ozubených kol dělicím způsobem [37]</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 59</i>	<i>Broušení ozubeného kola odvalovacím způsobem Maag [24]</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 60</i>	<i>Broušení ozubeného kola odvalovacím způsobem Reishauer [30]</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 61</i>	<i>Princip lapování [30]</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 62</i>	<i>Původní velké ozubené kolo a poškozený pastorek</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 63</i>	<i>Hřídele pro uložení pojezdového kola a pastorku</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 64</i>	<i>Upnutí trnu s obrobkem</i>	<i>69</i>

<i>Obr. 65 Vyrovnávání upnutého trnu s obrobkem</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 66 Nastavení správné polohy kotoučové frézy pomocí výškoměru.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 67 Vyrobený pastorek.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 68 Střed pojezdového kola sekačky po demontáži ozubeného kola.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 69 Frézování obloukových drážek.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 70 Vrtání otvorů pro šrouby.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 71 Upnutí obrobků na trnu pomocí šroubů.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 72 Frézování velkých ozubených kol.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 73 Vyrobené velké ozubené kolo</i>	<i>79</i>

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Výrobní výkres pastorku

Příloha 2: Výrobní výkres velkého ozubeného kola

Příloha 3: Výrobní výkres trnu pro upnutí pastorku

Příloha 4: Výrobní výkres trnu pro upnutí velkého ozubeného kola