



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE DOKONČOVÁNÍ OZUBENÝCH KOL ŠEVINGOVÁNÍM

TECHNOLOGY OF FINISHING GEARING BY SHAVING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ KRATOCHVIL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Kratochvíl

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

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

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

Technologie dokončování ozubených kol ševingováním

v anglickém jazyce:

Technology of finishing gearing by shaving

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rešerše literatury k danému tématu.
2. Používaná zařízení a nástroje.
3. Řezné podmínky, řezné kapaliny.
4. Dosahované výsledky, porovnání s ostatními metodami dokončování ozubení.
5. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Popis metody ševingování ozubení s uvedením podmínek, řezných kapalin a dosahovanými výsledky. Porovnání s ostatními metodami dokončování ozubení.

Seznam odborné literatury:

1. ZEMČÍK,O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno:Akademické nakladatelství CERM,2002.158 s. ISBN 80-214-2219-X.
2. ZEMČÍK,O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM,2003.193 s. ISBN 80-214-2336-6
3. KÖNIG,W. Fertigungsverfahren band 1,2,3,4,5,6. 4.Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH,1999. 416 s. ISBN 3-18-401054-6
4. Firemní podklady dle dalšího zpřesnění a určení (Sandvik Coromant, Gühring, Fette, Pramet, Mitsubishi, Iscar, Seco, apod.
5. REICHARD,A. Fertigungstechnik 1,2. 10.Aufl. Hamburg: Handwerk und technik,1993.420 s. ISBN 3-582-02311-7
6. LICHTENAUER,G. Hurth Zahnradschaben. 1.Aufl. München 1994. 581 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 4.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá technologií dokončování ozubených kol ševingováním. Práce zahrnuje popis metody, základního výpočet, stroje, a také stručný popis dalších dokončovacích metod. V závěru práce je uvedeno celkové zhodnocení.

Klíčová slova

Dokončovací operace, ševingování, výpočet, ozubené kolo, honování, broušení, stroj.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with technology of finishing gearing by shaving. This thesis includes description of method, basic calculations and machines as well as a brief description of other finishing gearing technologies. General evaluation is mentioned in resume.

Key words

Finishing technology, shaving, calculation, gearwheel, honing, grinding, machine.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRATOCHVIL, Tomáš. *Název: Technologie dokončování ozubených kol ševingováním*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. s., příloh. Ing. Oskar Zemčík, Csc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technologie dokončování ozubených kol ševingováním vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....

Jméno příjmení bakaláře

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

| | |
|---|----|
| Abstrakt..... | 6 |
| Prohlášení | 7 |
| Poděkování | 8 |
| 1 ÚVOD..... | 10 |
| 2 PŘEVODY | 11 |
| 2.1 Nepřesný (třecí) převod: | 11 |
| 2.1.1 Převody plochými řemeny a pásy | 11 |
| 2.1.2 Převody klínovými řemeny | 11 |
| 2.1.3 Převod třecími koly | 12 |
| 2.2 Přesný (vázaný) převod:..... | 12 |
| 2.2.1 Převody řetězy..... | 12 |
| 2.2.2 Převody ozubenými koly..... | 12 |
| 3 ŠEVINGOVÁNÍ..... | 16 |
| 3.1 Popis metody..... | 16 |
| 3.2 Nástroj..... | 17 |
| 3.3 Způsoby ševingování | 17 |
| 3.4 Materiál ševingovacího kola | 21 |
| 4 ZÁKLADY VÝPOČTU A KONSTRUKCE ŠEVINGOVACÍCH KOL..... | 21 |
| 4.1 Výpočet ševingovacích kol pro vnější ozubení..... | 21 |
| 4.2 Určení konstrukčních rozměrů nástroje [1]..... | 23 |
| 4.3 Ševingovací stroje | 27 |
| 4.4 Honování..... | 30 |
| 5 BROUŠENÍ | 33 |
| 5.1 Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči..... | 33 |
| 5.2 Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu | 35 |
| 5.2.1 Systém Maag..... | 35 |
| 5.2.2 Systém Niles..... | 36 |
| 5.2.3 Systém Reishauer | 37 |
| 5.2.4 Brusné materiály | 38 |
| 5.3 Dosahované přesnosti..... | 38 |
| 6 ZÁVĚR..... | 39 |
| 7 POUŽITÉ SYMBOLY | 40 |
| 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 42 |

1 ÚVOD

V každodenním životě se setkáváme s různými druhy převodů, aniž si to mnohdy uvědomujeme. Výjimečné postavení, téměř ve všech odvětvích průmyslu, si vybudovaly převody ozubenými koly. Jsou součástí převodovek dopravních prostředků, ručních nástrojů, ale také hraček, které dělají radost našim dětem.

Dle způsobu použití převodu, je nutné zvolit vhodný druh dokončovací metody ozubení. U ozubených kol je největší důraz kladen na geometrickou přesnost obroběných ploch, kde se snažíme co nejvíce přiblížit k ideálnímu tvaru profilu. V neposlední řadě je kladen důraz na plynulý chod převodu.

2 PŘEVODY

Převody jsou strojní zařízení, která nejčastěji přenáší otáčivý pohyb nebo jiný pohyb z hřídele na nesouosé hřídele. Převody nejčastěji rozdělujeme následovně:

- Mechanické
- Hydraulické
- Pneumatické
- Elektrické

Jelikož se většinou jedná o složitá zařízení, označujeme tyto převody často jako mechanismy. Dodnes jsou u strojů nejčastěji používané převody mechanické (např. rotační – s plochým řemenem, řetězy, ozubenými koly; přímočaré – šroubem, klika s ojnicí).

Převod se skládá z alespoň ze dvou kol (hnací kolo, hnané kolo), která jsou buď v přímém záběru (ozubená kola, třecí kola) nebo jsou spojena lanem, řemenem apod.

1.1 *Nepřesný (třecí) převod:*

Otáčky hnacího hřídele mírně kolísají (prokluz třecího kola apod.)

1.1.1 Převody plochými řemeny a pásy

- Vhodný pro zařízení kde není kladen důraz na přesnost převodu
- Umožňuje pružné zachycení a tlumení rázů
- Spodní část řemene je napínána (namáhána) více než horní část
- Obvodová rychlost hnací i hnané řemenice je stejná
- Materiál řemenů (např. pryž, umělé hmoty atd.)

1.1.2 Převody klínovými řemeny

- Rozdělujeme dva typy:
 - *Otevřený – řemen může běžet v obou směrech, jelikož je moment přenášen boky řemene => menší napínací síla*
 - *S napínací kladkou – kladka napíná řemen z vnitřní strany ochablé části.*
- Přenos jedním nebo více řemeny
- Řemeny je nutno chránit před působením vody, maziva atd.

- Materiál řemenů (např. kordová tkanina uložená v několika vrstvách nad sebou)

1.1.3 Převod třecími koly

- Vhodné pro menší výkony a malé vzdálenosti os hřídelů
- Materiál kotoučů (malé obvodové síly - např. šedá litina, bronz; větší obvodové síly – obložení věnce kola korkem, pryží)

1.2 Přesný (vázaný) převod:

Stálý převodový poměr (např. řetězový převod, převod ozubenými koly).
Neměnný počet otáček hnacího hřídele.

1.2.1 Převody řetězy

Rozdělení řetězů:

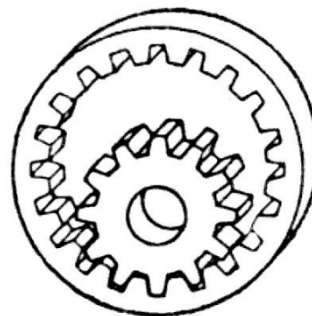
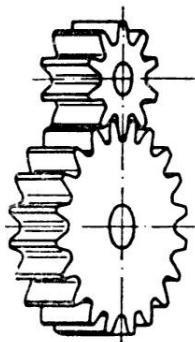
- Článekové – vhodné pro použití v hrubém provozu i za vysokých teplot, např. u zdvihadel; normalizované velikosti článku řetězu
 - Kloubové – rozdělení podle počtu řad (jednořadé, dvouřadé, třířadé, čtyřřadé), vnější a vnitřní článek jsou spojeny čepem;
 - Speciální – Ewartovy – pro různé dopravníky a dopravní zařízení; materiál (temperovaná litina)
- Převod je přený a tichý, do jisté míry i pružný
 - Při opotřebení článku se mění délka řetězu (zvětšuje se rozteč řetězu)

1.2.2 Převody ozubenými koly

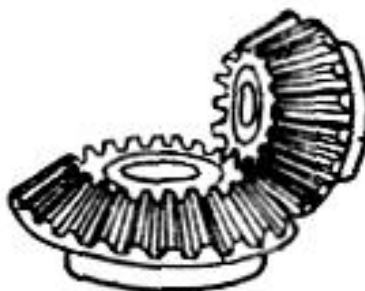
- Jednoduchý převod - skládá se z dvojice ozubených kol (malé kolo – pastorek, velké kolo), která se při vzájemném záběru nazýváme – jednoduché soukolí
- Složený převod - skládá se z několika dvojic ozubených kol, tyto při vzájemném záběru nazýváme – složené soukolí

Rozdělení dle vzájemné polohy hřídelí:*1. Rovnoběžné osy:*

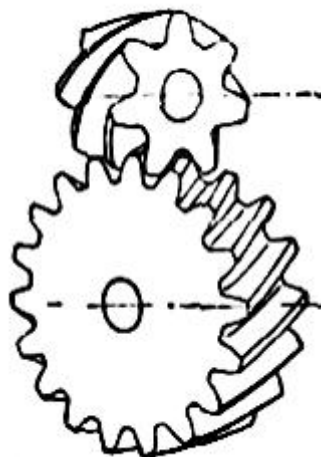
- Čelní soukolí s vnějším ozubením[10]
- Čelní soukolí s vnitřním ozubením[10]

*2. Různoběžné osy:*

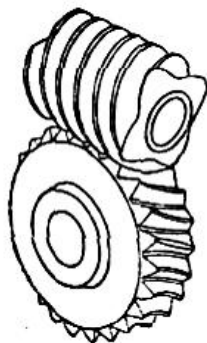
- Kuželová soukolí s vnějším ozubením[10]

*3. Mimoběžné osy:*

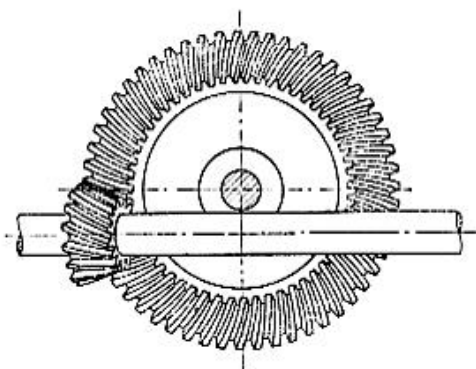
- Šroubové soukolí s vnějším ozubením [10]



- Šnekové soukolí s vnějším ozubením [10]



- Hypoidní soukolí s vnějším ozubením [10]



Podle tvaru zubů rozdělujeme kola:

Čelní kola

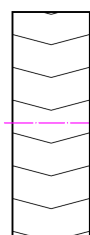
přímé zuby



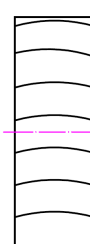
šikmé zuby



šípovité zuby

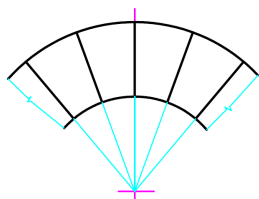


zakřivené zuby

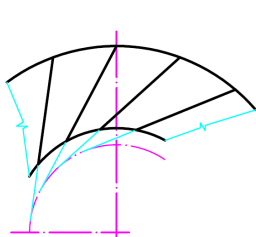


Kuželová kola

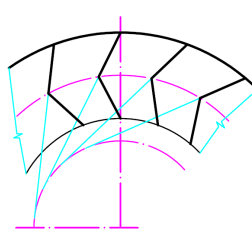
přímé zuby



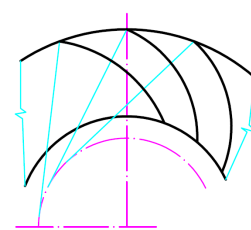
šikmé zuby



šípovité zuby



zakřivené zuby



Rozdělení dle profilu boku zubů:

- Evolventní – evolventa vzniká odvalováním přímky po základní kružnici, ozubení je poměrně snadno vyrobitelné, jedná se o nejpoužívanější profil
- Cykloidní – cykloida vzniká odvalováním valivé kružnice po statické základní kružnici, výroba ozubení je obtížná
- Žebrové
- Hypoidní
- Kruhový oblouk

Rozdělení dle úhlu záběru

- 15°
- 20° - nejrozšířenější
- 30° - pro evolventní drážkování

Požadavky na ozubené převody

- Rovnoměrný přenos otáček a plynulý chod
- Minimalizace ztrát
- Vysoká životnost
- Záběr bez prokluzu zubů
- Nízká hlučnost

K docílení výše uvedených požadavků je nutné při výrobě ozubených kol zařadit dokončovací operace pro zlepšení jakosti povrchu zubu tak, aby se tvar zubu co nejvíce přiblížil ideálnímu profilu.

3 ŠEVINGOVÁNÍ

1.3 Popis metody

Ševingování je dokončovací operace používaná v sériové a hromadné výrobě u měkkého evolventního ozubení, tj. nekalených ozubených kol nebo cementovaných ozubených kol před kalením. Používá se poté, co byly zuby kola obrobeny obražením, protahováním nebo vyfrézovány odvalovací frézou. Metoda ševingování spočívá v odebrání velmi jemných třísek materiálu z pracovní části povrchu zubu a tím se docílí vysoké kvality ozubených kol.



Obr. 2.1.1 Ševingovací nástroje [6]

Výhody

- Zlepšení kvality povrchu zubu
- Eliminuje se problém koncentrace zatížení na konci zubu
- Efektivní snížení hlučnosti ozubených kol s úpravami v profilu zubu.
- Zvýšená bezpečnost a životnost.
- Zvýšení dovoleného zatížení

1.4 Nástroj

Nástroj má tvar buď ozubeného kola nebo hřebene. Častěji používá ševingování pomoci ozubeného kola a to z následujících důvodů:

- Levnější a jednodušší výroba kola
- Lepší odvod třísky
- Ševingování vnějších i vnitřních ozubení

Ševingovací kolo je korigované s příkými nebo šikkými zuby. Má na bocích drážky pro odvod třísek a vytváření řezných hran. Nástroj a obrobek tvoří záběr dvou šikmozubých kol s mimoběžnými osami a jsou ve vzájemném styku bez vůle. Obvodová rychlost se pohybuje v rozmezí 60 m/min – 140 m/min. Samotné odebrání třísek je prováděno ostrými břity na povrchu nástroje. Hloubka drážek je závislá na modulu a pohybuje se mezi 0,6 mm – 1 mm, šířka 0,25 mm.

Rozdělení ševingovacích kol:

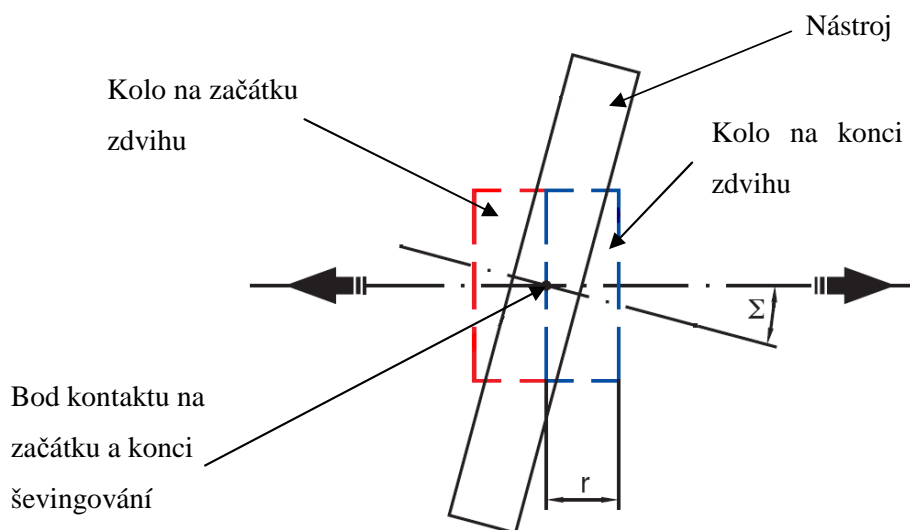
- Nástroje pro vnější ozubení
- Nástroje pro vnitřní ozubení
- Nástroje hyperboloidní
- Nástroje speciální

1.5 Způsoby ševingování

- Příčné
- Diagonální
- Zapichovací
- Podélné
- Diagonálně příčné
- Tangenciální

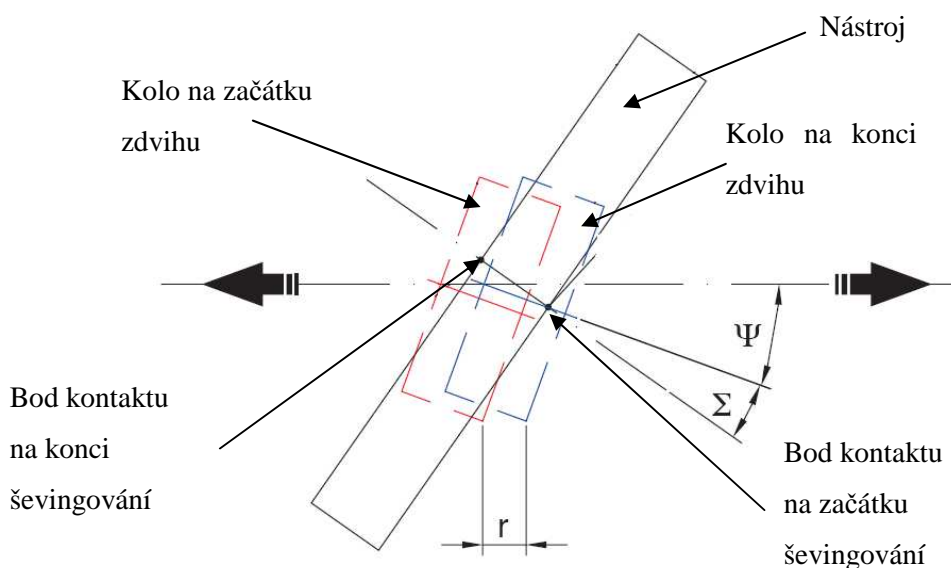
Příčné

Ozubené kolo, které má být ševingováno kmitá ve směru své osy, zatímco je v záběru s nástrojem. S každým kmitem je odebrána malá tříška. Pro ševingování načisto je vhodné připočítat jeden zdvih na modul navíc, avšak toto není vhodné pro vnější okraje kola. [6]



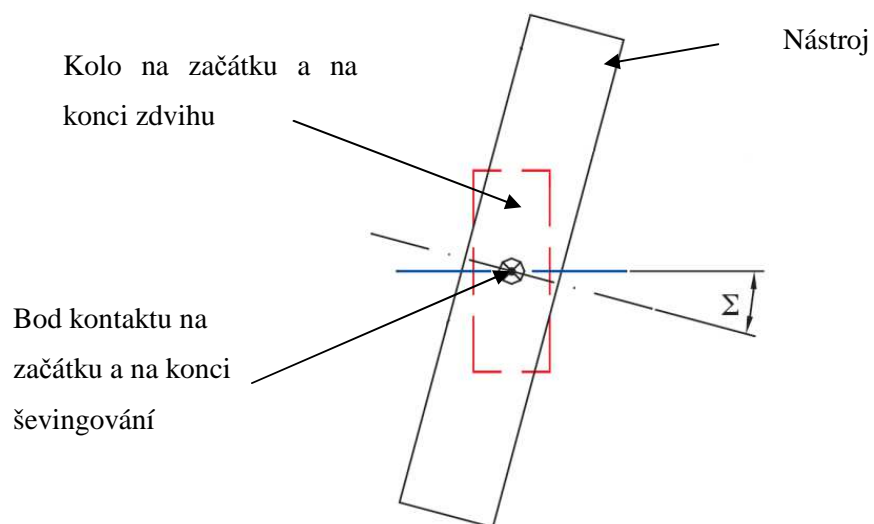
Diagonální

Ševingovací kolo kmitá šikmo směrem k jeho vlastní ose. Nástroj i obrobek zůstávají stále v záběru. Diagonální úhel může být dosažen nakláněním obrobku nebo interpolací dvou os stroje. Obecně může být velikost diagonálního úhlu mezi 0° a 40° , ale z důvodů opotřebení by neměl být větší než 25° [6]



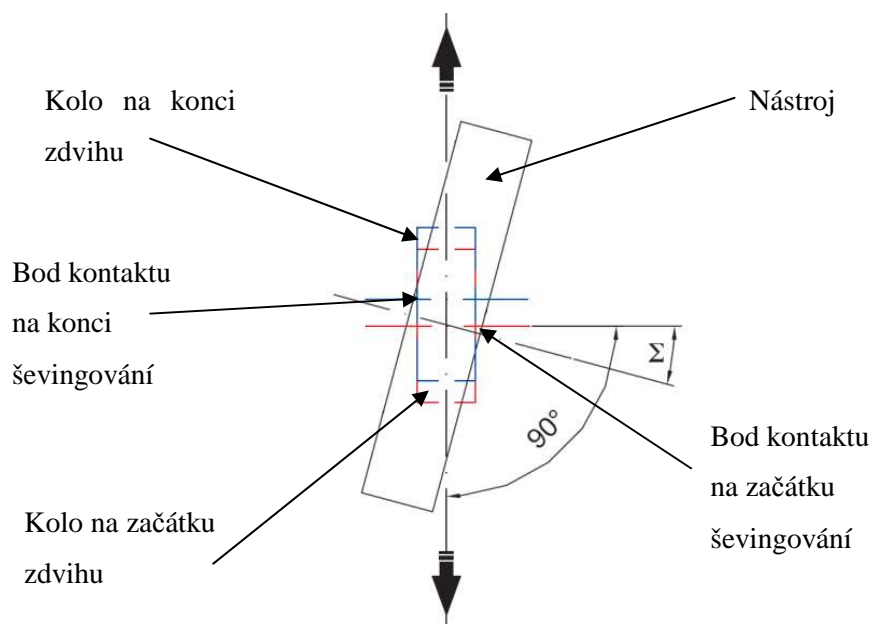
Zapichovací

Při tomto ševingování se nepohybuje stůl. Místo toho koná radiální pohyb obrobek proti nástroji. Nástroj musí být širší než obrobek. Tento způsob je zvláště vhodný pro ševingování vnějšího okraje kol. [6]



Podélné

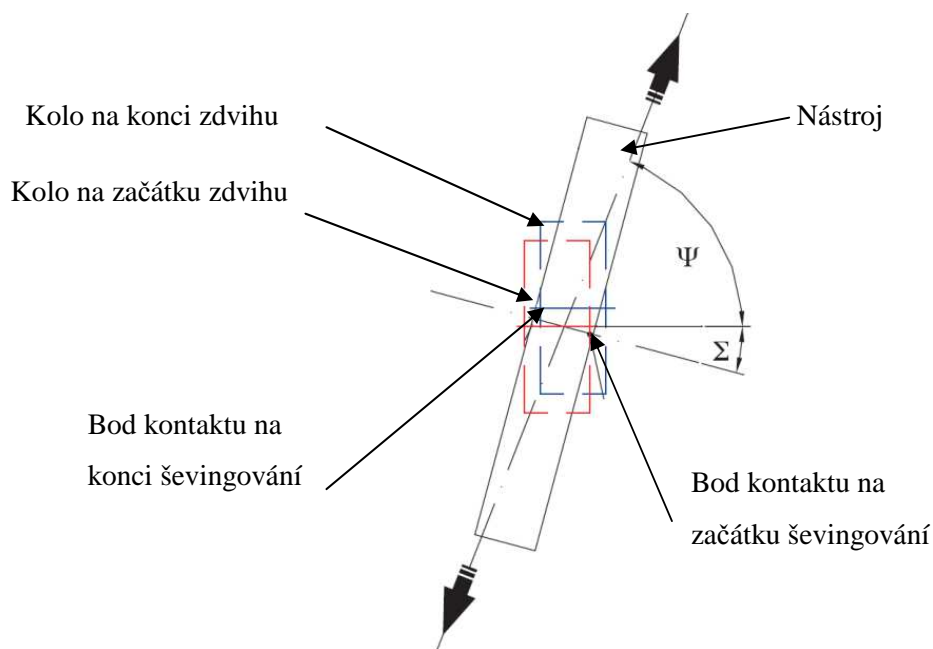
Je podobné diagonálnímu ševingování, ale mění se diagonální úhel na 90° . Obrobek kmitá kolmo ke své vlastní ose. Nástroj musí být širší než obrobek. Musí být umístěny ve šroubovici. Všechny korekce musí být provedeny na nástroji, jelikož je není možné provádět prostřednictvím axiálního posuvu nástroje. [6]



Diagonálně příčné

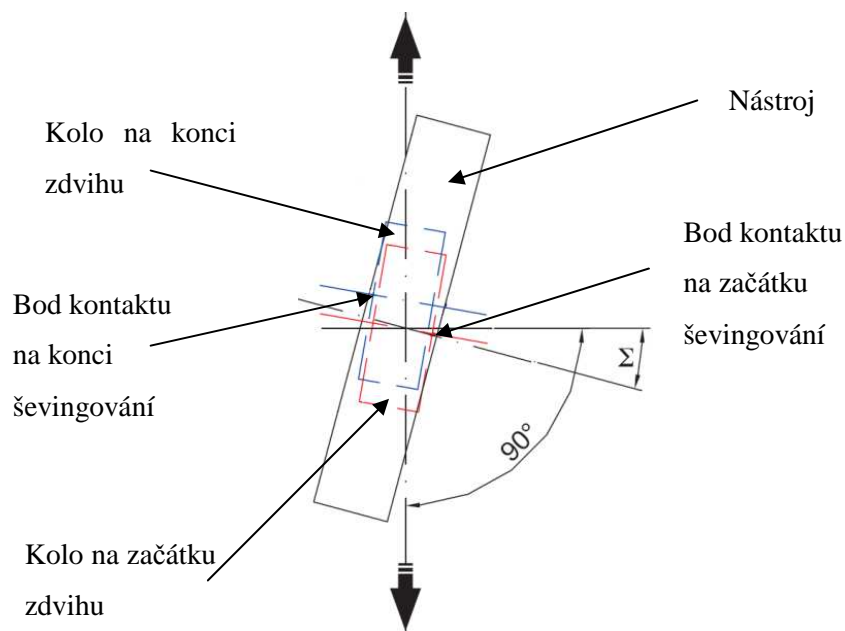
Jedná se o diagonální ševingování za nastavení velkého úhlu posuvového pohybu ($40^\circ < \delta < 90^\circ$). Tato metoda je vhodná pro ševingování kol se šikmými zuby.

[6]



Tangenciální

Hodnota nastavení úhlu posuvového pohybu se nastavuje v rozmezí $40^\circ < \delta < 90^\circ$. Ševingovací kolo musí být širší než obrobek a jeho vroubkování musí být umístěno na šroubovici, aby bylo dosaženo relativního posuvu boku zubu. [6]



1.6 Materiál ševingovacího kola

| Třída | C | Cr | Mo | W | V | Co | Mn | Si |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| M2 | 0,95 | 4,2 | 5,0 | 6,0 | 2,0 | - | - | - |
| M35 | 0,94 | 4,1 | 5,0 | 6,0 | 2,0 | 5,0 | - | - |
| M42 | 1,10 | 3,8 | 9,5 | 1,5 | 1,2 | 8,0 | - | - |

Tab. 1.6.1 Materiály ševingovacího kola [6]

4 ZÁKLADY VÝPOČTU A KONSTRUKCE ŠEVINGOVACÍCH KOL [1]

Dle ÚN 22 2560, 61 vyrábíme ševingovací kola pouze pro úhel $\alpha=20^\circ$ se sklony šroubovice $\beta_n=10^\circ, 5^\circ$ a 0° , které můžeme třídit následovně:

- Nástroje pro vnější ozubení (normální, zúžené, modifikované)
- Nástroje pro vnitřní ozubení
- Nástroje hyperboloidu
- Nástroje speciální

$$l_{1,2} = \frac{\sqrt{r_{h1}^2 - r_{01}^2} - r_{r1} \cdot \sin \alpha_{\varepsilon 1}}{\cos \beta_{01}} + \frac{\sqrt{r_{h2}^2 - r_{02}^2} - r_{r2} \cdot \sin \alpha_{\varepsilon 2}}{\cos \beta_{02}} + \frac{\pm (\xi_1 + \xi_2) \cdot m_n}{\sin \alpha_n}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\varepsilon 1,2} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta_{r1,2}}$$

1.7 Výpočet ševingovacích kol pro vnější ozubení [1]

Čelní modul:

$$m_{\varepsilon} = \frac{m_n}{\cos \beta_{r1}}$$

Průměr roztečné kružnice:

- Kola $d_{r1} = m_{\varepsilon} \cdot z_1$
- Pastorku $d_{r2} = m_{\varepsilon} \cdot z_2$

Vzdálenost os převodu:

$$A_{1,2} = \frac{d_{r1} + d_{r2}}{2}$$

$$\text{Pro korigovaná kola } A_{1,2v} = \frac{d_{v1} + d_{v2}}{2}$$

Kde $d_{v1,2}$ jsou průměry valčích kružnic.

Průměr hlavové kružnice:

$h_h = m_n =$ výška hlavy zubu

- Kola $d_{h1} = d_{r1} + 2h_h$
- Pastorku $d_{h2} = d_{r2} + 2h_h$

Průměr patní kružnice:

$h_p = (1,2 \text{ až } 1,3)$

$m_n =$ výška paty zubu

- Kola $d_{p1} = d_{r1} - 2h_h$
- Pastorku $d_{p2} = d_{r2} - 2h_h$

Úhel sklonu zubů kola na základním válci:

$$\sin \beta_{01} = \sin \beta_{r1} \cdot \cos \alpha_n$$

Úhel základního profilu v čelní rovině kola:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\varepsilon} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta_{r1}}$$

Průměr základní kružnice:

- Kola $d_{01} = d_{r1} \cdot \cos \alpha_{\varepsilon}$
- Pastorku $d_{02} = d_{r2} \cdot \cos \alpha_{\varepsilon}$

Délka záběru spoluzabírajících kol v čelní rovině:

$$l_{1,2\varepsilon} = \sqrt{r_{h1}^2 - r_{o1}^2} + \sqrt{r_{h2}^2 - r_{o2}^2} - A_{1,2} \cdot \sin \alpha_{\varepsilon}$$

U korigovaných kol dosadíme za úhel α_{ε} úhel záběru $\alpha_{\varepsilon v}$

$$\cos \alpha_{\varepsilon v} = \frac{(d_{r1} + d_{r2}) \cdot \cos \alpha_{\varepsilon}}{2 \cdot A_{1,2v}}$$

Volené hodnoty:

| Obrobek | β | Obrobek | β |
|---|----------|--|----------|
| Čelní kola s přímými zuby $z_1 < 20$ | 8 až 12 | Čelní kola s šikmými zuby – velká šířka ozubení | 10 až 15 |
| Čelní kola s přímými zuby $z_1 > 20$ | 10 až 15 | Pastorek s velkým úhlem sklonu zubu | 5 až 10 |
| Čelní kola s šikmými zuby – malá šířka ozubení | 8 až 12 | Vnitřní ozubení | 4 až 8 |

Úhel sklonu zubu nástroje na roztečném válci:

$$\beta_n = \beta_s - \beta_{r1}$$

β_s - úhel zkřížení os

Úhel zkřížení os zvolíme podle tab. Platí poučka: Při velkých úhlech β_s (nad 15°) je snazší a rychlejší úběr třísky, avšak vedení je horší, při menších úhlech (pod 7°) jsou podmínky práce opačné

1.8 Určení konstrukčních rozměrů nástroje [1]**Úhel sklonu zubů na základním válci, čelní modul nástroje:**

$$\sin \beta_{on} = \sin \beta_{r1} \cdot \cos \alpha_n$$

$$m_{\varepsilon n} = \frac{m_n}{\cos \beta_n} \text{ bývá } m_{\varepsilon n} \neq m_{\varepsilon} \text{ při } \beta_n \neq \beta_r$$

$$z_n = \frac{d_{\max} - 3m_{r2}}{2},$$

d_{\max} – největší průměr nástroje se zřetelem na stroj. Zjištěná hodnota z_n se sníží na nejbližší prvočíslo nebo na hodnotu nedělitelnou ani netvořící

násobek s počtem zubů obrobku (pro eliminaci chyb nástroje). Překontrolujeme výrobní možnosti(dělicí kotouče, vačky)

Průměr roztečné kružnice:

$$d_m = z_n \cdot m_{\dot{c}n}$$

Úhel základního profilu v čelní rovině:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\dot{c}n} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \beta_n}$$

Průměr základní kružnice:

$$d_{on} = d_m \cdot \cos \alpha_{\dot{c}n}$$

Výška paty zubu nového nástroje (předběžně):

$$h_{pn} = m \cdot (1,166 + \xi''_{bn})$$

ξ''_{bn} – součinitel korekce přeastření

Průměr patní kružnice:

$$d' = d_m - 2h_{pn}$$

Kontrola zvolené korekce ξ''_{bn} pro zaručení podmínky $d_{pn} \geq d_{on}$

$x_{on} = \frac{d_{on} - d_{pn}}{2}$ Vyjde-li hodnota záporná, je podmínka splněna a veličiny h_{pn} ,

d_{pn} jsou konečné. Nevyjde-li podmínka, je nutno změnit velikost ξ''_{bn}

Výška hlavy zubu nového nástroje:

$$h'_{hn} = m_n \cdot (1,10 + \xi'_{bn} + \xi_{on})$$

ξ'_{bn} – součinitel posunutí pro ostří

ξ_{on} – součinitel posunutí pro zaručení evolventního profilu

Průměr hlavové kružnice nového nástroje:

$$d'_{hn} = d_m + 2h'_{hm}$$

Minimální průměr hlavové kružnice (po přeastření):

$$d''_{hn} = d'_{hm} - 2m_n \cdot (\xi'_{bn} + \xi''_{bn})$$

Úhel záběru na hlavové kružnici v čelní rovině:

$$\cos \alpha_{hc\check{c}} = \frac{d_{on}}{d'_{hn}}$$

Tloušťka zubu na hlavové kružnici nového nástroje v čelní rovině:

$$S'_{hc\check{c}} = r'_{hn} \cdot \left(\frac{\pi}{z_n} + 2ev\alpha_{\check{c}n} - 2ev\alpha_{hc\check{c}} + \frac{4 \cdot (\xi'_{bn} + \xi_{on}) \cdot \operatorname{tg} \alpha_n}{z_n} \right)$$

Minimální hodnota $S'_{hc\check{c}} = 1,8$ až 2 mm se zřetelem na hloubku řezných drážek

Rozteč zubu na patní kružnici:

$$t_{pn} = \frac{\pi d'_{pn}}{z_n}$$

Úhel záběru na patě zubu:

$$\cos \alpha_{p\check{c}\check{c}} = \frac{z_n \cdot \cos \alpha_{\check{c}n}}{z_n - \frac{2h'_{pn}}{m_{\check{c}n}}}$$

Tloušťka zubu na patní kružnici nového nástroje v čelní rovině:

$$S'_{p\check{c}\check{c}} = r'_{pn} \cdot \left(\frac{\pi}{z_n} + 2ev\alpha_{\check{c}n} - 2ev\alpha_{p\check{c}\check{c}} + \frac{4 \cdot (\xi'_{bn} + \xi_{on}) \cdot \operatorname{tg} \alpha_n}{z_n} \right)$$

Šířka zubní mezery na patní kružnici před broušením:

$$S'_{pmm} = t_{pn} \cdot (S'_{p\check{c}\check{c}} + 2\Delta S_{br}) \geq 1,3 \text{ mm}$$

Se zřetelem na nástroj pro obrážení drážek; ΔS_{br} = přídavek na broušení na bok zubu

Kontrola délky ševingovaného profilu:

Musí být $l'_{1,n} \geq l_{1,2} \leq l'_{2,n}$

Neznáme-li protikolo (nebo při řešení „univerzálního“ nástroje), určíme délku záběru pro převod kolo – ozubený hřeben

Délka záběru nového nástroje s ševingovaným kolem:

$$l'_{1n} = \sqrt{r_{h1}^2 - r_{11}^2} - r_{r1} \cdot \sin \alpha_{\varepsilon 1} + \frac{(\sqrt{r_{hn}^{\prime 2} - r_{0n}^2} - r_m \cdot \sin \alpha_{\varepsilon n}) \cdot \cos \beta_{01}}{\cos \beta_{on}} - \frac{m_n \cdot \cos \beta_{01} \cdot (\pm \xi_1 \pm \xi_n)}{\sin \alpha_n}$$

Kde ξ_n je součinitel korekce nástroje. Stejná rovnice platí pro pastorek $l'_{2,n}$; za hodnoty kola (1) dosadíme hodnoty pastorku (2).

ξ_1, ξ_n součinitelé korekce kola a nástroje. Znaménko plus platí pro posunutí od středu, minus ke středu. Nevyjde-li nerovnost, vzniká nebezpečí interference spoluzabírajících kol. Pak je nutno změnit korekci ξ'_{bn} či zvětšit počet zubů z_n a průměr d'_{hn}

Hloubka řezných drážek:

$$h_{rd} = 0,25 + m_n \cdot (\xi'_{bn} + \xi''_{bn}) \cdot \sin \alpha_n$$

Průměr odlehčovacích otvorů:

$$d_{op} = S'_{pmn} + (2až2,5)h_{rd}$$

Pro zaručení pevnosti zubu je nutno dodržet $d_{op} < \frac{d'_{opn} \cdot \operatorname{tg} \beta_n}{d_m}$

Roztečná kružnice otvorů:

$$d_{opn} = d'_{pn} - \sqrt{d_{op}^2 - (S'_{pmn} \cdot \cos \beta_n)^2}$$

Díry se vrtají pod úhlem asi o 1° menším než sklon β_n :

$$\operatorname{tg}\beta_{op} = \frac{d'_{opn} \cdot \operatorname{tg}\beta_n}{d_m}$$

Šířka věnce

Normalizované rozměry viz Norma ÚN 22 2508, 60, 61

$S_{Fn} = 20$ až 25 mm, u diagonálního ševingování musí být širší než ševingované kolo

1.9 Ševingovací stroje

Stroj Raso 200

Raso 200 je stroj firmy SICMAT, která má dlouholeté zkušenosti na trhu ševingovacích a honovacích strojů. Tento stroj je hojně používán v automobilovém průmyslu díky své výkonnosti a tuhosti srovnatelné s většími stroji, avšak při výrazně menších rozměrech. Raso 200, umožňuje ševingování ozubených kol s průměry (6 – 200) mm a moduly (0,8 – 5) mm. Jedná se tedy o zařízení zejména pro automatické převodovky, ozubených kol pro motocykly a čerpadla. [8]



Obr. 3.3.1 Ševingovací stroj Raso 200 [8]

| TECHNICKÉ PARAMETRY | 200/3 | 200/5 (7) |
|---|--------------|------------------|
| Min./Max modul [mm] | 0,8 ÷ 3,5 | 0,8 ÷ 3,5 |
| Min./Max. vzdálenost mezi nástrojem a obrobkem [mm] | 110 ÷ 202 | 110 ÷ 202 |
| Min./Max. průměr nástroje. [mm] | 178 ÷ 245 | 178 ÷ 245 |
| Průměr otvoru pro hřídel [mm] | 63,5÷(100) | 63,5÷(100) |
| Min./Max. šířka nástroje [mm] | 19 ÷ 50,8 | 19 ÷ 50,8 |
| Max. ševingovací dráha | 42 | 100 |
| Oscilace stolu | ± 1,7 | ± 1,7 |
| Instalovaný výkon [KVA]. | 23 | 23 |
| Silové obvody [V] | 400 | 400 |
| (Standardní provedení)Hz | 50 | 50 |
| Pomocné obvody [V] | 24 D.C. | 24 D.C. |

Tab. 3.3.1 Ševingovací stroj Raso 200 [8]

PŘÍSLUŠENSTVÍ RASO 200 CNN [8]

Následující vybavení může být dodáno společně se strojem:

- *Zkosení / odjehlování lineárním nástrojem (SICMAT patent)*
- *Odstřed'ovcí jednotka pro ševingování obrobků*
- *Lisovací jednotka pro ševingování obrobků*
- *Ševingovací frézy*
- *Upínací přípravky*
- *Příslušenství pro upínání obrobku*
- *Identifikace obrobku / měřících stanic (pre / post proces)*
- *Oddělovač třísky*

Stroj Raso 600

Hlavní předností stroje Raso 600, jsou široký rozsah obráběných průměrů, vysoká odolnost proti vibracím, rychlost pracovního cyklu spojená s velikostí

opracovávaného ozubeného kola. V praxi tento stroj disponuje vyztuženou deskou a rámem pro snížení vibrací, koníky pro různé velikosti obráběných částí a nové přímé pohony kinematiky U-osy, což vede ke zrychlení ve fázi polohování. [8]

| TECHNICKÉ PARAMETRY | 600/5 (7) |
|---|------------------|
| Min./Max modul [mm] | 1 ÷ 10 |
| Min./Max. vzdálenost mezi nástrojem a obrobkem [mm] | 230 ÷ 440 |
| Min./Max. průměr nástroje. [mm] | 178 ÷ 254 |
| Průměr otvoru pro hřídel [mm] | 63,5÷(100) |
| Min./Max. šířka nástroje [mm] | 19 ÷ 50,8 |
| Max. ševingovací dráha | 160 |
| Oscilace stolu | ± 1,7 |
| Instalovaný výkon [KVA]. | 26 |
| Silové obvody [V] | 400 |
| (Standardní provedení)Hz | 50 |
| Pomocné obvody [V] | 24 D.C. |

Tab. 3.3.2 Ševingovací stroj Raso 600 [8]



Obr. 3.3.2 Ševingovací stroj Raso 600 [8]

Stroj Hurth ZS 350

Rok výroby 1981

Technické parametry

Max. průměr kola 350 mm

Šířka kola 100 mm

Max. modul 1

Min. modul 8

Hmotnost stroje cca. 6.5 t

Rozměry stroje cca. 5 x 3 x 2.5 m



Obr. 3.3.3 Ševingovací stroj Hurth ZS 350 [9]



Obr. 3.3.4 Ševingovací stroj Hurth ZS 350 [9]

1.10 Honování**Popis metody**

Honování je dokončovací operace používaná v sériové výrobě kalených ozubených kol, jak s vnitřním, tak s vnějším ozubením. Honování se vzhledem ke své technické i ekonomické výhodnosti stalo nedílnou součástí výroby vysokorychlostních

převodů zejména v automobilovém průmyslu. Struktura povrchu honovaného kola, která připomíná rybí kostru, usnadňuje vytváření filmu (tenké vrstvy) maziva a tím pozitivně ovlivňuje hlučnost převodovky.

Často je označováno jako ševingovací broušení a provádí se buď na ševingovacích strojích nebo na speciálních strojích.

Výhody

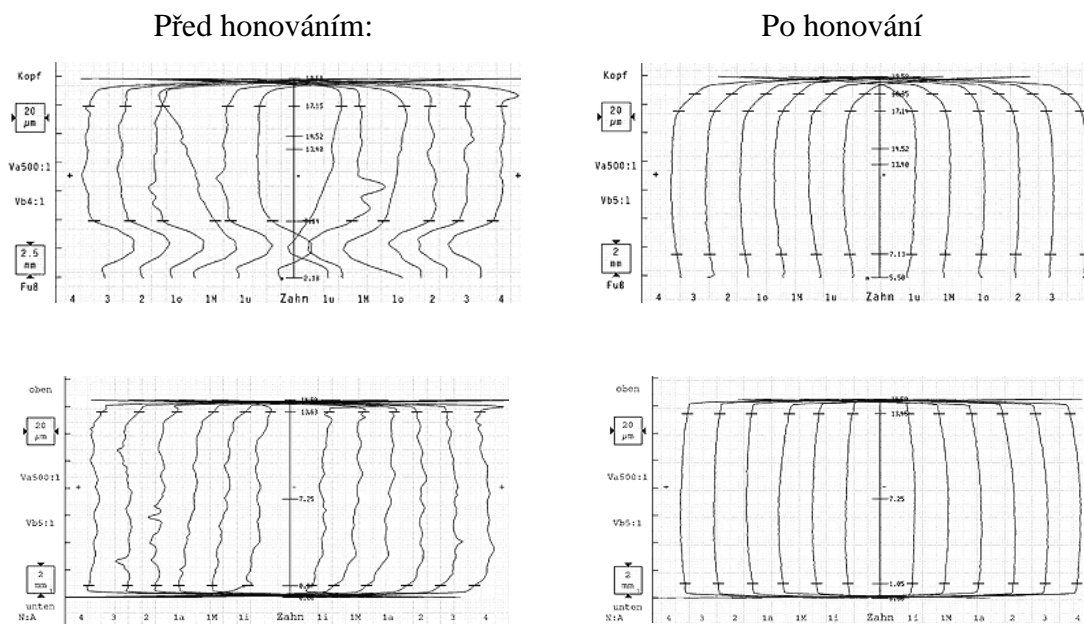
- Velmi tichý převod
- Vynikající vlastnosti opotřebení
- Zlepšení geometrického tvaru zubu



Obr. 3.4.1 Honovací nástroj [7]

Nástroj:

Nástrojem bývá ocelové kolo, které má zuby pokryté jemnou vrstvou brusiva nebo kolo vyrobené z plastu a brusiva. Kvalita povrchu po honování bývá často kvalitnější než po broušení, které naopak zajišťuje přesnější parametry kola jako rovinnost, úchytky profilu apod. Řezná rychlost se pohybuje mezi (0,5 – 10) m/s. Vzhledem k těmto nižším rychlostem téměř nedochází k tepelnému zatížení kola. Nedochází k žádnému pálení (hoření) materiálu. Důležitou výhodou těchto nízkých řezných rychlostí je směřování zbytkového napětí (1.000 N/mm² až 1.600 N/mm²) v tlaku do povrchu zubu. Toto má za následek vyšší odolnost proti opotřebení a delší životnost zařízení.



Obr. 3.4.2 Čelní ozubení [7]

Stroj HMX-400

HMX-400 je zařízení vhodné pro použití v sériové výrobě kol pro automobilový, motocyklový a letecký průmysl. Stroj jsou určen pro dokončování čelních a šikmých ozubení. 9osý stroj je řízen systémem SINUMERIK 840D který se vyznačuje kompaktností, všestranností a efektivitou. Umožňuje konvenční dvoubokké (double-flank) honování, synchronní jedno či dvoubokké honování. [7]



Obr. 3.4.3 Honovací stroj HMX-400 [7]

TECHNICKÉ PARAMETRY

| | |
|---------------------------------|-------------------|
| Rychlost otočné jednotky osy A1 | 0-112°/s |
| Rychlost otočné jednotky osy B1 | 0-12°/s |
| Přísuvu suportu (X-osa) | -180/+5 mm |
| Rychlost suportu (X-osa) | 0-7500 mm/min |
| Přísuvu suportu (Z1-osa) | -400/+100 mm |
| Rychlost suportu (Z1-osa) | 0-8000 mm/min |
| Přísuvu suportu (Z2-osa) | -627/-87 mm |
| Rychlost suportu (Z2-osa) | 0-50 m/min |
| Otáčky nástroje (C1-osa) | 0-1500 1/min |
| Otáčky obrobku (C2/C3-osy) | 0-6000/9000 1/min |
| Max. honovací síla (zátěž) | 1000 N |

Tab. 3.4.1 Honovací stroj HMX-400 [7]

5 BROUŠENÍ

Jedná se o jednu z nejrozšířenějších dokončovacích operací při výrobě ozubených kol. Tyto jsou broušena:

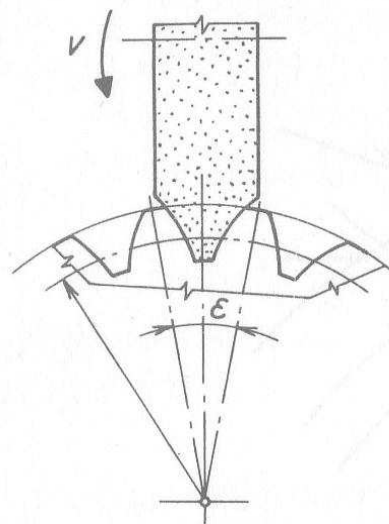
Dělicím způsobem

- Tvarovými kotouči
 - Jeden kotouč
 - Dva kotouče
- Odvalem boku zubu
 - MAAG
 - Niles
 - Reishauer

5.1 Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči**Jeden kotouč s profilem ve tvaru zubové mezery**

Brusný kotouč má tvar zubové mezery a brousí oba boky zubové mezery současně. Obrobek, který je upnutý v dělicím zařízení, se pootočí o jednu zubovou

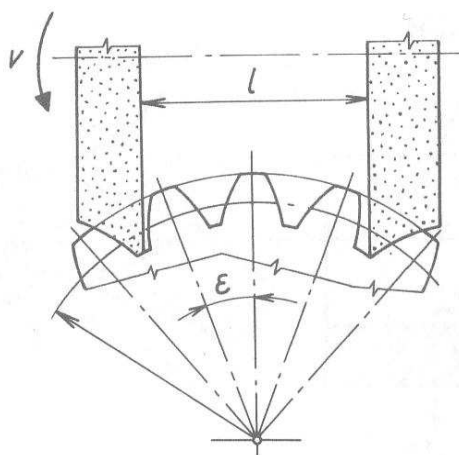
rozteč jakmile je vybroušena zubová mezera. Jedná se o méně přesnou metodu, jelikož je závislá na přesnosti dělicího zařízení. Další nevýhodou je poměrně rychlé a nerovnoměrné opotřebení brusného kotouče, což je způsobeno výrobními nepřesnostmi při frézování ozubení s přídavkem na broušení. Z kinematického hlediska odpovídá tento způsob frézování ozubení pomocí kotoučové frézy.



Obr. 5.1 Broušení zubů tvarovým kotoučem [3]

Dva kotouče s profilem ve tvaru boku zubu

V porovnání s broušením kotoučem ve tvaru zubové mezery je tento způsob přesnější a výkonnější. Brusné kotouče mají tvar boku zubu (jeden má tvar levého boku zubu a druhý pravého) a jsou od sebe vzdáleny o hodnotu " l ". Tato je závislá na počtu zubů a modulu.



Obr. 5.2 Broušení zubů dvěma tvarovými kotouči [3]

5.2 Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu

5.2.1 Systém Maag

Broušení Maag systémem je prováděno dvěma tenkostěnnými talířovými kotouči, které jsou:

- a) Rovnoběžné
- b) Vzájemně skloněné pod úhlem 2α

Ad a) Brusné kotouče při tomto způsobu vytvářejí v podstatě plochy zubů hřebene, jehož úhel záběru α jehož velikost je rovna 0° . Valivá přímka nástroje se odvaluje po základní kružnici ozubeného kola. Broušené ozubené kolo a brusný kotouč se dotýkají v jednom bodě, který se podvalováním přemísťuje po úsečce. Dokončený povrch nese podélné rovnoběžné stopy => malá dráha, která je potřebná pro obroušení plochy zubu.

Ad b) Brusné kotouče jsou při tomto způsobu vzájemně nakloněny úhlem 2α , tedy o dvojnásobný úhel záběru, jehož velikost je rovna buď 15° nebo 20° . Mluvíme tedy o tzv. 15° a 20° způsobu. Valivá přímka nástroje se odvaluje po roztečné kružnici. Pro tento způsob broušení jsou možné dva pracovní postupy:

- Broušení hranou kotouče
- Broušené ozubené kolo a brusný kotouč se dotýkají ve dvou bodech, které se postupně přemísťují po oblouku kotouče
- Velká dráha, která je potřebná pro obroušení plochy zubu
- Při $m > 9$ mm brousí oba kotouče v jedné zubové mezeře
- Broušení plochou kotouče
 - o Podélná osa brusného kotouče je mírně vychýlená vůči podélné ose ozubeného kola.
 - o Dosahuje se vyšší jakosti povrchu
 - o Dokončený povrch nese podélné rovnoběžné stopy
 - o Tento způsob je produktivnější než broušení hranou kotouče
 - o Malá dráha, která je potřebná pro obroušení plochy zubu.

Orovnávání kotoučů

Kontrola polohy funkčních okrajů a jejich orovnávaní je prováděno automaticky. Pokud kontrolní zařízení detekuje nadměrnou odchylku, pak jsou kotouče posunuty po svých osách o patřičnou vzdálenost a následně zaujmou správnou polohu.

5.2.2 Systém Niles

Systém Niles spočívá v použití jednoho brusného kotouče, jehož profil je shodný s profilem zubu ozubeného hřebene. (obr). Broušení probíhá postupně od paty zubu k hlavě zubu dělicím pohybem, který vykonává obrobek. Nástroj a obrobek se dotýkají bodově. Tento bod se během odvalování pohybuje po úsečce => malá dráha nástroje. Nástroj koná rotační pohyb a současně přímočarý vratný pohyb ve směru osy obrobku. Obrobek koná odvalovací pohyb, který vzniká jeho pohybem kolem své osy za současného posuvu ve směru osy nástroje. U starších brusek docházelo k chybě rozměru přes zuby, která byla způsobena úbytkem kotouče mezi orovnávaním a nemožností obtažení zcela stejného profilu. U nových brusek byl tento problém odstraněn. Řídicí systém skokově rozděluje broušení tak, že jsou po skončení broušení všechny zuby broušeny stejným počtem třisek. Skoková chyba mezi prvním a posledním zubem je tímto eliminována.

Orovnávání brusných kotoučů

Orovnávací zařízení často bývá součástí stroje. Jako orovnávací zařízení je vždy používán diamant. Orovnávací soustava se skládá z 3 diamantů:

- 2 x boční diamanty
 - Upravují profil kotouče tvořený dvěma různoběžkami se středovým úhlem
 - 30° pro úhel záběru 15°
 - 40° pro úhel záběru 20°
 - Boční diamanty je možné nastavit pomocí stavitelných závitů, což umožňuje použití pro různé šířky kotoučů.
- 1 x středový diamant
 - Vytváří plošku na středu kotouče. Čím větší modul kola, tím je větší ploška na středu.

U starších brusek bylo přestavování pro jednotlivé úhly záběru problematické. U moderních brusek je přestavení a kontrola polohy všech tří diamantů vzhledem k nástroji automatická.

5.2.3 Systém Reishauer

Systém Reishauer spočívá v broušení odvalovacím způsobem pomocí šnekového brousícího kotouče (jednochodý nebo dvouchodý), který vytváří požadovaný profil ozubení. Tento systém je podobný odvalovacímu frézování, ale nástroj je zde brusný šnek. Nejčastěji se tento systém používá při broušení malých modulů. Řezný pohyb je vykonáván rotací nástroje. Obrobek se během jedné otáčky nástroje pootočí o jednu zubovou rozteč. Tímto se plynule obrousí všechny zuby obrobku. Podmínkou je synchronní běh obrobku a nástroje.

Rozdělení

- S kleštinou
 - Otáčky nástroje a obrobku je mechanicky spřažen.
 - Nejčastěji používaný způsob (až v 90 % případů)
 - Lepší rovinnost a evolventa
 - vizuálně horší povrch zubu
- Bez kleštiny
 - Obrobek je volně hnán nástrojem
 - Vizuálně nejlepší povrch zubu
 - Nerovnoměrný úběr materiálu (z jedné strany je větší než z druhé)
 - používá v kombinaci s kleštinou (hrubování) a poslední 0,01 mm bez kleštiny => nejlepší výbrus zubu bez zhoršení ostatních parametrů

Orovnávání

Orovnávací zařízení je přenosné. Jedná se buď o stacionární diamant nebo rotující diamantovou kladku. Brousící stroj koná kolmý pohyb kolmo ke kotouči

pomocí speciální ližiny. Na této je upnuto samotné orovnávací zařízení. Tímto je zajištěna synchronizace otáček s posuvem.

5.2.4 Brusné materiály

Pro nástroje orovnatelné – slinutý korund (SG)

Pro nástroje neorovnatelné – s povlakem z kubického nitridu boru (CBN)

5.3 Dosahované přesnosti

| Způsob výroby | Přesnost rozměrů (IT) | Jakost obrobené plochy (Ra) | Sklon zubů |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------|
| Ševingování | 4 až 6 | 0,4 až 0,8 | Přímé i šikmé |
| Honování | 5 až 6 | až 0,2 | Přímé i šikmé |
| Broušení odvalovacím kotoučem | 2 až 4 | 0,2 až 0,8 | šikmé |
| Broušení tvarovým kotoučem | 4 až 6 | 0,2 až 0,8 | přímé |

Tab. 5.1 Dosahované přesnosti

6 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala zejména dokončovací metodou ozubených kol, ševingováním a současně zde byly zmíněny další druhy dokončovacích operací, jako broušení a honování. Při stále vyšších požadavcích na přesnosti výroby, jsou v současné době dokončovací operace nedílnou součástí výrobního procesu ozubených kol.

Ševingování ozubených kol je používán zejména v sériové a hromadné výrobě u nekalených nebo cementovaných ozubených kol. Ševingováním se docílí zlepšení kvality povrchu zubu, životnosti a snížení hlučnosti ozubených kol. Hlavní výhodou ševingování je vysoká produktivita. Jako materiál ševingovacího kola se používají rychlořezné oceli (wolfram-molybdenové) s vysokou odolností proti opotřebením.

Jako zvláštní druh ševingování, ševingovací broušení, bývá často označována dokončovací operace honování. Honování se používá v sériové výrobě kalených ozubených kol a to zejména u vysokorychlostních převodů pro automobilový průmysl. Honované převody jsou velice tiché, mají zlepšený geometrický tvar zubu a vynikající vlastnosti opotřebením.

Nejrozšířenější dokončovací metodou ozubených kole je odvalovací broušení, které se používá v hromadné a sériové výrobě. Broušením je možné dosáhnout nejvyšší přesnosti ozubeného kola, což je však závislé na vhodně zvolených pracovních podmínkách.

7 POUŽITÉ SYMBOLY

| | |
|--------------------------|---|
| m_{ε} | čelní modul [mm] |
| d_{r1} | průměr roztečné kružnice kola [mm] |
| d_{r2} | průměr roztečné kružnice pastorku [mm] |
| $A_{1,2}$ | vzdálenost os převodu [mm] |
| $A_{1,2v}$ | vzdálenost os převodu pro korigovaná kola [mm] |
| d_{v1} | průměry valivé kružnice kola [mm] |
| d_{v2} | průměry valivé kružnice pastorku [mm] |
| d_{h1} | průměr hlavové kružnice kola [mm] |
| d_{h2} | průměr hlavové kružnice pastorku [mm] |
| $h_h = m_n$ | výška hlavy zubu [mm] |
| d_{p1} | průměr patní kružnice kola [mm] |
| d_{p2} | průměr patní kružnice pastorku [mm] |
| β_{01} | úhel sklonu zubů kola na základním válci [mm] |
| α_{ε} | úhel základního profilu v čelní rovině kola [mm] |
| d_{01} | průměr základní kružnice kola [mm] |
| d_{02} | průměr základní kružnice pastorku [mm] |
| $l_{1,2\varepsilon}$ | délka záběru spolu zabírajících kol v čelní rovině [mm] |
| $\alpha_{\varepsilon v}$ | úhel záběru [°] |
| β_n | úhel sklonu zubu nástroje na roztečném válci [°] |
| β_s | úhel zkřížení os [°] |
| β_{on} | úhel sklonu zubů na základním válci [°] |
| $m_{\varepsilon n}$ | čelní modul nástroje [mm] |
| d_{max} | největší průměr nástroje se zřetelem na stroj [mm] |
| d_{rn} | průměr roztečné kružnice [mm] |
| $\alpha_{\varepsilon n}$ | úhel základního profilu v čelní rovině [°] |
| d_{on} | průměr základní kružnice [mm] |
| h_{pn} | výška paty zubu nového nástroje [mm] |
| ξ''_{bn} | součinitel korekce přeastření[-] |

| | |
|-----------------|---|
| d' | průměr patní kružnice [mm] |
| h'_{hn} | výška hlavy zubu nového nástroje [mm] |
| ξ'_{bn} | součinitel posunutí pro ostří [-] |
| ξ_{on} | součinitel posunutí pro zaručení evolventního profilu [-] |
| d'_{hn} | průměr hlavové kružnice nového nástroje [mm] |
| d''_{hn} | minimální průměr hlavové kružnice (po přeastření) [mm] |
| $\alpha_{hcč}$ | úhel záběru na hlavové kružnici v čelní rovině [°] |
| $S'_{hcč}$ | tloušťka zubu na hlavové kružnici nového nástroje v čelní rovině [mm] |
| t_{pn} | rozteč zubu na patní kružnici [mm] |
| $\alpha_{pcč}$ | úhel záběru na patě zubu [°] |
| $S'_{pcč}$ | tloušťka zubu na patní kružnici nového nástroje v čelní rovině [mm] |
| S'_{pmn} | šířka zubní mezery na patní kružnici před broušením [mm] |
| ΔS_{br} | přídavek na broušení na bok zubu [mm] |
| l'_{ln} | délka záběru nového nástroje s ševingovaným kolem [mm] |
| ξ_n | součinitel korekce nástroje [-] |
| ξ_1 | součinitel korekce kola [-] |
| ξ_n | součinitel korekce nástroje [-] |
| h_{rd} | hloubka řezných drážek [mm] |
| d_{op} | průměr odlehčovacích otvorů [mm] |
| d_{opn} | roztečná kružnice otvorů [mm] |
| S_{Fn} | šířka věnce [mm] |

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SCHMID, E. a kol. Příručka řezných nástrojů. 2., dopln. vyd. Praha: SNLT, 1974. 578 s.
- [2] ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
- [3] HALÁSEK, P a kol.: Strojírenská technologie 3. Praha: Nakladatelství technické literatury 1986
- [4] HUMÁR, A. Technologie I. – 1. Část [online]. Technologie pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003.
Dostupné z WWW: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/>
- [5] Humár, A. Technologie I. – 2. Část [online]. Technologie pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003.
Dostupné z WWW: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/>
- [6] Samputensili, Výrobce ozubárenské techniky [online]. c2006 [cit. 2011-08-20].
Dostupné z WWW:
<<http://www.samputensili.com/processes/shaving/13051.html>>
- [7] Fässler, Výrobce ozubárenské techniky [online]. c2011 [cit. 2011-08-20]. Dostupné z WWW:
<http://www.faessler-ag.ch/en/process_honing.php>
- [8] Sicmat, Výrobce ozubárenské techniky [online]. c2008 [cit. 2011-08-20]. Dostupné z WWW:
<<http://www.sicmat.it/web/guest/products> >
- [9] German-traders, Prodejní portál [online]. c2003-2008 [cit. 2011-08-20]. Dostupné z WWW: <http://www.german-raders.com/products/metal_industry/gear_cutting_machines/705011-gear-shaving-machine-hurth.html>
- [10] Wikipedia, Otevřená encyklopedie [online]. c2011 [cit. 2011-08-20]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ozuben%C3%A9_kolo>