

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF MACHINING TECHNOLOGY

Moderní metody dokončování ozubení

Modern methods in cog - wheel finishing

bakalářská práce

bachelor's thesis

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Nikl

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Nikl Michal

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Moderní metody dokončování ozubení.

v anglickém jazyce:

Modern methods in cog - wheel finishing.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rešerše literatury k danému tématu.
2. Používané stroje - popis.
3. Nástroje.
4. Řezné podmínky, řezná kapalina.
5. Dosahované výsledky a porovnání s ostatními metodami dokončování ozubení.
6. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Přehled způsobů dokončování ozubení, řezných podmínek, kapalin, dosahovaných výsledků se vzájemným porovnáním.

Seznam odborné literatury:

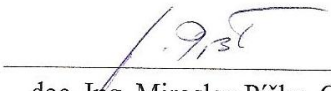
1. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
2. ZEMČÍK, O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6
3. KÖNIG, W. Fertigungsverfahren band 1, 2, 3, 4, 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. ICHTENAUER, G. Hurth Zahnradschaben. 1. Aufl. München: Hurth Zahnradfabrik, 1994. 581 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, CSc.

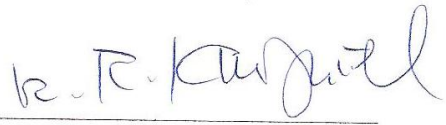
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 10.11.2008

L.S.


doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu




doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

**LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO**

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Michal Nikl

Bytem: Švabinského 754, Polička 57201

Narozen/a (datum a místo): 30.12 1986 v Brně

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství

se sídlem Technická 2896/2, 616 69 Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

☐ disertační práce

☐ diplomová práce

☒ bakalářská práce

☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Moderní metody dokončování ozubení

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Ústav: Ústav strojírenské technologie

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v *:

☒ tištěné formě – počet exemplářů 2

☒ elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 22.4.2003


.....
doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.


.....
Autor

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku dokončovacích metod ozubení. Práce obsahuje rozbor jednotlivých metod dokončování ozubení včetně strojů, nástrojů a dosahovaných přesností. Obsahem práce je také rozbor řezného prostředí a vhodnost řezných kapalin k jednotlivým metodám. Závěrem práce je celkové zhodnocení.

Klíčová slova

Ozubené kolo, ševingování, lapování, honování, broušení, ševingovací stroj, lapovací stroj, honovací stroj, brousící stroj, ševingovací nástroj, honovací nástroj, lapovací nástroj, brusný kotouč, orovnávací zařízení, řezná kapalina.

ABSTRACT

This thesis is aimed at finishing gearing method problem. Thesis contains particular finishing methods analysis including machines, tools and accuracy achievements. There is cutting medium analysis and suitability of cutting fluids to each method. In resume there is general evaluation.

Key words

Gearwheel, shaving, lapping, honing, grinding, shaving machine, lapping machine, honing machine, grinding machine, shaving tool, lapping tool, honing tool, grinding wheel, trueing apparatus, cutting fluid.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Níkl, Michal. *Moderní metody dokončování ozubení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. OSKAR ZEMČÍK, CSc.

Prohlášení

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

Datum 26. 05. 2009

Podpis bakaláře

.....
Jméno a příjmení bakaláře

Poděkování

Děkuji tímto Ing. OSKAR ZEMČÍK, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Obsah

Abstrakt	6
Prohlášení	7
Poděkování	8
1 ÚVOD	11
1.1 Rozdělení ozubených kol	12
2 ševingování	13
2.1 Rozdělení ševingování v závislosti na kinematických poměrech	15
2.2 Dosahovaná přesnost	15
2.3 Ševingovací stroje	15
• Stroje typu RASO od společnosti SCIMAT	15
• Stroj typu S 400 GS společnosti Samputensili	16
3 Honování ozubených kol	17
3.1 Honovací stroje	18
• Honovací stroj HMX-400 společnosti Fässler	18
4 zpevňování	18
5 Párování	19
6 Lapování	20
6.1 Dosahovaná přesnost	22
6.2 Lapovací pasty	22
6.3 Lapovací nástroj	23
6.4 Lapovací stroje	23
• Lapovací stroj pro kuželová kola společnosti KlingelInberg AG	23
• Zaběhávací stroj pro kuželová kola společnosti KlingelInberg AG	23
7 Broušení	25
7.1 Dělicím způsobem	25
7.1.1 Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči	25
• Jeden kotouč s profilem ve tvaru zubové mezery	25
• Dva kotouče s profilem ve tvaru boku zubu	25
7.1.2 Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu	26
7.1.2.1 Systém Maag	26
• Orovnávání kotoučů	27
• Stroje typu Maag	27
7.1.2.2 Systém Niles	29
Orovnávání brusných kotoučů	30
• stroje typu Niles	31
7.2 Broušení odvalovacím způsobem	31
7.2.1 Reishauer	31
• Orovnávací zařízení (Obr. 7.13 a)	33
7.2.1.1 Stroj typu Reishauer	33
• Odvalovací bruska Společnosti LIEBHERR Verzahntechnik GmbH	33
7.3 Přesnost dosahovaná broušením	34
7.4 Brusné materiály	34
7.4.1 Brusné materiály	34
7.4.2 Rozsah použití nástrojů	35
8 Dokončování ozubení na 5-ti osých CNCfrézách	36
8.1 Hlavní výhody této metody	36
8.1.1 Malá zastavovací plocha	36

8.1.2	Laciné nástroje	36
8.1.3	100% definovaná geometrie zubu	36
8.1.4	Přesnost a jakost povrchu	37
8.1.5	Možnost dokončení po tepelném zpracování	37
8.1.6	Malé náklady na měření	38
8.1.7	Univerzálnost	39
8.2	Hlavní nevýhody této metody	39
8.2.1	Nízká produktivita	39
8.2.2	Limit rozměrů nástroje	39
8.2.3	Speciální výbava strojů	40
9	Chlazení systému	40
9.1	Kapaliny pro dokončování ozubení	41
	Příklad řezné kapaliny pro broušení ševingování ozubení	41
	Mobilmet 737	41
10	Závěr	42
11	Seznam použité literatury	44
12	seznam použitých symbolů	46
13	seznam příloh	46

1 ÚVOD

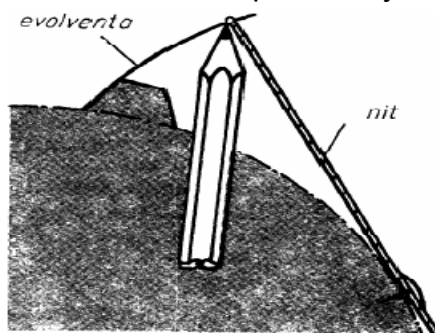
Technologie v obecném pojetí je technický obor, který se zabývá aplikací přírodovědných poznatků při zavádění, zdokonalování a optimalizaci výrobních postupů. Je to slovo řeckého původu, kde část „techné“ znamená dovednost a „logos“ nauka.

Strojírenská technologie jako věda analyzuje výrobní proces do všech podrobností tak, aby byly vytvořeny účelné a ekonomické podmínky pro aplikaci nejnovějších poznatků vědy a techniky ve výrobním procesu a ze všech technických věd má největší význam pro dosažení maximální produktivity a hospodárnosti výroby.

Ve vědním oboru „strojírenská technologie“ stojí na předním místě z hlediska významu i rozsahu aplikací technologie obrábění. Realizace obráběcího procesu se uskutečňuje různými metodami. Tato práce je zaměřena na dokončovací operace při výrobě ozubení.

Aby se zlepšila funkce a prodloužila životnost ozubení, musí mít ozubená kola přesný geometrický tvar a kvalitní povrch. Stopy po nástrojích, které zůstávají na bocích zubů, zvyšují při odvalování kol opotřebení, z čehož plyne snížení účinnosti převodu a zvýšení jeho hlučnosti.

Dokončovací operace při obrábění ozubení mají za cíl zlepšit jakost povrchu zubů a maximálně se přiblížit ideálnímu tvaru jejich profilu. Nejrozšířenějším profilem ozubení je profil evolventní. Evolventní tvar profilu zubu je důležitý k otáčení spolu zabírajících ozubených kol bez rázů, pokud možno bez hluku a tření. Evolventa je křivka, která vznikne odvalováním vlákna nebo přímky po kružnici (obr 1.1). U hřebenu zabírajícím s evolventním ozubeným kolem jsou boky zubů přímé. Ozubení může být též cykloidní, ale toho se ve stavbě strojů používá jen zřídka kvůli složitému způsobu výroby.



Obr. 1.1. Vytvoření evolventní křivky[21]

Při výrobě ozubení se užívá dvou základních způsobů a to dělicí a odvalovací způsob.

Při **dělicím** způsobu mají ostří nástroje tvar konkrétní zubové mezery, která se při obrábění okopíruje do polotovaru. Zakřivení evolvent, ohraničujících zubovou mezeru, závisí na průměru základní kružnice, tedy na modulu, počtu zubů kola a úhlu záběru.

Nejčastěji používaný úhel záběru je 20° , méně rozšířený je 15° , u evolventního drážkování pak 30° .

Nástroje pro tento způsob se dodávají v sadě a každý je pro určitý počet zubů obrobku např. rozsah 12-13, 14-16, 17-20, 21-25, 26-34, 35-54, 55-134, 135 – nekonečno. Čím větší je počet zubů obrobku, tím více se tvar nástroje blíží tvaru hřebenu (tzn. zmenšuje se zakřivení).

Tento způsob je dnes již málo používaný z důvodů nízké produktivity a vysokým nárokům na přesnost dělicího zařízení, protože hlavní řezný pohyb zde není mechanicky spřažen s otáčením obrobku. [2]

Při **odvalovacím** způsobu výroby ozubených kol mají ostří nástrojů tvar obrysu ozubeného kola nebo ozubeného hřebene o stejném modulu, jako je modul obráběného kola. Při práci konají nástroj a obrobek odvalovací pohyb, to znamená, že spolu zabírají jako dvě ozubená kola nebo hřeben s ozubeným kolem.

Kromě odvalovacího pohybu musí ovšem nástroj konat ještě hlavní pohyb pro obrábění. Posuv a přísuv mohou podle druhu obrábění konat jak nástroj, tak obrobek.

Při odvalovacím způsobu je tedy možné jedním nástrojem vyrobit téměř libovolné kolo se stejným modulem a úhlem záběru, jaký má nástroj, pokud to umožňují další technologické aspekty, jako je výjezd nástroje ze záběru a pod. Výjimkou je obrábění vnitřního ozubení metodou Fellows, kdy počet zubů nástroje musí být v určitém poměru k počtu zubů obrobku (asi $1/3$).

1.1 Rozdělení ozubených kol

Ozubená kola jsou strojní součásti určené k plynulému přenášení otáčivého pohybu a kroutícího momentu. Především se používají pro převody s pevně daným převodovým poměrem a s malou vzdáleností os hřídelů.

Ozubená kola se většinou rozdělují podle dvou kritérií. První podle vzájemné polohy os obou hřídelů a druhé podle průběhů zubů.

Dělením podle vzájemných os hřídelů rozeznáváme soukolí pro hřídele s rovnoběžnými, různoběžnými a mimoběžnými osami. Pro rovnoběžné osy hřídelů jsou čelní soukolí s vnějším nebo vnitřním ozubením. Jsou-li osy hřídelů různoběžné, používá se kuželové soukolí. U tohoto soukolí bývá nejčastěji úhel hřídelů 90° , obecně však tento úhel může být $\neq 90^\circ$. U hřídelů s mimoběžnými osami se používají šroubová soukolí válcová, soukolí šneková nebo soukolí hypoidní.

Jedná-li se o rozdělení tvaru zubu, pak čelní kola mohou být s přímými, šikmými, šípovými a obloukovými zuby. Kola kuželová mívají přímé, šikmé, zakřivené a šípové zuby.

2 ŠEVINGOVÁNÍ

Ševingování je progresivní způsob dokončování ozubených kol, který se používá hlavně v sériové výrobě u nekalených ozubených kol. Kola mohou být po ševingování ještě kalena. Kalí se speciálními způsoby, obvykle do solí, bez opalu a deformací na kontinuálních linkách.

Podstata tohoto dokončování zubů spočívá v ubírání velmi jemných vláskovitých třísek o tloušťce 0,005 až 0,001 mm, čímž se zlepšuje profil zubů, zvyšuje jakost jejich povrchu a snižují úchyly v zubových roztečích. Ubírání třísek je způsobeno ostrými hranami (břity) radiálních drážek na povrchu zubů nástroje. Nástroj má tvar ozubeného kola nebo ozubené tyče (hřebenu).

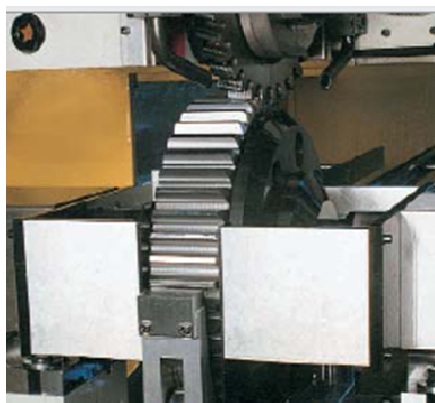
Nejvíce je rozšířeno ševingování nástrojem ve tvaru ozubeného kola (obr 2.1).



Obr 2.1 Ševingovací kolo[14]

Hlavní výhodou tohoto způsobu ševingování, je jednodušší a levnější výroba ševingovacího kola než hřebenu. Mimo to umožňuje ševingovací kolo odvádět lépe třísku a dovoluje obrábět kola jak s vnějším, tak i s vnitřním ozubením. Nástroj je ozubené kolo s korigovanými zuby, na jehož povrchu jsou radiální úzké drážky s ostrými hranami. Drážky mají (podle modulu) hloubkou 0,6 až 1 mm a šířku 0,25 mm. Rozteč drážek je u středních modulů 0,75 mm.

Při ševingování je nástroj s obrokem v záběru bez vůle. Záběr ševingovacího kola (hnací kolo) s obráběným kolem (hnané, brzděné kolo) lze modelovat jako záběr šroubového válcového soukolí, pro které platí kinematické závislosti šroubového pohybu. Jedno z kol vykonává navíc vratný posuvný pohyb (u menších kol to je obráběné kolo, u větších ševingovací kolo). Obvodová rychlost se pohybuje v rozmezí $v_n = 60 \div 140 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.



Obr 2.2 Záběr obráběného kola s kolem ševingovacím[20]

Nástroj pro ševingování čelních ozubených kol s přímými zuby má šikmé zuby (úhel stoupání šroubovice β_n). Pro dokončování ocelových kol jsou zuby nakloněné pod úhlem 15° a pro dokončování litinových kol mají zuby poněkud menší úhel až 10° .

Pro dokončování šikmých zubů mívá ševingovací nástroj buď přímé, nebo šikmé zuby, které však mají jiné stoupání než zuby obráběného kola. Nikdy nesmí být osa obráběného kola rovnoběžná s osou nástroje. Úhel γ , který svírají tyto osy, má být asi 15° při obrábění oceli a kolem 10° při obrábění litiny. Tento úhel se spočítá ze vztahu:

$$\gamma = \gamma_k \pm \gamma_s \quad (2.1)$$

Kde: γ_k úhel sklonu zubů obráběného kola
 γ_s úhel sklonu zubů ševingovacího nástroje.

Kladné znaménko platí pro stejný směr sklonu zubů (obě kola pravá nebo levá) a záporné znaménko pro různý směr sklonu zubů. Toto naklonění os ozubeného kola a nástroje je předpokladem pro správnou práci nástroje, neboť způsobuje podélné klouzáni zubů ševingovacího nástroje podél zubů obráběného kola.

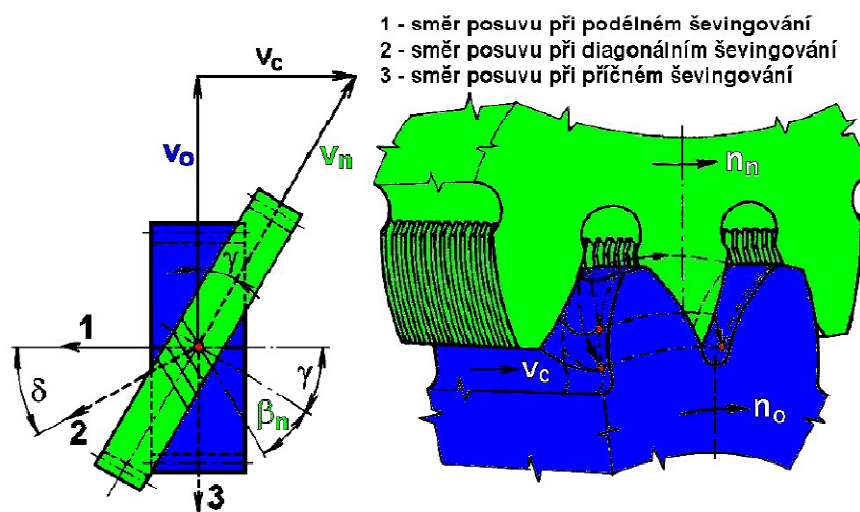
Ševingovací hřeben lze považovat za část ozubeného věnce s nekonečně velkým poloměrem, který se na rozdíl od ševingovacího kotouče skládá z destiček, které tvoří jednotlivé zuby. Tím se umožňuje výměna jednoho nebo několika zubů při zlomení nebo otupení. Každý zub je opatřen stejně jako ševingovací kotouč drážkami.

Pro ševingování všech druhů ozubených kol se šikmými zuby se doporučuje volit úhel sklonu zubů ševingovacího hřebenu k ose hřebenu rovný nule a drážky uspořádat kolmo na patu zubů hřebenu. Při ševingování přímých zubů se doporučuje úhel sklonu zubů hřebenu volit 25° a pro směr drážek zubů volit sklon v úhlu 45° k patě zubů.

Ševingovací hřeben koná podélný vratný posuvný pohyb. Obráběné kolo se upne v hrotech hlavy stroje, kterou lze nastavit pod potřebným úhlem ke směru pohybu stolu. Obráběné kolo koná posuv do záběru. Aby opotřebení hřebenu bylo rovnoměrné po celé jeho šířce, dostává obráběné kolo po každém podélném zdvihu od zvláštního ústrojí též příčný posuv vzhledem k hřebenu.

2.1 Rozdělení ševingování v závislosti na kinematických poměrech

- ševingování podélné (posuvový pohyb je rovnoběžný s osou obráběného kola)
 - ševingování diagonální (osa obráběného kola svírá se směrem posuvového pohybu úhel δ , $0^\circ < \delta < 45^\circ$). Tento způsob je vhodný zejména pro úzká kola.
 - ševingování diagonálně příčné ($45^\circ < \delta < 90^\circ$),
 - ševingování příčné ($\delta = 90^\circ$)
- [4]



Obr. 2.1.1 Princip ševingování[4]

2.2 Dosahovaná přesnost

Ševingováním lze dosáhnout čtvrté i vyšší třídy přesnosti. Přesnost ševingovaných kol nezáleží pouze na dobrém teoretickém a praktickém zvládnutí této metody. Hlavně závisí na přesném hrubování. Ševingováním se zvyšuje přesnost evolventy ale chyby rozteče, dělení a házení se zvýší minimálně.

2.3 Ševingovací stroje

Ševingovací stroje jsou z pravidla konstruovány tak, že nástroj vykonává pouze rotační pohyb a všechny ostatní pohyby vykonává stůl s obrobkem. Některé stroje mají možnost i dalších přídavných pohybů stolu, díky nimž mohou vytvářet podélnou modifikaci zubu, která má snížit hluk.

• Stroje typu RASO od společnosti SCIMAT

Stroje RASO 200 CNC a RASO 400 CNC se vyrábí ve dvou velikostech pro obrobky do průměru 200 a 400 mm. Konstrukce stroje je řešena s ohledem na tuhost a co nejkratší kinematické řetězce. Zaoblení či úkosu se dosahuje oscilací stolu, aniž by bylo nutné vytvářet složitou kinematiku uvnitř ševingovací hlavy.

CNC řízení má dle úkolu obrábění variabilitu od 3 do 7 řízených os. Stroj je možné vybavit automatickým podáváním obrobků. Osa Z pro radiální přísuv

ševingovacího nástroje k ozubení má u menšího stroje RASO 200 vyklonění pod úhlem 30°. Typ RASO 202 má upravené upínání obrobků na dva koníky pro jejich rychlou výměnu. [1]



Obr. 2.3.1 Ševingovací stroj RASO 400 CNC[1]

- **Stroj typu S 400 GS společnosti Samputensili**

Ševingovací stroj S 400 GS jsou čtvrtou generací svého druhu a stanovuje nové standardy, pokud jde o přesnost, spolehlivost, přizpůsobivost, snadnost operace a produktivitu. Pohyb nástroje a obrobku je číslicově řízený a oba pohyby jsou vytvářené stejným motorem. Všechny pohyby jsou ovládány pomocí lineárních a rotačních digitálních pohonů. Integrované měřicí zařízení automaticky kontroluje kvalitu prvních zubů, aniž by se musel obrobek uvolnit z upnutí a plýtvat tak zbytečně časem.

Nově mají stroje S 400 GS k dispozici jedenáctou CNC osu. Tato osa umožňuje obrobení větších šířek ozubení obráběných kol a zároveň zvýšení jakosti povrchu. [14]



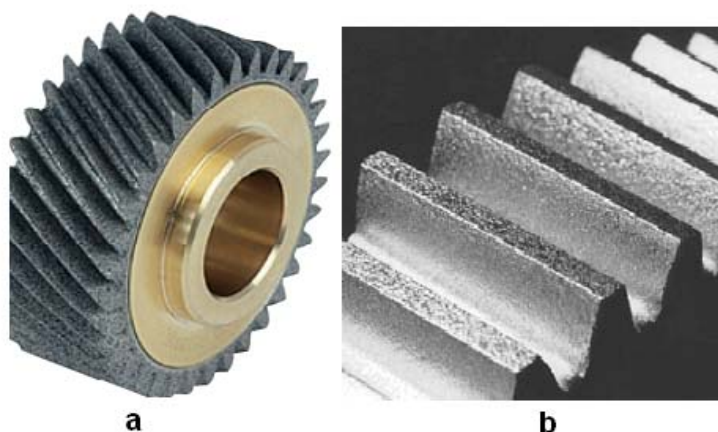
Obr. 2.3.2 Ševingovací stroj S 400 GS[14]

3 HONOVÁNÍ OZUBENÝCH KOL

Honování je dokončovací operace, která při sériové výrobě čelních kol s vnitřním a vnějším ozubením menších průměrů navazuje na ševingování a kalení nebo kalení a broušení globoidním šnekem.

Tento způsob bývá často označován jako brousící ševingování. Požívá se výhradně u kalených kol a to pro zlepšení geometrie ozubení a jakosti povrchu. Na funkčních plochách ozubení lze touto technologií dosáhnout drsnosti až $Ra\ 0,2\ \mu m$. Dále se zvyšuje účinnost převodu, zvětší se pásmo dotyku na bocích zubů, sníží se hlučnost a nebezpečí pettingu. Provádí se na stejných strojích jako ševingování (výjimečně i na speciálních strojích).

Nástrojem může být ozubené kolo vyrobené ze směsi plastu a brusiva (obr. 3.1 a) nebo ocelové ozubené kolo, jehož zuby jsou pokryty tenkou vrstvou diamantového brusiva, vázaného pryskyřičným nebo kovovým pojivem (obr. 3.1 b). Výsledky honování často předčí broušení z hlediska drsnosti povrchu, naopak broušení je přesnější z hlediska dalších parametrů – úchylek profilu, rovinnosti, úchylek sousedních roztečí apod., které se honováním ovlivňují těžko.



Obr. 3.1 Nástroje na honování ozubených kol[17]

Řezná rychlost je v porovnání s broušením velmi malá a leží někde mezi $0,5\div 10\ m\cdot s^{-1}$. Vzhledem k této řezné rychlosti nedochází v soustavě nástroj-obrobek k vysokým teplotám.

3.1 Honovací stroje

- **Honovací stroj HMX-400 společnosti Fässler**

Honovací stroj HMX-400 se používá pro tvrdé dokončování ozubených kol v sériové výrobě. HMX-400 obsahuje řídicí systém SIEMENS SINUMERIK 840D. Stroj umožňuje dokončení čelních ozubených kol, hřídele s ozubením a kola s vnitřním ozubením. Hlavní využití stroje je v automobilovém průmyslu. [17]



Obr. 3.1.1 Honovací stroj HMX-400[17]

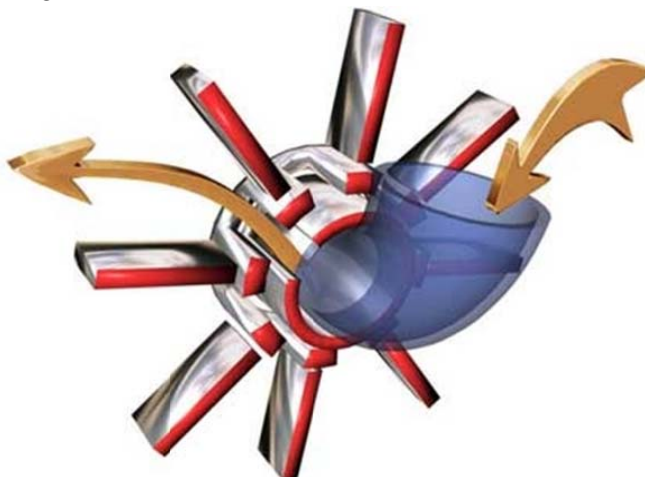
4 ZPEVNĚOVÁNÍ

Zpevňováním se nazývá zlepšení jakosti povrchu zubu u nekaleného kola. Provádí se válcováním povrchu zubů při rotaci obráběného kola, přitlačovaného do záběru s kaleným ozubeným kolem, s mazáním, ale bez brusiva. Zpevňováním se dosáhne hladkého a lesklého povrchu, ale nedosáhne se tím zpřesnění profilu a roztečí. To se vysvětluje nerovnoměrností klouzání v různých bodech profilu při záběru. Z teorie ozubení je známo, že při záběru je klouzání na roztečných kružnicích rovno nule, ale roste k patě a vrcholu zubu. Právě proto nastává nerovnoměrné opotřebení povrchu zubů. Nejmenší opotřebení je na roztečné kružnici a postupně se zvětšuje směrem k hlavám a patám zubů.

Zpevňování se nehodí pro kola, která mají být ještě tepelně zpracována, protože zlepšení hladkosti povrchu a zpevnění po válcování při tepelném zpracování zmizí. Zpevňování se používá u kol, jsou-li požadavky na přesnost obrábění celkem nevysoké a nejsou-li kola podrobena dalšímu tepelnému zpracování (nebo není-li k dispozici zařízení pro dokonalejší dokončovací způsob obrábění zubů kol).

Zvláštním případem zpevňování je tryskání paty zubů ocelovými broky tzv. **kuličkování**. Tento způsob přetvoří materiál v patě zubu, zpevní jeho povrch a zvýší únavovou pevnost. Kuličky bývají z kalené oceli nebo

bílé litiny. Na rozdíl od kuličkování plošných a tvarově jednoduchých dílců, kde jsou kuličky vrhány na povrch proudem stlačeného vzduchu, se při kuličkování ozubených kol používá metání lopatkovým kolem (obr. 4.1), které zaručí vyšší přesnost. Takto upravená kola přenesou větší kroutící momenty. Tento způsob byl používán na začátku tohoto století v převodovkách nákladních vozů Liaz.



Obr. 4.1 Lopatkové kolo[25]

5 PÁROVÁNÍ

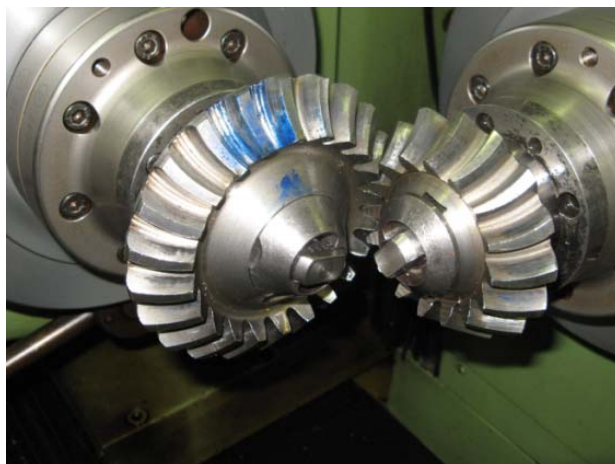
Tento způsob se používá u kol se zakřivenými zuby podle prodloužené epicykloidy (eloidní ozubení-Oerlikon), které neumožňují další broušení. Párování se provádí na protáčecím zařízení (obr. 5.1.), kde se dává do záběru kolo s pastorkem.



Obr. 5.1 Protáčecí zařízení[2]

Párování obvykle probíhá metodou otisku (Obr. 5.2), kdy médiem pro jeho vytvoření je speciální ulpívající barva, označovaná běžně jako tušírovací. Jedná se o práškovou barvu modrého i jiných odstínů, kterou dodává například firma

Dawex Chemical ze Zlína. Tato barva umožní vizuální kontrolu, zda na konkrétním místě dílce dochází k dotyku - obtisknutí barvy.

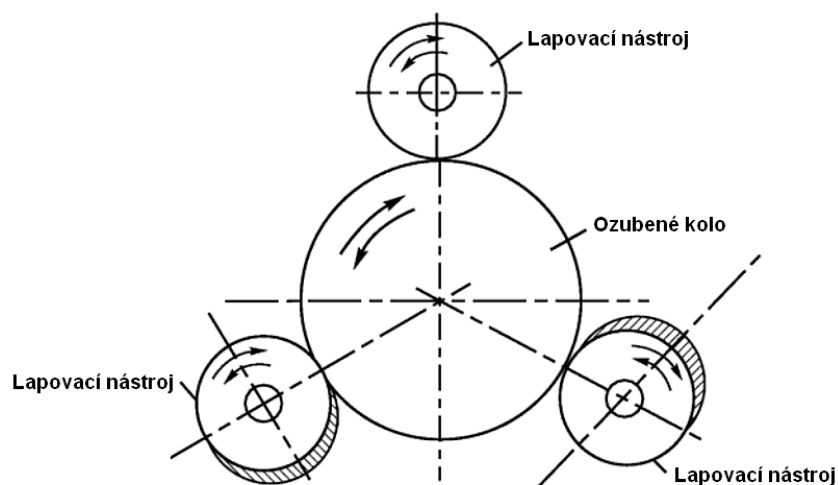


Obr. 5.2 Párování kol[2]

Na zuby jednoho z kol, většinou na větší ozubené kolo, se nanese tuširovací barva a sleduje se poloha obtisku na kole druhém. Poloha tohoto obtisku by měla být uprostřed zubu, pokud tak není učiněno, zkouší se jiné kombinace - kolo a pastorek. Po nalezení odpovídající si dvojice, se kola k sobě sváží drátem, aby se zajistila jejich společná montáž. Z toho také plyne, že při opotřebení nelze měnit jenom pastorek či kolo, ale je nutné měnit celé soukolí.

6 LAPOVÁNÍ

Je dokončovací způsob obrábění kalených kol. Dělá se jedním nebo třemi lapovacími koly (obr. 6.1), které jsou obvykle korigované a lapovacím prostředkem -volně rozptýleným brusivem v kapalině (olej, petrolej) nebo brusné pastě.



Obr. 6.1 Schéma lapovacího procesu[1]

Používá se k dosažení extrémně vysokých přesností tvaru, vysoké kvality povrchu, úzkých rozměrových tolerancí a minimálních vůlí dvou vzájemně uložených ploch.



Obr. 6.2 Vzájemné uložení na lapovacím stroji [11]

Lapuje se na lapovacích strojích kotoučem ve tvaru sdruženého ozubeného kola.

Dokončovací obrábění kalených ozubených kol se provádí proto, že při tepelném zpracování nastávají deformace kola, které negativně ovlivňují profil, rozteče, rovinnost a celou řadu dalších parametrů. Zpracování chemické, které se provádí před tepelným (např. cementace), nebo i po tepelném (nitridace prováděná po zušlechtnění) může být zase provázeno vznikem mikroskopických nárůstků na plochách. Toto je způsobeno zbytky prvků, které nestačili difundovat do povrchu před jeho nasycením.

Postup lapování je tento: tlakem mezi zuby obráběného kola a nástrojem se zatlačují brusná zrna do měkčího povrchu nástroje a ubírají pak z povrchu zubů obráběného kola velmi jemné třísky. Chemicky aktivní látky v mazadle působí na kov povrchové vrstvy a tím značně zrychlují pochod.

Používané způsoby lapování ozubených kol lze rozdělit na dvě základní skupiny.

Jsou to:

- a) skupina způsobů, založených na využití sklonu osy nástroje a osy obráběného kola a tím vzniklého relativního (lapovacího) klouzavého pohybu zabírajících zubů
- b) skupina způsobů, založených na využití kmitavých relativních pohybů nástroje a obráběného kola v osové a někdy též v radiálním směru při rovnoběžných osách nástroje a kola.

Lapovací kolo se napřed otáčí v jednom směru a pak ve směru opačném, aby došlo ke stejnému obrobení obou stran zubů.

Při delší době, potřebné k ubrání příliš velkého přídavku, se profil zubu napřed zlepšuje, ale pak pomalu zhoršuje, a proto může být na konci obrábění úchylka profilu zubu větší, než před lapováním. Z toho plyne, že je potřeba volit optimální přídavek na dokončení.

Jedním ze způsobů lapování ozubených kol je také tzv. **zaběhávání**. Jedná se o lapování na součástech funkčně spolu souvisejících. Lapování probíhá přímo na těchto součástech, bez použití lapovacího nástroje, jen za přítomnosti lapovací pasty.

6.1 Dosahovaná přesnost

Lapování je nejproduktivnějším způsobem dokončovacího obrábění kalených ozubených kol. Zabezpečujícím vysokou přesnost kol a nízké hodnoty drsnosti povrchu zubů.

Lapování se někdy používá i jako dokončovací operace po broušení zubů, aby se ještě snížila drsnost povrchu. Samotné lapování nemůže zabezpečit přesný profil, nýbrž jej může jen zlepšit. Proto závisí přesnost lapování velmi značně na velikosti přídavku na lapování, tudíž na velikosti úchylek obrábění předcházejícího lapování.

Přesnost záběru a produktivita při lapování je větší, není-li radiální přídavek na lapování větší než 0,03 až 0,04 mm. Lapování je ještě možné, je-li radiální přídavek větší než 0,04 mm, tento přídavek však nesmí přesáhnout 0,08 mm, ale přesnost obráběných kol bude nízká. Při dalším zvětšení přídavku se lapováním profil již nezlepší.

6.2 Lapovací pasty

Složení používaných past je velmi různé. Neutrální pasty mají složení 50 až 60 % brusného prášku a 50 až 40 % mazadla, jako technického tuku, vazeliny nebo směsi konsistentního tuku (tavot) a minerálního oleje.

Lapovací pasty se liší podle hrubování nebo jemného lapování. Při hrubování bývá brusivem nejčastěji korund nebo karborundum o zrnitosti 50-120, pro lapování jemné mívá zrnitost 150-200. Pro lapování velmi jemné se jako brusivo používá oxid železitý (tzv. vídeňská červeň) a oxid chromu. Zvláštní formou lapování je lapování chemicko-mechanické, kdy lapovací pasty obsahují také kyseliny rozrušující mikroskopickou vrstvu lapované plochy.



Obr. 6.2.1 Přívod lapovací pasty [11]

6.3 Lapovací nástroj

Lapovací nástroj mívá negativní tvar lapované plochy. Materiálem lapovacího nástroje může být měď, litina, měkká i kalená ocel, nebo i plast. Toto je vždy odvislé od materiálu obrobku.

Nástrojem pro lapování ocelových kalených ozubených kol je litinové ozubené kolo z jemnozrné litiny s tvrdostí 80 až 220 podle Brinella.

6.4 Lapovací stroje

- **Lapovací stroj pro kuželová kola společnosti Klingelberg AG**

Stroj L 60 je určen pro lapování hypoidních a kuželových soukolí. L 60 disponuje 3 lineárními osami pro nastavení montážní míry a osového přesazení. Opčně je možné stroj vybavit i pro soukolí, která mají úhel os odlišný od 90°.

L 60 je vybavena řízením FANUC FS 160i-MA CNC. Hlavní rozsah použití lapovacího stroje L 60 je v automobilovém průmyslu. V průměru se stále 80% kuželových kol lapuje. Přesto že se jedná o „špinavý“ způsob výroby a jsou zde kladeny vysoké nároky na znalosti obsluhy stroje, má stále své místo při výrobě kuželových kol. L 60 přitom podporuje obsluhu i seřizovače celou řadou standardních i opčních funkcí. [11]



Obr. 6.4.1 Lapovací stroj pro kuželová kola L 60 [11]

- **Zaběhávací stroj pro kuželová kola společnosti Klingelberg AG**

Stroj T 60 je určen pro kontrolu hypoidních a kuželových soukolí po hrubování i dokončování. T 60 disponuje 3 lineárními osami pro nastavení montážní míry a osového přesazení. Opčně je možné stroj vybavit i pro soukolí, která mají úhel os odlišný od 90°.

T60 je vybavena řízením FANUC FS 160i-MA CNC, které se osvědčilo v automobilovém průmyslu. Jeho předností je snadná obsluha a vysoká spolehlivost. Hlavní rozsah použití T 60 je plně automatická kontrola chodu kuželových soukolí pomocí kontroly jednobokým odvalem a nebo snímání zvukových vibrací na talířovém kole nebo pastorku v podmínkách sériové výroby. Uživatelsky orientovaný software umožňuje sestavení optimálního kontrolního cyklu přizpůsobeného individuálním požadavkům. [1]



Obr. 6.4.2 Zaběhávací stroj pro kuželová kola T 60 [11]

7 BROUŠENÍ

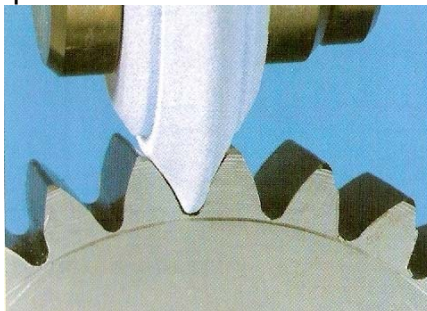
Broušení ozubených kol je jeden z nejrozšířenějších způsobů dokončování ozubení.

7.1 Dělicím způsobem

7.1.1 Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči

- **Jeden kotouč s profilem ve tvaru zubové mezery**

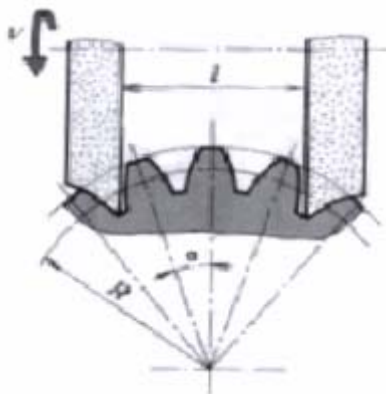
Kotouč má tvar zubové mezery, který brousí oba boky současně. Profil zubu obráběného kola se vytváří přenášením profilu zubu brusného kotouče na obráběné kolo. Po vybroušení zubové mezery se obrobek upnutý v dělicím zařízení automaticky pootočí o jednu zubovou rozteč. Tvar kotouče je závislý na modulu, na počtu zubů kola a na úhlu záběru. Tento způsob je méně přesný a do značné míry je závislý na přesnosti dělicího zařízení stolu. Rovněž je velmi náchylný na výrobní nepřesnost při frézování ozubení s přídavkem na brus. Drobné rozdíly mezi levým a pravým bokem zubu se projeví nerovnoměrným opotřebením kotouče.



Obr. 7.1 kotouč s profilem ve tvaru zubové mezery[7]

- **Dva kotouče s profilem ve tvaru boku zubu**

Tento způsob broušení je přesnější a výkonnější, než způsob předešlý. Kotouče jsou od sebe vzdáleny o hodnotu l , jejíž velikost se řídí podle počtu zubů a velikosti modulu. Brousící kotouče mají tvar jednoho boku zubu. Jeden z kotoučů má tvar levých boků zubů a druhý pravých boků zubů, kterými se brousí odpovídající boky všech zubů.



Obr. 7.2 Profilové broušení se dvěma kotouči[9]

Profily kotoučů obou těchto způsobů broušení se orovnáávají diamantovým orovnávačem podle zvětšené šablony boku zubu nebo pomocí speciálního tvarovacího zařízení, u kterého je profil kotouče vytvořen z geometrického hlediska zcela přesně.

7.1.2 Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu

Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu se v závislosti na konstrukci strojů dělí na dva způsoby. Broušený zub se odvaluje po dvou brousících kotoučích – **systém maag**, nebo po jednom kotouči - **systém Niles**.

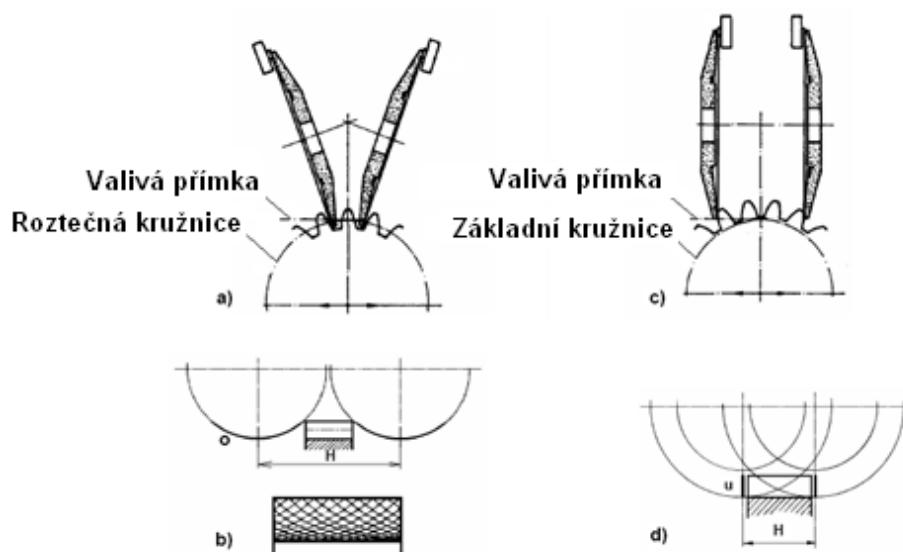
7.1.2.1 Systém Maag

Na bruskách typu maag se ozubené kolo brousí dvěma tenkostěnnými talířovitými brusnými kotouči, které jsou buď vzájemně skloněné pod úhlem 2α (obr. 7.3 a), nebo jsou rovnoběžné (obr. 7.3 c).

U vzájemně skloněných kotoučů se jedná o tzv. 20° nebo 15° způsob. Brusné kotouče jsou vzájemně skloněné o dvojnásobný úhel záběru 2α ($\alpha = 20^\circ$ nebo 15°) a představují základní profil. Valivá přímka nástroje se odvaluje po roztečné kružnici broušeného ozubeného kola. Tento způsob umožňuje použití dvou pracovních postupů – Broušení hranou nebo plochou kotouče. Při broušení plochou kotouče je podélná osa mírně vykloněna vůči podélné ose kotouče. Broušení plochou kotouče je produktivnější a dosahuje se vyšší jakosti povrchu boku zubů než při broušení hranou kotouče.

Broušení hranou kotouče jsou body dotyku brusného kotouče s bokem zubu broušeného kola dva, přičemž se postupně přemisťují po oblouku brusného kotouče o (obr. 7.3 b) z čehož vyplývá relativně velká potřebná dráha nástroje H pro rovnoměrné obroušení celé plochy zubu. Dokončený povrch zubu má křížový výbrus (obr. 7.3 b). Při broušení ozubených kol s modulem větším než 9mm pracují oba kotouče v jedné zubové mezeře, brousící kotouče představují boky zubu pomyslného ozubeného hřebene. U menších modulů pracují kotouče každý v jiné zubové mezeře.

Při broušení rovnoběžnými kotouči vytvářejí pracovní plochy kotoučů rovnoběžné plochy dvou zubů pomyslného hřebene s úhlem záběru $\alpha=0^\circ$. Brousící kotouč se dotýká boku zubu v jednom bodě, přičemž se tento bod při odvalování postupně přemisťuje po úsečce u (obr. 7.3 d). Takže dokončený povrch zubu nemá křížový výbrus, ale podélné rovnoběžné stopy, stejně jako u skloněných kotoučů při broušení plochou. Z toho vyplývá menší potřebná dráha nástroje H pro rovnoměrné obroušení celé plochy zubu. Valivá přímka nástroje se odvaluje po základní kružnici broušeného ozubeného kola, potřebná dráha odvalu je tedy kratší.



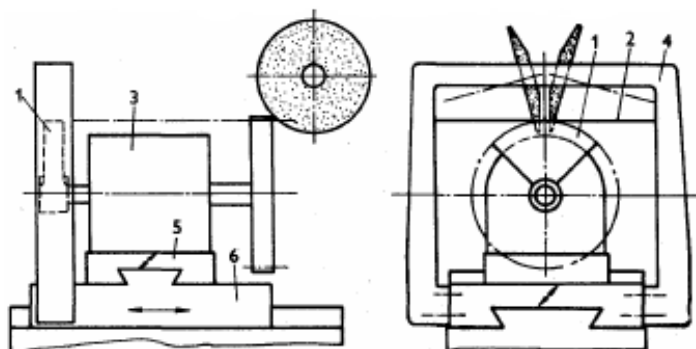
Obr 7.3 Princip broušení ozubení na odvalovacích bruskách typu Maag[9]

- **Orovnávání kotoučů**

Bruska je vybavena automatickou kontrolou polohy funkčních okrajů kotoučů, které se rychle opotřebovávají. V případě, kdy kontrolní zařízení zjistí nadměrnou odchylku, jsou kotouče na svých osách posunuty o potřebnou vzdálenost od sebe a zaujmou opět správnou polohu. Jiné automatické zařízení pravidelně orovnává okraje kotoučů.

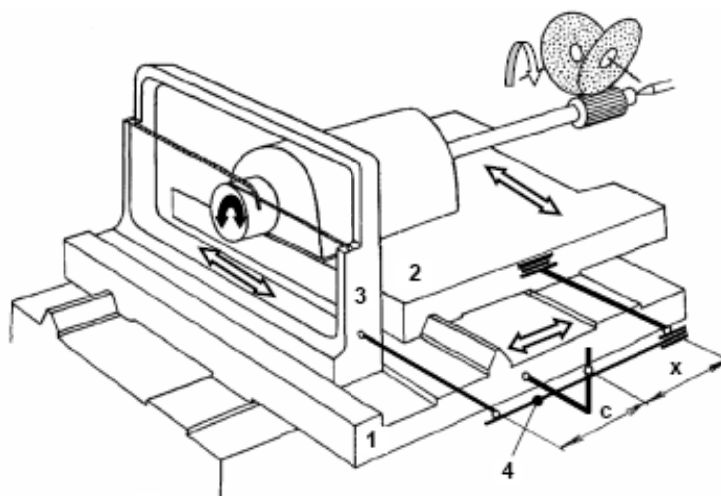
- **Stroje typu Maag**

Pracovní princip je schematicky znázorněn na (obr. 7.4). Vodorovné vřeteno s obrobkem upnutým na trnu je uloženo na suportu, který vykonává podélný a příčný pohyb. Odvalovací pohyb je zajištěn odvalováním segmentu 1 po pásech 2, upevněných jedním koncem na segmentu a druhým na ráme 4 podélných saní 6, při příčném pohybu saní suportu 5 v obou směrech. Podélný přímočarý vratný pohyb suportu je pracovní a jeho zdvih je určen šířkou pracovního kola. Dělicí hlava 3 pootáčí obrobek vždy o jednu rozteč a cyklus se opakuje.



Obr. 7.4 Princip činnosti odvalovacích brusek Maag[9]

Ve výše popsaném základním kinematickém principu brusek typu Maag je pro každou velikost poloměru valivé kružnice obrobku nutný jiný odvalovací segment, což je pro uživatele velice nepohodlné. Aby bylo možné pomocí jednoho odvalovacího segmentu brousit ozubené kolo s různým poloměrem valivých kružnic, byly brusky typu Maag vylepšené. A to tak, že na podélných saních **1** suportu jsou dvoj příčné saně **2** a **3** viz.(obr. 7.5). Saně **2** vykonávají základní příčný posuv a saně **3** vykonávají vynucený příčný pohyb, odvozený od pohybu saní **2** přes pákový převod **4**. Páka **4** je dvouramenná, přičemž rameno **c** má konstantní délku a délka ramene **x** se dá nastavit tak, aby výsledný odvalovací pohyb obrobku odpovídal odvalování jeho valivé kružnici po valivé přímce základního hřebenu, který představují brousící kotouče.



Obr. 7.5 Upravená kinematika brusek typu Maag[9]

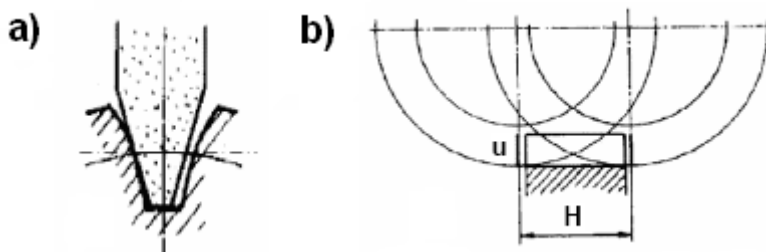


Obr. 7.6 Možná vložit fotku stroje typu maag HSS 30[24]

7.1.2.2 Systém Niles

Na bruskách typu Niles se brousí jedním brusným kotoučem, jehož profil se shoduje s profilem zubu ozubeného hřebene (obr. 7.7 a). Dotyk brousícího kotouče s bokem broušeného zubu je bodový, přičemž se tento bod při odvalování postupně přemísťuje po úsečce $\underline{u}$ (obr. 7.7 b). Z čehož vyplývá malá potřebná dráha nástroje $\underline{H}$ pro rovnoměrné obroušení celé plochy zubu. Brousící kotouč se otáčí a koná přímočarý vratný pohyb ve směru osy broušeného kola. Odvalovací pohyb (v obou smyslech) vzniká otáčením broušeného kola kolem jeho osy, při současném posuvu ve směru osy brousícího kotouče. Broušení je postupné od paty k hlavě zubu, bok po boku. Jedná se tedy o dělicí způsob. Dělicí pohyb vykonává broušené ozubené kolo. Na starších typech brusek se kolo oddělilo vždy o 1 rozteč a takto postupně obrousilo celé kolo. Tímto však vznikala skoková chyba rozměru přes zuby mezi prvním a posledním broušeným zubem. Chyba byla způsobena úbytky kotouče mezi jednotlivými orovnávanými a nemožností docílit po několika obtazích zcela stejného profilu, jako na počátku broušení. S tímto problémem se setkáváme i dnes, například u profilových brusek vyráběných v Číně a dovážených například firmou Gearspect.

U moderních brusek výrobců jako Niles, Hoefler a dalších tento problém není, řídicí systém rozdělí broušení vždy skokově přes několik zubů tak, aby po skončení broušení byly všechny zuby broušeny stejným počtem třísek, ale zároveň nikdy nebyly broušeny 2 sousední zuby v jedné třísce. Díky tomu odpadá skoková chyba síly zubu mezi prvním a posledním zubem.



Obr 7.7 Princip broušení ozubení na odvalovacích bruskách typu Maag[9]

Při broušení kol se šikmými zuby se vykloní smykadlo s brousícím kotoučem s o úhel sklonu zubů viz (obr. 7.8).



Obr. 7.8 Broušení kol se šikmými zuby systémem NILES.[2]

Orovnávání brusných kotoučů

Na obrázku je brousící kotouč se svým orovnávacím zařízením. Na bruskách Niles bývá orovnávací zařízení integrováno do stroje, na rozdíl od strojů Reishauer, které mají orovnávací zařízení oddělitelné, resp. přenosné mezi jednotlivými stroji. Kotouče na bruskách Niles jsou vždy orovnávány diamanty, na rozdíl od šnekových kotoučů brusek Reishauer, kde je volba mezi stacionárním diamantem a rotujícími diamantovými kladkami.



Obr. 7.9 Orovnávací zařízení na strojích Niles[2]

Orovnávací soustavu tvoří 2 diamanty boční a 1 středový. Boční diamanty upravují profil kotouče, kterým bývají dvě různoběžky s průsečíkem v rovině souměrnosti kotouče se středovým úhlem 40° (v případě ozubení s úhlem záběru 20°), nebo se středovým úhlem 30° (obrobek s úhlem záběru 15°). Obecně platí, že pro broušení lze použít kotouč orvnaný dle menšího úhlu záběru než je úhel záběru na obrobku. Lze tedy brousit kolo s úhlem záběru 20° kotoučem obtaženým na 15° , ale nikoliv naopak. Takto vzniklý úhlový deficit lze vyrovnat vhodným výpočtem dělicích kol, kdy dojde ke zrychlení odvalu a kotouč urazí při broušení o 5° ke každé straně mezery větší dráhu. Toto se využívá jen u kusové výroby kvůli šetření kotoučů-přerovnávání kotouče na jiný úhel záběru je spojeno vždy s největšími ztrátami.

U starších typů těchto brusek byl nevýhodou složitý způsob přestavování mezi orovnáváním pro jednotlivé úhly záběru, toto již moderní brusky řeší automaticky.

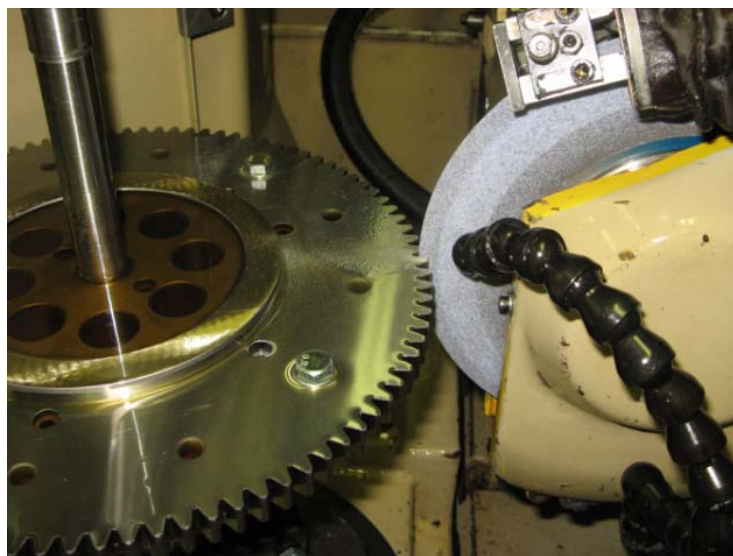
Středový diamant vytváří plošku na středu kotouče, která je tím širší, čím je větší modul ozubení. Z toho také plyne, že všeobecně prezentovaný fakt, že na profilové brusce lze jedním kotoučem brousit všechny moduly, není zcela přesný. Orovnávací zařízení toto sice umožní, ale úbytky kotouče při přechodech mezi velkými a malými moduly jsou značné. Význam má rovněž množství brusiva, které se za dobu životnosti stroje během orovnávaní uvolní, a před kterým nelze funkční plochy stroje na 100% ochránit. Proto je lepší mít kotouče odstupňované pro jednotlivé rozsahy modulů. Velkou slabinou starších brusek typu Niles byla nemožnost středění středového diamantu na kotouč.

Levý i pravý diamant jsou lehce stavitelné pomocí stavěcích závitů a umožňují tak používat kotouče různé šířky. Středový diamant měl však pozici pevnou pouze s posuvem směrem ke kotouči. Používání kotoučů různé šířky bylo nutné realizovat zároveň s používáním různě širokých přírub kotouče, které zajistily, že kotouč bude po upnutí na středu diamantu. Moderní brusky již kontrolují polohu všech tří diamantů vůči kotouči automaticky.

- **stroje typu Niles**

Na (obr. 7.10) je bruska Niles z roku 1979, kdy ještě pracovník během jinak automatického cyklu musel po obroušení určitého počtu zubů ručně vyjet ze záběru, spustit orovnění, a znovu vjet do cyklu. Interval orovňování se řídil zkušeností pracovníka, materiálem obrobku a nástroje, velikostí třísky a přídavku na obrábění. Dnešní stroje mají orovnění zcela automatické dle předem nastavených parametrů, na lépe vybavených strojích se interval orovňování i pružně mění v závislosti na hodnotách zjištěných automatickým měřícím zařízením, které je ukryto mimo pracovní prostor kvůli ochraně před abrazivními částicemi a najíždí ke kontrole jen několikrát za cyklus po důkladném oplachu obrobku.

Hloubka třísky bývá okolo 0,05, což při přídavku 0,15 na bok zubu znamená, že se kotouč na každý zub vrátí 5-6krát, poslední tříska je jen dokončovací o hloubce max. 0,015.



Obr. 7.10 Bruska Niles[2]

7.2 Broušení odvalovacím způsobem

7.2.1 Reishauer

Jedná se o způsob dokončování ozubení odvalovacím broušením pomocí brousícího kotouče (Obr. 7.11), který má tvar šneku. Brousící šnek může být jednochodý nebo dvouchodý, který vytváří nekonečným počtem obálkových profilů svého závitu požadovaný profil broušeného ozubení. Používá se zejména pro broušení malých modulů, přičemž u modulů menších jak 3 umožňuje brousit do plna.



Obr. 7.11 Brousící kotouč systém Reishauer[26]

Tento způsob je podobný odvalovacímu frézování, kde odvalovací fréza je nahrazena brousícím šnekem. Řezný pohyb je vyvozen rotací brousícího kotouče. Obrobek rotuje tak, že se za jednu otáčku brusného kotouče pootočí o jednu zubovou rozteč, čímž se plynule brousí všechny zuby. Aby bylo obroušeno ozubení po celé délce broušeného kola, musí se brousící kotouč současně pohybovat ve směru broušených zubů. Základní podmínkou je synchronní běh nástroje a obrobku. Odvalovacím broušením lze dosahovat nejvyšší produktivity při broušení ozubení.



Obr. 7.12 Záběr brousícího kotouče s obrobkem[7]

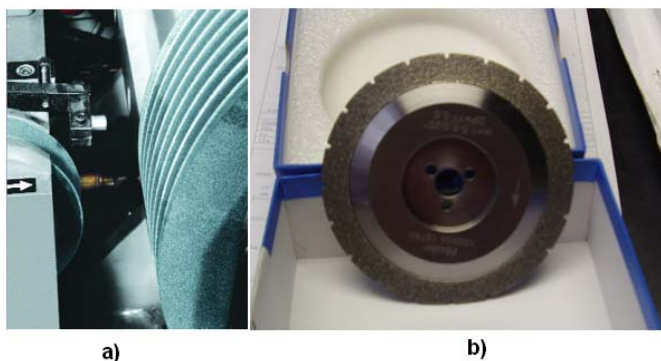
Najíždění do záběru na bruskách typu Reishauer, se dělá na stojícím stroji. Jsou 2 základní způsoby broušení na bruskách typu Reishauer-s kleštinou a bez kleštiny.

S kleštinou- jsou mechanicky spřaženy otáčky kotouče i obrobku, tento způsob se používá z 90%, dělá lepší evolventu i rovinnost, pouze vizuálně horší povrch (výbrus na zubech).

Bez kleštiny- obrobek je s trnem volně otočný a je hnán šnekem kotouče-tento způsob dělá vizuálně nejlepší povrch zubů. Nevýhodou je, že zhoršuje rovinnost. Rovněž úběr je z jedné strany zubů větší, než z druhé. Proto se používá kombinace obou postupů-hrubuje se s kleštinou, a na poslední 0,01 úběru se kleština vypíná, čímž se dosáhne nejlepší výbrus na zubech, ale zároveň se nestačí zhoršit ostatní parametry.

- **Orovnávací zařízení (Obr. 7.13 a)**

Dříve často používaný orovnávací diamant dnes již skoro úplně vytlačili tzv. diamantové kladky - dva diamantové kotouče (Obr. 7.13 a), upnuté na zvláštním zařízení, které způsobuje jejich rotaci a které je přenosné mezi více stroji. Pohyb kolmo ke kotouči, který je při orovnávání nezbytný, již koná samotný brousící stroj pomocí speciální lyžiny, na kterou je orovnávací zařízení upnuto, neboť je nezbytná synchronizace otáček kotouče s posuvem kladek. Jejich vzdálenost, úhlová orientace a hloubka se mohou přizpůsobovat k tomu, aby mohly orovnat brousící šneky s různými moduly a úhly záběru. Po nastavení orovnávacího zařízení se brousící šnek orovná do požadovaného profilu.



Obr. 7.13 Orovnávací zřízení pro brusky typu Reishauer[27]

7.2.1.1 Stroje typu Reishauer

- **Odvalovací bruska Společnosti LIEBHERR Verzahntechnik GmbH**

Brusky řady LCS jsou určeny pro odvalovací nebo profilové broušení čelních kol během jednoho upnutí obrobku. Tato technologie spojuje výhody broušení pomocí produktivního brusného šneku a tvarově přesného brusného kotouče. Oba nástroje mohou být z ušlechtilého korundu, či ve formě základních kovových těles s naneseným povlakem CNB. U keramických materiálů se dosahuje příznivých nákladů na nástroje při broušení ve středně sériové a velkosériové výrobě. Při použití brusných nástrojů s CNB povlakem ve velkosériové a masové výrobě menšího počtu různých typů obrobků lze dosáhnout vynikající profilové stálosti, broušení až do vysokých otáček a maximální využitelnosti stroje.

Při tomto způsobu dokončování je výsledná jakost ozubení až v 3. třídě dle DIN 3962 s jakostí povrchu $R_z < 5 \mu\text{m}$. V případě použití keramických nástrojů se pohybují nástrojové náklady na obroušení jednoho kola okolo 3 korun, při použití nástrojů s CNB povlakem jsou tyto náklady zhruba dvojnásobné až trojnásobné. [1]



Obr. 7.14 Odvalovací bruska[26]

7.3 Přesnost dosahovaná broušením

Dle požadavků na přesnost ozubených kol rozlišujeme 8 stupňů přesnosti. Broušená kola dosahují 4 a nižšího stupně přesnosti. K dosažení požadovaného stupně přesnosti je potřeba zvolit správné pracovní podmínky. [1]

Tab. 1 Jakost ozubení obrobku dle DIN 3962 po broušení je uvedena v následující tabulce[1]:

<i>parametr</i>	<i>materiál</i>	<i>jakost</i>
<i>brusný šnek</i>	CNB / keramika	4. třída
<i>brusný kotouč</i>	CNB / keramika	3. třída
<i>jakost povrchu</i>		$R_z < 5 \mu m$
<i>doporučená jakost hrubování</i>		< 10. třída

7.4 Brusné materiály

Brusné nástroje dodávají renomovaní výrobci. Nasazením nových typů nástrojů na výkonné brusky lze splnit aktuální vysoké požadavky na kvalitu a produktivitu výroby. Vhodnou volbou nástrojů a upínacích přípravků lze optimalizovat využití stroje a přesně jej přizpůsobit potřebám kusové a sériové výroby. [1]

7.4.1 Brusné materiály

- orovňávatelné brusné nástroje ze slinutého korundu (SG)
- neorovňávatelné brusné nástroje ve formě základních kovových těles s naneseným povlakem z kubického nitridu bóru (CNB)

Tab. 2 Orientační hodnoty řezných rychlostí a nejvyšších otáček, různých typů brusných materiálů které jsou určeny k broušení ozubení [1].

	keramický SG nástroj		kovový nástroj s CBN povlakem	
	Řezná rychlost v (m/min)	Max. otáčky n (1/min)	Řezná rychlost v (m/min)	Max. otáčky n (1/min)
brusný kotouč	30 – 90	7.000	35 – 110	12.000
brusný šnek	40 – 70	6.000	65 – 90	9.000

7.4.2 Rozsah použití nástrojů

- **keramické SG brusné nástroje** - příznivé náklady na nástroje a možnost korektur orovnáváním nástrojů, použití v malosériové a středněsériové výrobě
- **brusné nástroje s CBN povlakem** - vhodné u menšího počtu typů obrobků, vynikající stálost profilu zubu a maximální výkonnost stroje při broušení ve vysokých otáčkách, použití ve velkosériové výrobě
- **brusné šneky** - optimální pro rozsah modulů 1... 5 mm při počtu zubů 20 ... 100, počet chodů šneku 1...4
- **brusné kotouče** - optimální pro rozsah modulů 2...7,5 mm při počtu zubů 7...50

[1]

8 DOKONČOVÁNÍ OZUBENÍ NA 5-TI OSÝCH CNC FRÉZÁCH

Zvláštním způsobem výroby, a tedy i dokončování ozubení je zatím minimálně rozšířené frézování na 5-ti osých CNC frézách. O masovější rozšíření této metody se snaží firma DMG (Deckel Maho Gildemaister), která představila svou vizi a konkrétní výsledky letos v květnu na týdnu ozubení v německém Pfrontenu. Jako první z výrobců dotáhli technologii do samého konce: praktickými testy určili potřebný stupeň výbavy strojů a vyvinuli kompletní software od výroby až po měření. Prakticky se již předvádí ozubení Klingelnberk a čelní ozubení rovné a šikmé, do podzimního veletrhu v Miláně má být hotov software i pro další typy ozubení.



Obr. 8.1 Hrubování a jemné frézování zubu Klingelnberk[28]

8.1 Hlavní výhody této metody

8.1.1 Malá zastavovací plocha

CNC fréza zabírá dle velikosti plochu několika málo desítek metrů čtverečních a je strojem, na kterém lze ozubení jak hrubovat, tak i dokončovat. Naproti tomu klasická výroba Klingelnberk vyžaduje zvláštní stroj na frézování (obvykle po dvojicích, aby bylo možné dělat pastorek i kolo společně), zvláštní stroj na broušení ozubení, dále brusku na nože frézovacích hlav (rovněž bývá po dvojicích), prostor pro sestavování frézovacích hlav, jejich skladování atd, vše na minimální myslitelné ploše cca 150 m čtverečních a více.

8.1.2 Lacné nástroje

Tato metoda používá konvenční nástroje, tedy především stopkové frézy malých průměrů. Běžné ceny těchto fréz jsou v řádu desítek, maximálně stovek EUR. Naproti tomu nejmenší hlavy Klingelnberk stojí od 3 000 EUR výše.

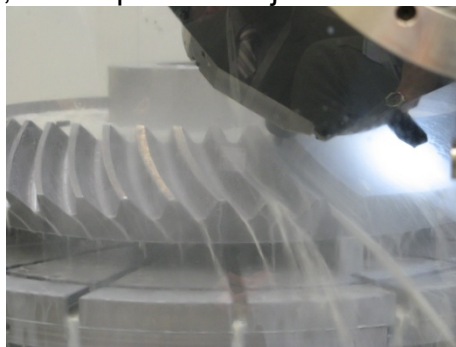
8.1.3 100% definovaná geometrie zubu

Na rozdíl od odvalovacích metod je profil zubu zcela popsán řídicím programem, například včetně patního radiusu, podélných a příčných modifikací

apod. Výrobce slibuje takovou přesnost, že nebude potřeba párování kusů a bude tedy možná výroba náhradních dílů o mnoho let později-především pro metody Klingelnberg a Oerlikon.

8.1.4 Přesnost a jakost povrchu

Touto metodou lze dosáhnout velmi vysoké třídy přesnosti a jakosti povrchu, na prezentaci dosahovali i kola velkých modulů (14) stupně přesnosti IT 4 a drsnosti na zubu Ra 0,55, těchto parametrů je obtížné dosáhnout i broušením.



Obr. 8.2 Hrubování kuželového kola[28]

Náhrada broušení HSC frézováním u ozubení Klingelnberg. Foto je ze showroomu firmy DMG ve Pfrontenu, zub je dokončen vzápětí po svém vyhrubování, což je technologicky nesprávné (počet výměn nástrojů = dvojnásobku počtu zubů), je to jen z důvodů prezentačních-každé skupině návštěvníků vyrobí 1 zub na ukázkou.



Obr. 8.3 Dokončování pastorku Klingelnberg[28]

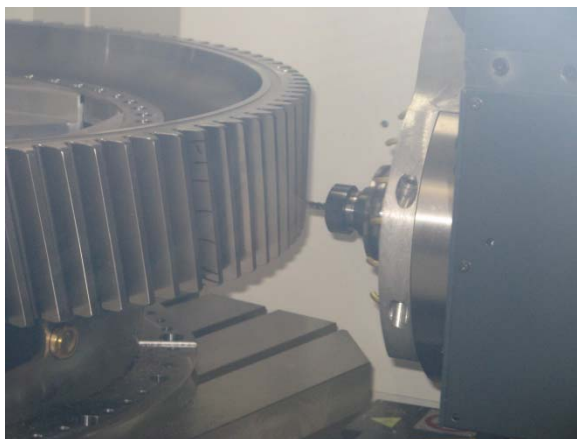
8.1.5 Možnost dokončení po tepelném zpracování

Tuto možnost skýtá metoda i u ozubení, které se již po tepelném zpracování nebrousí, např. Oerlikon, nebo kuželová kola s přímými zuby. Frézování ocelí zakalených až na 60-63 HRC není žádnou novinkou a je umožněno především rychlým vývojem nástrojů a jejich povlaků. Jeho využití při dokončení ozubení je však zcela nové. Rovněž i při dokončování čelního ozubení může být technologie přínosem-především u větších průměrů, na něž často nejsou brusky dimenzovány. Bruska profilová do průměru 500mm a modulu 10 od firmy Hoefler stojí kolem 600 000 EUR, bruska odvalovací do modulu 6 a průměru 350mm firmy Reishawer stojí až 950 000 EUR. Naproti tomu CNC fréza, která pojme bez problému kolo průměru 1 metr o libovolném modulu, stojí

kolem 500 000 EUR. Produktivitou se bruskám nemůže rovnat, rozsahem svých parametrů je však předčí.



Obr. 8.4 650 kg těžký pastorek s drsností na zubech Ra 0,55[28]



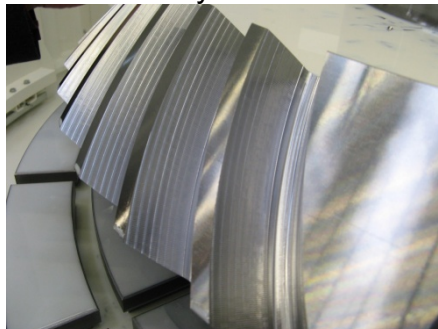
Obr. 8.5 Náhrada broušení HSC frézováním u čelního ozubeného kola[28]

8.1.6 Malé náklady na měření

Měření ozubení vyrobeného touto metodou je vůbec nejlevnější myslitelné - měří se na běžných 3D stanicích rozličných výrobců. Podmínkou je pouze rozhraní AA++. Software pro měření je součástí programových balíčků a možné je i případné individuální odladění softwaru pro konkrétní měřicí stanici. Může se tak stát, že firma, která je již tímto kontrolním zařízením vybavena, přejde s minimální investicí na měření ozubení. Nejlevnější měřicí přístroje na ozubení u nás dodává firma Strojírny Čelákovice, jejichž nejlevnější model na čelní ozubení začíná asi na 2 500 000 Kč, a s narůstajícím požadovaným průměrem a hmotností kola cena dramaticky roste. U renomovaných světových výrobců (Klingelnberg) jsou ceny podstatně vyšší. Velkým přínosem je také to, že software dokáže rozlišit jednotlivé chyby a vyhodnotit jeden parametr zcela bez vlivů chyb ostatních – například vyhodnotit odchylky evolventy bez zjištění chyby sousedních roztečí. Toto slouží ke snadné identifikaci a nápravě chyb při nastavování stroje.

8.1.7 Univerzálnost

Ačkoliv se výroba ozubení touto metodou děje na strojích speciálně k tomu uzpůsobených, stále zůstávají svou podstatou 5-ti osými frézovacími centry, na kterých lze krom ozubení provádět veškeré frézařské práce, a v případě dražších modelů i práce soustružnické (karuselový stůl). Totéž platí i pro 3D měřicí stanice, které kromě softwarové výbavy nemusí projít žádnou modifikací, takže nadále slouží i pro měření veškerých rozměrů v dosahu doteků.



Obr. 8.6 Detail vyhrubovaného zubu[28]

8.2 Hlavní nevýhody této metody

8.2.1 Nízká produktivita

Jak při hrubování, tak při dokončování, nemůže tato metoda soupeřit svou rychlostí s jednoúčelovými ozubářskými stroji. Kolo s ozubením Klingelnberk, jehož výrobu předvedli technici DMG, by na klasickém stroji trvalo kompletně ozubit včetně dokončení maximálně desítky minut. Software spočítal strojní čas při 5-ti osém frézování na 5 hodin. Metoda tedy není vhodná pro sériovou výrobu. Příprava je velmi rychlá - software je maximálně komfortní a do cca 60 minut může být napsán program, obrobek upnut, zaměřen a zahájena výroba. Oproti tomu trvá příprava linky na Oerlikon či Klingelnberk podstatně déle (broušení nožů, sestavení hlav, seřízení strojů, zkušební páry), rozdíl se ale maže již po několika vyrobených kusech. Metoda firmy DMG je tedy vhodná spíše pro kusovou výrobu. Toto platí až do kol o průměru přibližně 400mm, u větších dílců se už rozdíl stírá. Výjimkou by snad mohla být jen náhrada klasické metody výroby kuželových kol s přímými nebo šikmými zuby obrážením dvěma noži, kdy se HSC frézování jeví jako produktivnější metoda s lepšími dosažitelnými výsledky (třída přesnosti, drsnost povrchu...). I toto má však svá omezení-viz bod 8.2.2.

8.2.2 Limit rozměrů nástroje

I frézování ozubení stopkovou frézou je omezeno možnostmi nástroje-dokončovací nástroj musí obsáhnout všechny body na zubu. Představíme – li si kuželové kolo např. modulu 1, je nemyslitelné, aby byly jeho zuby obrobeny frézou, ač třeba jen o průměru 2 mm-nástroj neobsáhne patu, především v oblasti malého hlavového průměru. Technici DMG udávají, že bezproblémové obrobení je až od modulu 5 výše.

8.2.3 Speciální výbava strojů

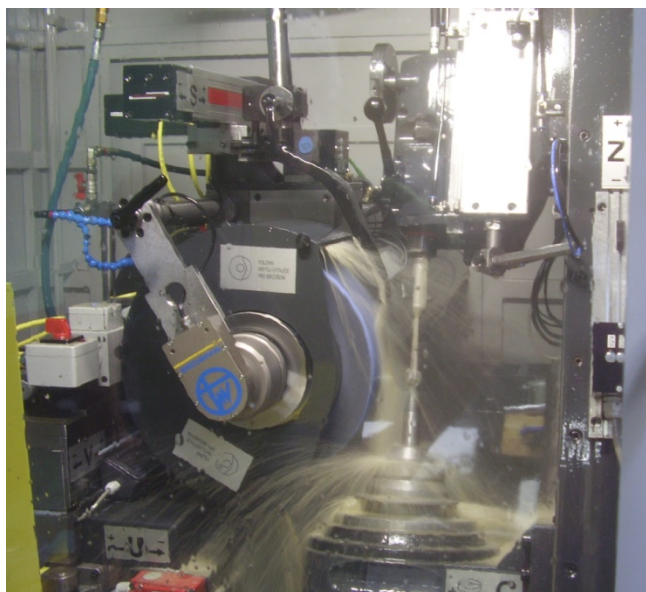
Ač je metoda prezentována jako čistě softwarové řešení, stroje musí splňovat nadstandardní požadavky. Především musí být stroj zakoupen nový – firma DMG je prodejcem strojů a nikoliv softwaru - proto jej bez koupě nového stroje neposkytne, byť by stávající stroj zákazníka splňoval potřebné parametry. Dále jsou stroje na ozubení vyráběny ve zvýšené přesnosti - selekcí těch nejpreciznějších dílců při montáži. Dalším z požadavků konstrukce byla klimatizovaná místnost, kde stroj bude osazen - od tohoto upustili kvůli obtížnému uvádění do praxe a optimální tepelné podmínky docílili temperancí / chlazením řezné emulze.

Pozn: podmínka klimatizované místnosti pro 3D měřicí stanice zůstává samozřejmě v platnosti.

9 CHLAZENÍ SYSTÉMU

Úkolem řezných kapalin je odvod tepla z místa řezu, snížit třecí odpor, odvod třísky z místa řezu. Použitím řezné kapaliny zvýšíme trvanlivost řezného nástroje a zlepšíme jakost obráběného povrchu.

Přívod kapaliny do místa řezu je vysokotlakými čerpadly. Tyto čerpadla se většinou používají zubová nebo šneková čerpadla. Je-li potřeba dosáhnout vyšších tlaků, zapojuje se víc čerpadel do obvodu.



Obr. 9.1 Přívod kapaliny do místa řezu[27]

Řezné kapaliny lze dělit na kapaliny s převažujícím mazacím účinkem a kapaliny s chladícím účinkem. Snahou rozvíjet řezné kapaliny je zvyšovat mazací účinek u kapalin s převažujícím chladícím účinkem.

Důležitá je čistota řezné kapaliny, jelikož je kapalina následně čerpána zpět do řezu. Čistoty se dosahuje různými způsoby filtrace- mechanické, fyzikální a jejich kombinacemi.

9.1 Kapaliny pro dokončování ozubení

Na trhu je nepřeberné množství jak dodavatelů, tak druhů řezných kapalin které lze použít pro jednotlivé metody dokončení ozubení. Důležitými parametry je hustota, kinematická viskozita a bod vzplanutí řezné kapaliny.

Příklad řezné kapaliny pro broušení ševingování ozubení:

Mobilmet 737

Řezné kapaliny nemísitelné s vodou, pro vysoké zatížení.

Popis

Mobilmet 737 jsou řezné kapaliny, nemísitelné s vodou, které pokrývají široký rozsah použití z hlediska obráběcích operací a materiálu obrobků. Mají korozivní vliv na měď. Mobilmet 737 obsahuje chlor, proto by měl být po použití skladován odděleně od jiných použitých olejů. [23]

Hlavními oblastmi použití jsou odvalovací frézování a obrážení, broušení a ševingování boků zubů a práce na automatech. [23]

Přednosti a vlastnosti

- Dobrá kvalita povrchu, vysoké hodnoty úběru obráběného materiálu a dlouhá trvanlivost nástrojů.
- Při odpovídající péči je zaručena dlouhá životnost provozních náplní.
- Ani při vysokém tlaku nedochází k rušivému pění.
- Při odborné údržbě a skladování nedochází ke korozi na obráběcích strojích a obrobcích.
- Při odpovídající hygieně je riziko poškození kůže prakticky vyloučeno.

[23]

Typické vlastnosti

	Viskozita [mm/s]	Hustota [g/cm]	Bod vzplanutí [°C]	Bod tuhnutí [°C]
Mobilmet 737	40,6	0,89	216	-9

[23]

10 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala dokončovacími metodami obrábění ozubených kol. Dokončovací metody ozubení jsou nedílnou součástí výroby ozubených kol a slouží ke zvětšení přesnosti, zlepšení účinnosti a zmírnění hluku. Hlavní část této práce se věnovala rozdělení dokončovacích metod a jejich podrobnému popsání. V bakalářské práci byly popsány tyto metody: ševingování, honování, zpevňování, párování, lapování a broušení. Broušení se dále dělilo na broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči, broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu, Broušení odvalovacím způsobem. V Bakalářské práci je také popsáno, zatím moc nerozšířené, dokončování ozubení na 5-ti osých frézách.

Ševingování ozubených kol se provádí u nekalených kol s tvrdostí menší jak 36 HRC. Hlavní využití ševingování je v hromadné nebo sériové výrobě ozubených kol. Ševingováním se zvyšuje přesnost evolventy. Zvláštním způsobem ševingování je honování, které bývá také označováno jako brusné ševingování.

Zpevňováním ozubených kol se dosahuje hladkého a lesklého povrchu ale nedosáhne se zpřesnění profilu a roztečí. Tento způsob se nepoužívá u kol, které budou ještě tepelně zpracována, protože zlepšení povrchu zpevňováním po tepelném zpracování zmizí.

Párování je spíše než metodou dokončovací metodou kontrolní. Při této metodě se kontroluje poloha otisku a podle toho se provádí první nastavení výrobní linka nebo se hledá nejlépe odpovídající dvojice – kolo pastorek.

Lapování ozubených kol je jeden z neproduktivnějších způsobů dokončování kalených kol. Většinou se používá pro kuželová kola se zakřivenými zuby. Touto metodou lze dosáhnout vysoké přesnosti až I. třídy a také vysoké jakosti povrchu zubu dokonce větší než po broušení. Přesnost lapování nejvíce závisí na velikosti přídávku. Samotné lapování nemůže zabezpečit přesný profil, nýbrž že jej může jen zlepšit.

Broušení ozubených kol je zvláště nutné, je-li přídavek po předchozím obrábění větší než 0,12 mm a tudíž nelze použít lapování. Při zvolení správných pracovních podmínek se broušením dosahuje největších přesností. Dělicí způsob je méně přesný. Nepřesnost je způsobena nerovnoměrným opotřebením brusného kotouče. Rovněž je tento způsob plně závislý na přesnosti dělicího zařízení.

Odvalovací způsob broušení ozubených kole je v dnešní době nejrozšířenější dokončovací metodou ozubených kol. Používá v hromadné a sériové výrobě.

Dokončování ozubení na 5-ti osých frézách, se jeví jako zajímavá alternativa především pro dílce větších modulů a průměrů v kusové či malosériové výrobě. Díky univerzálnosti stroje a měření si tuto technologii může dovolit i firma, která se primárně výrobou ozubení nezabývá, a ve chvíli, kdy nemá na ozubení zakázky, se věnovat klasické produkci na CNC fríze (formy, zápusky

atd.). Software je natolik jednoduchý, že i méně kvalifikovaná obsluha jej dokáže obsluhovat po cca 1 hodině školení. Program zůstává uložen pro případné opakování zakázky a především pro případ výroby náhradního dílu. Bez zajímavosti nejsou ani možnosti oprav a repasů, kdy lze na rozdíl od odvalovacích způsobů obrobit jen jeden nebo několik navařených zubů.

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Koudelka-zastoupení [online]. [2004] [cit. 2009-03-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.koudelka-zastoupeni.cz/index.htm>>.
- [2] Bondy s.r.o. Kusová a malosériová výroba ozubených a šnekových převodů [online]. 1999 [cit. 2009-03-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.bondy.cz/>>.
- [3] Humár, A. *Technologie I. – 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. Dostupné z WWW: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf>.
- [4] Humár, A. *Technologie I. – 2. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. Dostupné z WWW: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf>.
- [5] ZEMČÍK, O. *Technologická příprava výroby*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
- [6] ZEMČÍK, O. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6
- [7] LIEBHERR. *Gear Cutting Technology : Practice handbook*. [s.l.] : [s.n.], 2008. 230 s.
- [8] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka : 12. přepracované vydání*. Praha : STNL-Nakladatelství technické literatury, 1968. 1183 s.
- [9] TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH STROJNÍCKA FAKULTA KATEDRA VÝROBNEJ TECHNIKY A ROBOTIKY. *STROJE NA VÝROBU OZUBENIA : Študijný materiál*. [s.l.] : [s.n.], 2007. 37 s. Dostupný z WWW: <www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/15_Stroje_na_Vyrobu_Ozubenia.pdf>.
- [10] LIPTÁK, Ondřej, et al. *Technologia výroby : obrábienie*. [s.l.] : [s.n.], 1968. 480 s.
- [11] KlingelInberg GmbH. *Výrobce ozubárenské techniky* [online]. 2007 [cit. 2009-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.klingelInberg.info/en/company/company.php>>.
- [12] ŠVEC, Stanislav. *Konstrukce nástrojů pro výrobu čelních ozubených kol*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1965. 361 s.
- [13] Gleason. *Výrobce ozubárenské techniky* [online]. c2006 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.gleason.com/>>.

- [14] Samputensili. *Výrobce ozubárenské techniky* [online]. c2006 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <http://www.samputensili.com/nqcontent.cfm?a_id=12980>.
- [15] *Gear technology* [online]. c2007 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.geartechnology.com/product.php?a=Gear%20Shaving%20Machine>>.
- [16] SCHMIDT, E., et al. *Příručka řezných nástrojů*. Praha: SNTL-Nakladatelství státní technické literatury, 1967. 484 s.
- [17] Fässler. *Výrobce ozubárenské techniky* [online]. c2005 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.faessler-ag.ch/home/home.htm>>.
- [18] FP Fortune. *Gear machine* [online]. [2005] [cit. 2009-04-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.fp555.com/>>.
- [19] Civest Praha s.r.o.. *Obchodní zastoupení výrobců strojů* [online]. c2007 [cit. 2009-04-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.civest.axis4.info/>>.
- [20] Sicmat Spa. *Výrobce ozubárenské techniky* [online]. c2008 [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.sicmat.it/web/guest/history>>.
- [21] *Výroba ozubených kol* [online]. 2007 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.sosi.cz/servis-a-opravy-cviceni/vyroba-ozubenych-kol.pdf>>.
- [22] HAMERNÍK, Jan. *Výroba ozubení* [online]. 2004 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://jhamernik.sweb.cz/Ozubení.htm>>.
- [23] LUBSTAR, a.s.. *Distributor olejů a maziv* [online]. c2008 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.lubstar.cz/cz/>>.
- [24] MachineStock.com. *Global network for used machines & technologies* [online]. c2000 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.machinestock.com/index.php?lang=de>>.
- [25] 1.Toušeňská s.r.o.. *Poskytování služeb v oblasti tryskání a následných povrchových úprav* [online]. [2008] [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.1tousenska.cz/index.php>>.
- [26] Liebherr-Verzahntechnik GmbH.. *Werkzeugmaschinen* [online]. [2008] [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.liebherr.com/gt/default_gt.asp>.
- [27] TOS Znojmo, a.s.. *Výroba a prodej převodových zařízení* [online]. [2004] [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.tos-znojmo.cz/>>.
- [28] DMG Czech. *Milling-Technology* [online]. [2008] [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.dmgczech.com/en,milling,overview>>.

[29] LICHTENAUER, G., ROOG, O., KALLHARDT, K. *HURTH Zahnradschaben*. [s.l.] : [s.n.], 1964. 581 s.

[30] ŠVEC, Stanislav. *Konstrukce nástrojů pro výrobu čelních ozubených kol*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1965. 361 s.

12 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBLŮ

v_n	$[m \cdot min^{-1}]$	obvodová rychlost
β_n	$[^\circ]$	úhel stoupání šroubovice
γ	$[^\circ]$	úhel mezi osou obráběného kola a osou nástroje
γ_k	$[^\circ]$	úhel sklonu zubů obráběného kola
γ_s	$[^\circ]$	úhel sklonu zubů ševingovacího nástroje
δ	$[^\circ]$	úhel mezi osou obráběného kola a směrem posuvového pohybu
R_a	$[\mu m]$	jakost povrchu
α	$[^\circ]$	úhel záběru
v	$[^\circ]$	řezná rychlost
n	$[min^{-1}]$	max. otáčky

13 SEZNAM PŘLOH

- 1..... CD obsahující ukázkou hrubování a dokončování ozubení na 5-ti osých CNC frézách

