

NETISKNOU!
Titulní list

NETISKNOU!
Zadání

NETISKNOU!
Licenční smlouva - oboustranně

Abstrakt

Ve své bakalářské práci se zabývám oblastí Obrábění čelních ozubených kol. Cílem celé práce je vytvoření přehledu metod obrábění, používaných nástrojů u jednotlivých metod obrábění a použití strojů pro dané metody. V závěru jsem zhodnotil nejvýhodnější metody z hlediska výkonu obrábění.

Klíčová slova

Řezná rychlost
Posuv na otáčku
Frézka konzolová
Ozubené kolo

ABSTRACT

In my bachelory thesis I dwelled by machining of the frontal cog wheels. The main part of the whole work was to create a list of the machining's methods, the list of a using of tools for individual machining's methods and the list of the using machines for concrete methods. I appraised optimal methods in light of machining's operation and it is in the conclusion of my bachelory thesis.

Key words

Cutting speed
Feed on rev
Console milling machine
Tooth wheel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JINDRA, Pavel. *Název: Obrábění čelních ozubených kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. s., příloh. doc.Ing.Jaroslav Prokop,CSc práce.

PROHLÁŠENÍ

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

Datum

.....
Jméno a příjmení bakaláře

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
Úvod	8
1 METODY OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL.....	9
1.1 Frézování.....	9
1.1.1 Frézování dělicím způsobem	9
1.1.2 Frézování odvalovacím způsobem.....	10
1.2 Obrážení.....	11
1.2.1 Obrážení hřebenovým nožem princip MAAG:	11
1.2.2 Obrážení kotoučovým nožem	12
1.3 Protahování	13
1.4 Dokončování.....	14
1.4.1 Broušení	14
1.4.2 Broušení dělicím způsobem	14
1.4.3 Broušení odvalovacím způsobem jedním nebo dvěma kotouči.....	15
1.4.4 Švingování.....	18
1.4.5 Lapování.....	18
1.4.6 Zaběhávání	18
2 NÁSTROJE PRO OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL	19
2.1 Čepová modulová fréza.....	20
2.2 Kotoučová modulová fréza	21
2.3 Odvalovací fréza.....	22
2.4 Obrážecí hřebenový nůž	23
2.5 Obrážecí kotoučový nůž	23
2.6 Protahovací nástroje.....	24
3 OBRÁBĚCÍ STROJE PRO OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL....	25
3.1 Konzolová frézka	25
3.1.1 Konzolová frézka svislá	25
3.1.2 Konzolová frézka vodorovná	26
3.1.3 Konzolová frézka univerzální.....	26
3.1.4 Příslušenství konzolových frézek.....	27
3.2 Protahovací stroj.....	28
Závěr.....	29
Seznam použitých zdrojů.....	30
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	31

Úvod

Obrábění ozubených kol představuje velmi složitý obráběcí proces, který je vázán na požadavky spolehlivého odvalu zhotoveného soukolí při jeho provozu. Obrábění ozubení je ovlivňováno požadovanou přesností, především kinematikou obráběcího procesu, nástroje, technologickou základnou, způsoby upnutí obrobku a řezného prostředí. Ve strojírenské výrobě se nejvíce využívá technologie obrábění čelních kol, protože technologická náročnost výroby ostatních druhů ozubení úměrně roste.

Přesná kola se většinou frézují nebo obrážejí, popřípadě protahují.

Požadujeme-li kolo větší přesnosti, pak se boky zubů dokončují. Dokončování provádíme u měkkého materiálu ševingováním a u tvrdých materiálů (kalená ocel) zaběháváním, lapováním nebo broušením. V zásadě se zubové mezery zhotovují buď tvarovými nástroji pomocí dělicí metody nebo se evolventního boku zubu dociluje odvalovací metodou.

1 METODY OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL

Výroba čelního ozubení je velmi specifická část výroby, která využívá různé metody obrábění, jako je frézování, obrážení, protahování a dokončovací metody.

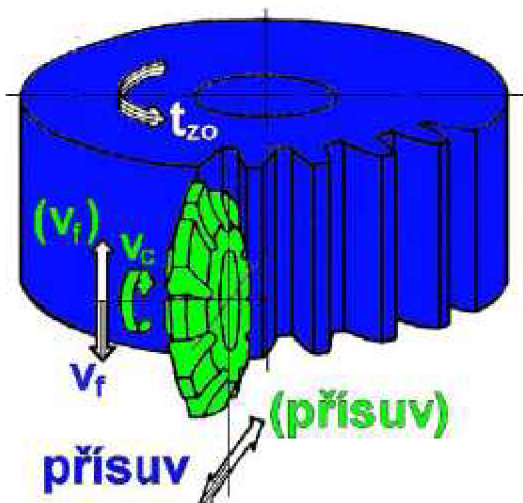
1.1 Frézování

Frézování ozubených kol je jedna z nejpoužívanějších metod obrábění. Využíváme ji jak v kusové výrobě, tak v malosériové, ale i při velkosériové výrobě. Rozeznáváme frézování dělicím způsobem a odvalovacím způsobem.

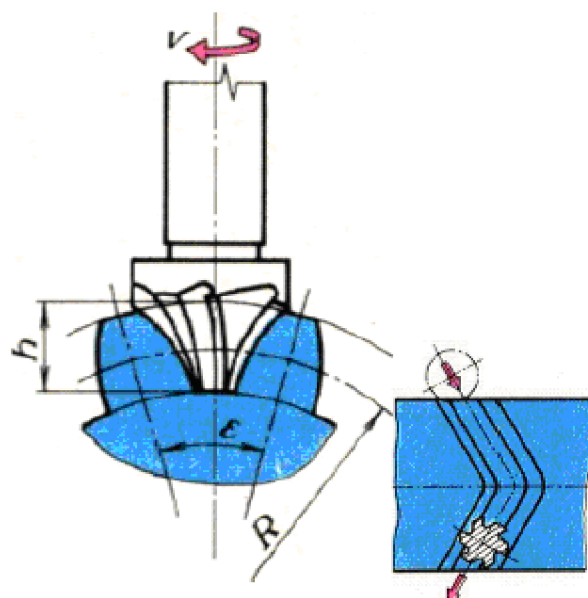
1.1.1 Frézování dělicím způsobem

Při tomto způsobu obrábění ozubení se obrobí jedna zubová mezera, poté se obrobek potočí v dělicím přístroji o zubovou rozteč a frézuje se další zubová mezera. Vyrábí se tak ozubená kola zejména v kusové výrobě. K nevýhodám patří malá přesnost a nízká produktivita, mezi výhody nízká cena nástroje a možnost použít běžné obráběcí stroje.

Používají se dva druhy nástrojů: - kotoučová modulová fréza (obr.1.1)
- čepová modulová fréza (obr.1.2)



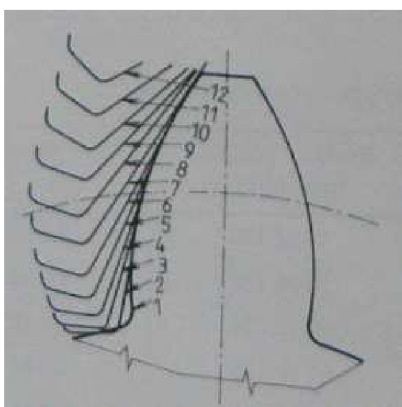
Obr.1.1 Frézování dělicím způsobem kotoučovou modulovou frézou [5]



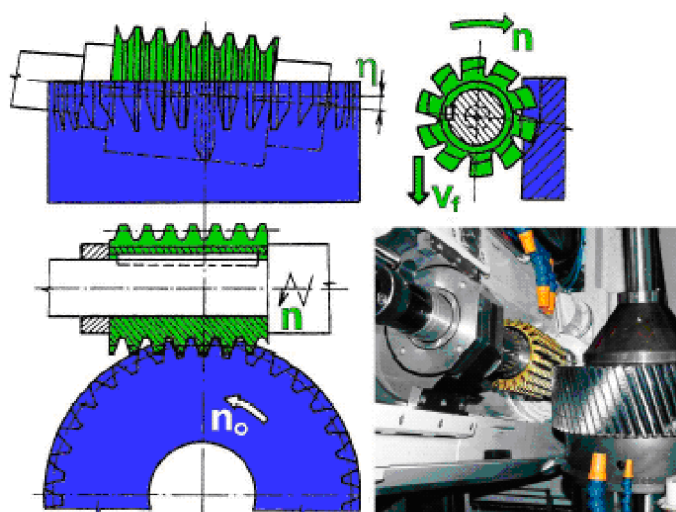
Obr.1.2 Frézování dělicím způsobem čepovou modulovou frézou [7]

1.1.2 Frézování odvalovacím způsobem

Tento způsob obrábění má vzájemně vázaný pohyb frézy a obráběného kola. Jak můžeme vidět na (obr.1.3). Tato metoda je vhodná pro hromadnou výrobu, především pro její vysokou efektivnost a krátké strojní časy. Při řezu se otáčí jak nástroj, tak obrobek, což má za následek plynulé frézování všech zubů. Tento pohyb si můžeme představit jako záběr šneku se šnekovým kolem, akorát s tím rozdílem, že šnek nekoná axiální ani radiální pohyb vůči šnekovému kolu. Poměr otáček nástroje a obrobku činí jednu otáčku nástroje na jednu rozteč zubu. Boky zubů se tvoří jako obálkové plochy jednotlivých poloh nástroje (obr.1.4). Hloubku při frézování nastavujeme na plnou hloubku zubové mezery a vřezává se do obrobku v axiálním směru nebo se zařezává na plnou hloubku v radiálním směru a posouvá se v axiálním směru. V tomto druhém případě dochází ke zkrácení strojního času. Odvalovací frézy jsou univerzální nástroje. Jednou frézou můžeme vyrobit ozubená kola se stejným modulem, ale libovolným počtem a sklonem zubů. Touto metodou mohou vyrobit ozubení korigované i nekorigované. Frézujeme-li kolo s přímými zuby, natáčíme odvalovací frézu k rovině kolmé k ose kola o úhel stoupání šroubovice ω ozubených hřebenů frézy. Avšak u šikmých zubů musíme dosáhnout toho, aby byl vázán nejen otáčivý pohyb frézy na otáčení obroběného kola, ale i posuv frézy vzhledem ke kolu v axiálním směru. Toho dosáhneme diferenciací, kde se oba pohyby sčítají. U šikmého ozubení se úhel natočení musí zvětšit nebo zmenšit o úhel sklonu zubů. Dochází přitom k nerovnoměrnému zatěžování břitů frézy. Proto se používá tzv. krokování, aby se dosáhlo rovnoměrného zatížení. Po obrobení určitého počtu kol se fréza posune ve směru osy. Tak dosáhneme zvýšení trvanlivosti nástroje asi o 50 až 70%. Frézujeme-li diagonálně, udělujeme odvalovací frézy malý osový pohyb v závislosti na přidavném pootočení obrobku.



Obr.1.3 odvalovací frézování přímého ozubení [3]



Obr.1.4 odvalovací frézování přímého ozubení [5]

Kinematika řezného pohybu vychází z podmínky:

$$\frac{n_k}{n_f} = \frac{z_f}{z_k}$$

n_k – otáčky obráběného kola	[min ⁻¹]
n_f – otáčky odvalovací frézy	[min ⁻¹]
z_k – počet zubů obráběného kola	[-]
z_f – počet chodů odvalovací frézy	[-]

Obrábíme-li ozubená kola se šikmými zuby, úhel nastavení odvalovací frézy je:

$$\eta_f = \beta_k \pm \omega_f$$

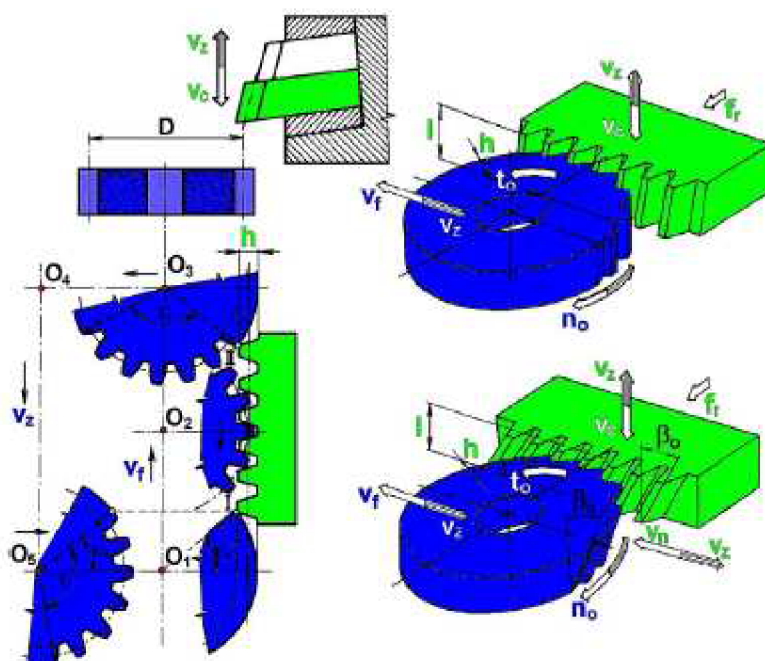
η_f - úhel nastavení odvalovací frézy	[°]
β_k - úhel sklonu zubů obráběného kola	[°]
ω_f - úhel stoupání odvalovací frézy	[°]

1.2 Obrážení

Odvalovacím obrážením lze obrábět dvojím způsobem a to obrážecím hřebenem nebo obrážecím kotoučovým nožem.

1.2.1 Obrážení hřebenovým nožem princip MAAG:

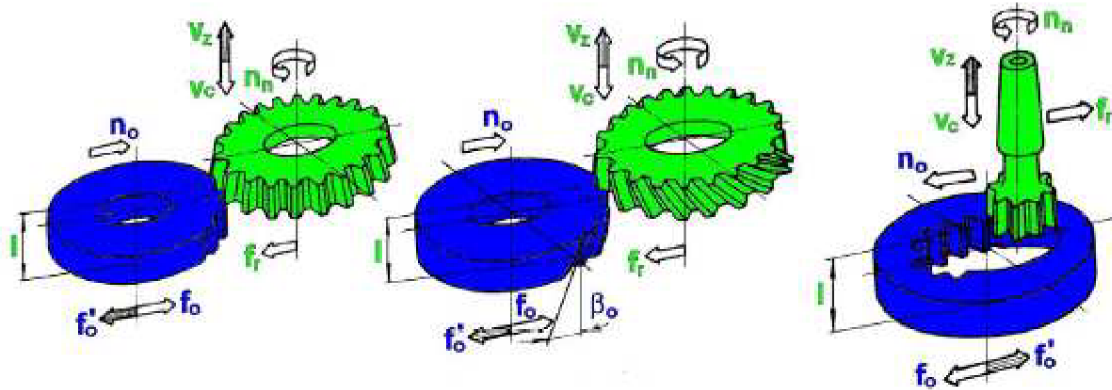
K tomuto způsobu obrábění využíváme obrážecí stroj a jako nástroj slouží obrážecí nůž. Tento způsob obrábění je založen na principu záběru ozubeného hřebene (nástroje) s ozubeným kolem (obrobkem). Řezný pohyb koná nástroj přímočarý vratný. Odvalování obrobku nám umožňuje složení otáčivého a zároveň posuvného pohybu obrobku (obr.1.5). Tím získáme evolventní tvar zubu. Nástroj nastavujeme na plnou hloubku zubů a při práci se vřezává do obrobku. Jakmile se obrobí několik zubových mezer, otáčení i posuv obrobku se zastaví a obrobek je přesunut do výchozí polohy. Počet obrobených mezer je dán délkou hřebenového nože. Odvalovacím obrážením je možné na obrážecích strojích jedním nástrojem požadovaného modulu vyrábět ozubená kola libovolného počtu zubů a to korigovaná i nekorigovaná. V případě výroby kol se šikmými zuby smýkadlo vykloníme o úhel sklonu zubů. Chceme-li vyrábět šípové ozubení, musíme použít stroj, který je vybaven dvěma protiběžnými smýkadly.



Obr.1.5 Obrážení hřebenovým nožem [5]

1.2.2 Obrážení kotoučovým nožem

Opět pro tento způsob obrábění používáme obrážecí stroj, ale místo hřebenového nože upínáme do sklíčidla kotoučový nůž (obr.1.6). Základním principem je záběr dvou kol bez vůle (obr.1.7), při kterém se nástroj i obrobek po sobě odvalují, jako kdyby zabíralo soukolí dvou kol. Jedná se o pohyb relativní vzhledem k obráběnému kolu. Pootáčení nože je tedy vázané na pootáčení obráběného kola. Nástroj, který se upíná do smýkadla, se pohybuje ve směru osy přímočaře vratně. Tento pohyb nástroje (přímochařý vratný) současně s rotačním pohybem má za následek vznik evolventy. Tvar takto vytvořené evolventy je v literatuře popisován jako obálka evolventních boků zubů obrážecího nože. Na začátku záběru vniká nůž postupně až na obráběnou hloubku za současného odvalování. Aby se kolo mohlo takto obrobit v celém obvodu, musí se potočit víc než jednou dokola. Toho dosahujeme pomocí vačky. Jestliže obrábíme kolo na několik třísek, použijeme jinou vačku. Takovou, která nám přisune nůž do prvního záběru. Jakmile nůž projede jedním obvodem, projede druhým, atd., až dosáhneme konečné hloubky. Pro snížení možnosti vylomení břitu nože, zvýšenému opotřebení, nebo poškození obrobené plochy se nůž při vratném pohybu nepatrně oddálí od obrobku. V případě výroby kol se šikmými zuby musí nástroj konat nejen řezný pohyb a vratný pohyb, ale musí se kolem své osy pootáčet, aby ostří mohlo vytvořit příslušnou šroubovici na obráběném kole.



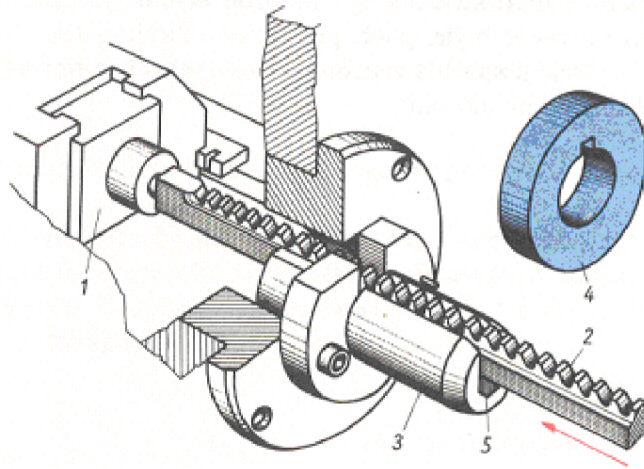
Obr.1.6 Obrázení kotoučovým nožem [5]



Obr.1.7 Obrázení vnitřního ozubení kotoučovým nožem [8]

1.3 Protahování

Protahování (obr.1.8) se s úspěchem používá ve velkosériové výrobě, protože při jednom tahu nástroje mohou celou zubovou mezeru vyrobit naráz. Po protažení jedné zubové mezery se pootočí dělicím přístrojem o jednu zubovou rozteč a celý cyklus se opakuje znovu. Výhodou této metody je, že můžeme vyrábět vnější, ale především vnitřní ozubení. Naopak nevýhodou je, že musíme pro každý průměr, modul, popřípadě tvar zubu zvláštní nástroj, který je velmi nákladný. Požadovaná přesnost ozubení je přímo závislá na přesnosti vyrobeného protahovacího nástroje.



Obr.1.8 Princip protahování [6]

1 – tažný beran, 2 – protahovací nástroj, 3 – vodící pouzdro, 4 – obrobek, 5 – podložka

1.4 Dokončování

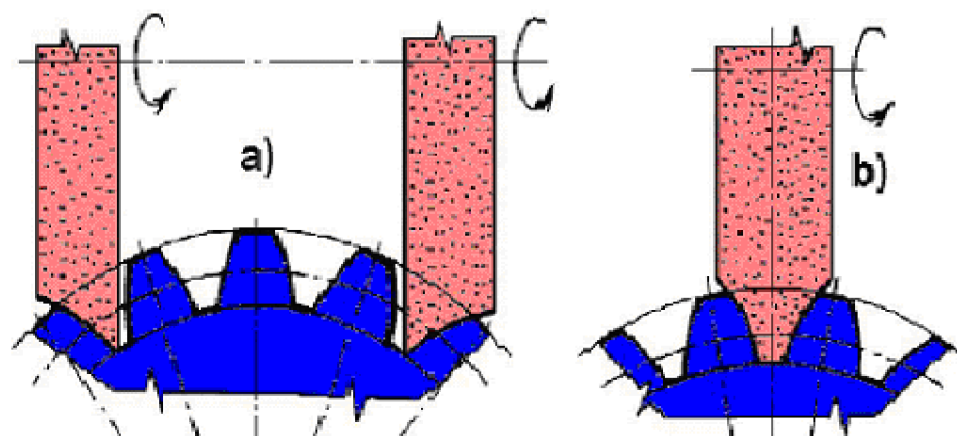
Jedná se o všechny operace prováděné na boku zubu kola, které nám zlepšují kvalitu povrchu boku zubu. Mezi tyto metody patří: broušení, švingování, lapování, zaběhávání.

1.4.1 Broušení

Broušení nám slouží k odstraňování nepřesností po předchozím obrábění a deformace vzniklé tepelným zpracováním ozubených kol. Broušení ozubených kol rozdělujeme na broušení: dělicím způsobem tvarovým kotoučem, dělicím způsobem s odvalem boku zubu a odvalovacím způsobem.

1.4.2 Broušení dělicím způsobem

Provádíme jej brousícími kotouči, které mají tvar jednoho boku zubu, kterými brousíme odpovídající boky zubů. Také se používají kotouče s tvarem zubní mezery, kterými brousíme oba boky zubů naráz (obr.1.9). Jakmile vybrousíme jeden bok zubu nebo jednu zubovou mezeru, obrobek se potáčí dělicím zařízením o jednu rozteč. K broušení se používají speciální stroje, které se využívají na výrobu kol do průměru 450 mm. Jedná se o vysoce produktivní způsob dokončování, ale je méně přesný vlivem úbytku brusného kotouče. Tím je i nákladný, a to nejen na spotřebu brusných kotoučů, ale i na stroje.



Obr.1.9 Broušení dělicím způsobem [5]
a) dvěma kotouči, b) jedním kotoučem

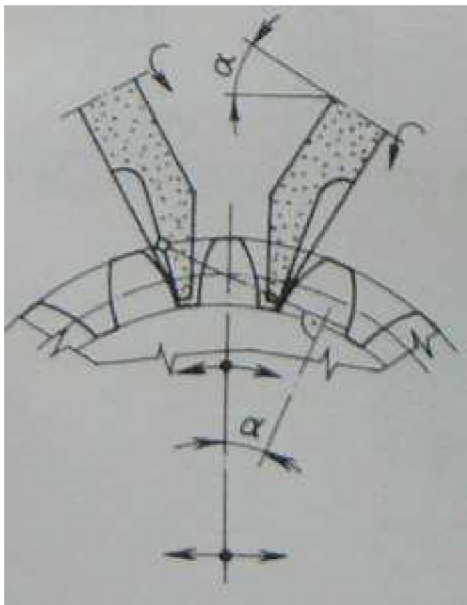
1.4.3 Broušení odvalovacím způsobem jedním nebo dvěma kotouči

a) Systém Maag

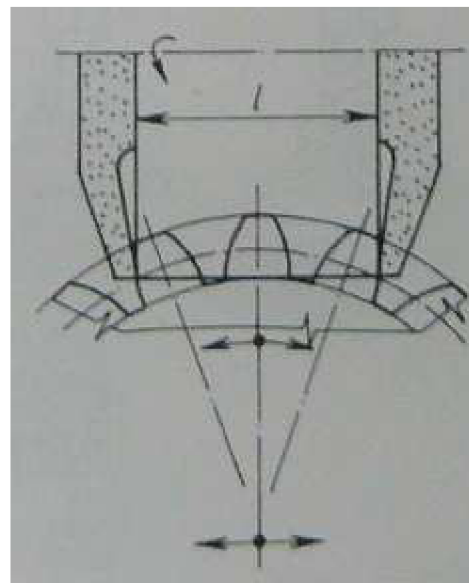
Jedná se o přesnější a hospodárnější způsob dokončování.

K nejpoužívanějším způsobům patří broušení s odvalem zubu po čelní ploše brousícího kotouče (obr.1.10). Odvalovací pohyb se tvoří tzv. superpozicí příčného a otáčivého pohybu obrobku. Otáčení obrobkem je zajištěno pomocí odvinování ocelového pásu po kotouči, který musí mít průměr základní kružnice broušeného ozubeného kola. Postupné odvalování a broušení zubové mezery máme zajištěno střídavým pohybem příčného suportu. Mimo příčného pohybu koná suport podélný pohyb ve směru osy kola, který zajišťuje broušení zubu v celé šířce ozubení. Jakmile se celý cyklus dokončí, pootočí se kolo o jednu rozteč a celý cyklus se opakuje až do obroušení všech zubních mezer. Aby se zajistila co největší možná přesnost této metody, po obroušení jedné zubové mezery musí dojít k orovnění brusného kotouče a jeho opětovnému nastavení do výchozí (správné) polohy. Brusné kotouče představují boky zubů hřebene, které musí odpovídat požadovanému tvaru. Jestliže brousíme kolo s modulem $m > 9$ mm, používá se broušení dvěma kotouči v jedné zubové mezeře. Brousíme-li kola menších modulů, jsou brusné kotouče vzdáleny o jednu rozteč (obr.1.11). Při broušení ozubených kol se šikmými zuby musíme vřetenem s brousícími kotouči natočit pod úhlem sklonu zubů vzhledem k ose ozubeného kola. Stroje, určené k odvalovacímu broušení s dělením (Maag), se používají na výrobu ozubených kol do modulu $m = 40$ mm, průměru 4600 mm a sklonem zubů až 45° . Na obdobném principu

pracují brusky s jedním brusným kotoučem. Profil těchto kotoučů se shoduje s profilem zubu ozubeného hřebene. Při broušení se brousící kotouč otáčí a koná přímočarý vratný pohyb ve směru osy obráběného kola. Vznik odvalovacího pohybu je v obou směrech uskutečňován otáčením broušeného kola kolem své osy a zároveň posuvem ve směru osy brousícího kotouče. Dělicí pohyb koná obrobek. Broušení probíhá postupně od paty k hlavě zubu po boku zubu. Chceme-li brousit ozubená kola se šikmými zuby, musíme vyklonit smýkadlo s brousícím kotoučem o úhel sklonu zubů. Tímto způsobem lze brousit ozubení s modifikací profilu a soudečkovým tvarem zubů. Tohoto způsobu dokončování se využívá u modulů $m = 1,5$ až 20 mm, průměru 30 až 2000 mm a pro šikmé ozubení s úhlem sklonu zubů až 45°. Odvalování nám zajišťuje šnekový převod, nebo odvalování dosahujeme stejně jak u strojů Maag.

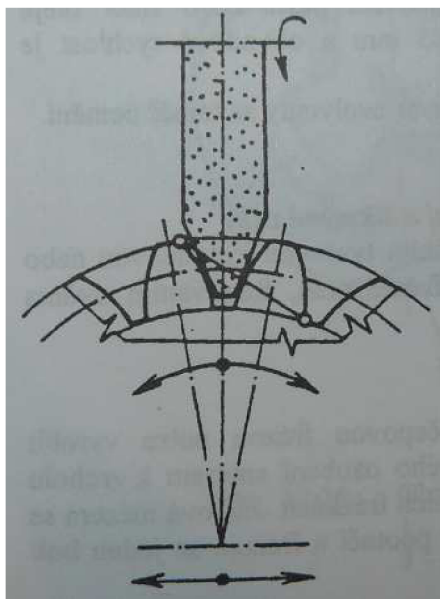


Obr.1.10 Broušení s odvalem zubu po čelní brousícího kotouče [3]



Obr.1.11 Brusné kotouče ploše vzdáleny o jednu rozteč [3]

b) Systém Niles

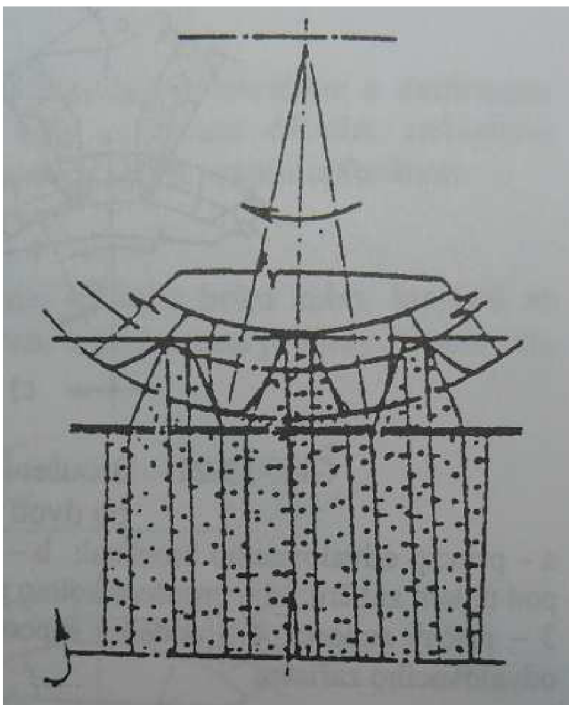


Obdobný postup zhotovení ozubení je u systému Niles, ale profil brousícího kotouče je stejný s profilem zubu ozubeného hřebene. Schéma odvalování boku zubu po jednom brousícím kotouči je naznačen na obr.1.12. Brousící kotouč se otáčí a vykonává přímočarý vratný pohyb ve směru osy broušeného kola. Odvalovací pohyb v obou smyslech je zajištěn otáčením broušeného kola kolem své osy při současném posuvu ve směru osy brousícího kotouče. Dělicí pohyb koná obráběné kolo. Broušení zubu probíhá postupně od paty k hlavě zubu. Brousíme-li ozubené kolo se šikmými zuby, vykloníme smýkadlo s brousícím kotoučem o úhel sklonu zubu β .

Obr.1.12 Broušení s odvalem zubu - systémem Niles

c) Systém Reishauer

Toto broušení nám umožňuje dosáhnout největšího výkonu při broušení ozubení. Vysokého výkonu dosahujeme pomocí brousícího kotouče, který má tvar šneku (obr.1.13). Tento způsob obrábění se shoduje s odvalovacím frézováním, akorát nahrazujeme odvalovací frézu brousícím šnekem. Odvalovací broušení se využívá zejména při broušení menších modulů. Obrábíme-li ozubené kolo s modulem $m < 3$ mm, umožňuje nám metoda



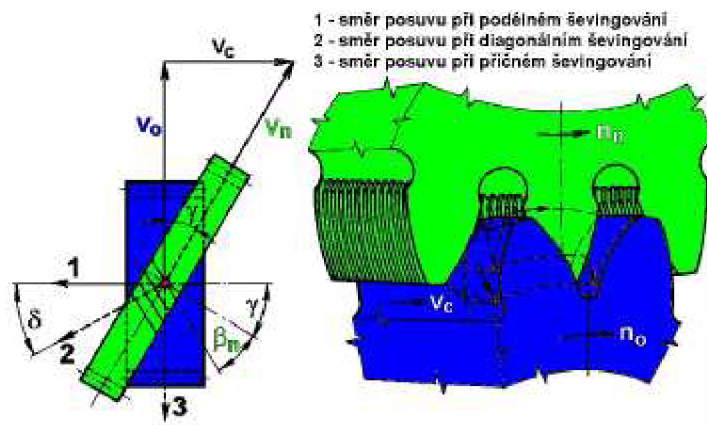
brousit do plného materiálu. Základní podmínkou je však synchronizace běhu nástroje a obrobku. Rozhodujícím faktorem pro přesnost broušení ozubení je tvarování brousícího kotouče z hlediska profilu. Brousící kotouč bývá průměru 350 až 400 mm. Značná pozornost se musí věnovat jeho vyvážení a to jak statickému tak dynamickému.

Obr.1.13 odvalovací broušení čelních ozubených kol brousícím šnekem – systém Reishauer

1.4.4 Švingování

Švingování se využívá jako jedna z dokončovacích operací pro nekalená ozubená kola. S výhodou můžeme metodu využívat u kol mající tvrdost materiálu HRC 38.

Základním principem je odebírání velmi jemné třísky, kterou odebíráme z boku zubů (obr.1.14). Abychom dosáhli takového úběru, musí švingovací kolo a dokončované kolo tvořit soukolí. Mimo otáčivého pohybu musí konat také relativní pohyb.



Obr.1.14 Záběr švingovacího kola [5]

1.4.5 Lapování

Při tomto procesu se tak zlepšuje drsnost povrchu ozubení, zejména tepelně zpracovaných kol. Při lapování máme lapované kolo v záběru nejčastěji s litinovým kolem, které má stejný modul ozubení. Toto litinové kolo je nástroj, a proto je hnané. Zatím, co lapované kolo, které je obráběné, musí být bržděné a konat kmitavý pohyb ve směru osy kola. Do záběru těchto kol přivádíme lapovací pastu, nebo směs oleje s brusivem. Přídavek na lapování bývá 0,02 až 0,05 mm a obvodová rychlost kol činí do 1 m/s. Přesnosti povrchu při lapování jsou v tab. 3,83; 3,85; 3,86.

1.4.6 Zaběhávání

Tento způsob dokončování, nám stejně jako v předchozím případě, zlepšuje drsnost povrchu především u tepelně zpracovaných kol. Zaběhávání se odlišuje od lapování tak, že zde nemáme litinové kolo, které nám slouží jako nástroj, ale jsou zde dvě spoluzabírající ozubená kola. Princip je podobný jako u lapování. Jedno kolo je hnané a druhé bržděné. Do záběru kola se přivádí proud oleje s brusivem, popřípadě lapovací pasta. Přídavky u zaběhávání jsou 0,01 až 0,025 mm. Tento způsob se používá především u kol, které nemůžeme dokončovat jiným způsobem. Dosahované přesnosti povrchu při zaběhávání nalezneme v tab. 3,83; 3,85; 3,86.

2 NÁSTROJE PRO OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL

Nástroje pro obrábění jsou nejčastěji vyráběny z rychlořezné oceli, a proto je povlakujeme pro zvýšení jejich trvanlivosti a řezných výkonů.

Rychlořezné nástrojové oceli

Tepelné zpracování těchto materiálů probíhá při kalících teplotách 1250 – 1290 °C. Ochlazování probíhá při teplotě 620 °C a popouští se při teplotě 580 – 590 °C.

Tímto materiálem jsme schopni obrábět, i když tříška je rozžhavana do červena. Takto obrábět kovy není možné jinými nástrojovými materiály, než-li rychlořeznou nástrojovou ocelí, protože by došlo k okamžitému zničení nástroje. Řezná rychlost se nám zvýšila z původních 5 m/min na „neuvěřitelných“ 35 m/min. Díky tomuto zvýšení řezného výkonu se rychlořezná nástrojová ocel začala označovat jako HSS (High Speed Steel), který se používá dodnes. Rychlořezná nástrojová ocel se používá ve stavu litém, tvářeném nebo lisovaném z prášku za tepla. Využíváme k tomu technologie HIP (Hot Isostatic Pressing), ASP (Anti-Segregation Process), atd. V tab. 2.1 nalezneme krátký přehled nástrojových ocelí.

Tab.2.1 Přehled nástrojových ocelí

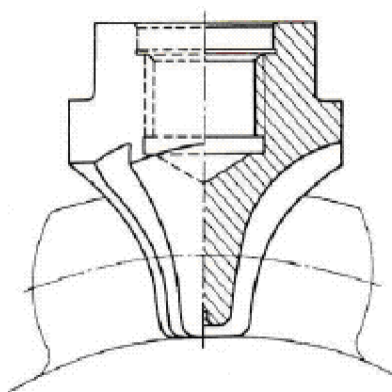
Nástrojové oceli	Nelegované (uhlíkové)	Legované (nízko, středně a vysokolegované)	rychlořezné
Označení dle ČSN	19 0xx – 19 2xx	19 3xx – 19 7xx	19 8xx
Obsah uhlíku (%)	0,3 – 1,4	0,8 – 1,2	0,7 – 1,3
Obsah legur (%)	Do 1%	10 – 15	Víc než 30%
Legury	Mn, Cr, Si	Cr, W, Mo, V, Mn, Si, Ni	W, Mo, Cr, V, Co
Kalící prostředí	Voda	Olej	Solné lázně, vzduch, vakuum (i tekutý dusík)
Dosažitelná tvrdost (HRC)	62 – 64	66	64 - 68
Typické aplikace	Ruční nářadí – čepele, sekáče, pilníky, pilky na kov	Strojní nářadí pro nízké řezné rychlosti (do 25m/min) – vrátky, frézy, revolverové nože, protahovací trny	Strojní nástroje pro řezné rychlosti (do 40 m/min) – vrátky, frézy, výhrubníky výstružníky, závitníky

Povlaky používané u HSS ocelí a jejich vlastnosti:

- TiN** - povlak nitrid titanu – jedná se o nejrozšířenější použití optimálního povlaku pro HSS pro řadu použití. Mikrotvrдость dosahujeme 2800 – 3000 HV. Používají se u řezných i střížných nástrojů, kde dochází až k trojnásobné tvrdosti. Tento nitrid titanu má nízký koeficient tření a zvýšenou odolnost proti opotřebení, které jsou vhodné pro vrtáky, frézy, závitníky, střížníky, atd.
- Ti(C,N)** - vhodný pro řezné nástroje vyrobené z HSS, ale především pro tvářecí a střížné nástroje, u kterých dosahujeme až desetinásobného prodloužení životnosti. Nástroj má vyšší odolnost při mechanickém namáhání břitu. Tyto nástroje se využívají při frézování legované a korozivzdorné oceli, šedé litiny a mědi.
- (Ti,Al)N** - u tohoto povlaku vzniká tenká vrstva Al_2O_3 při vyšších řezných rychlostech, která chrání břit před další oxidací a také snižuje tření na břitu. Lépe odolává vysokým teplotám a má přibližně stejnou tvrdost jako TiN. Vlivem nízké tepelné vodivosti, odolnosti pro oxidaci a zvýšené tvrdosti za tepla je povlak předurčen pro obrábění při vysokých rychlostech bez použití chlazení.
- CrN** - nitrid chrómu – povlak vhodný pro obrábění mědi a Al, ale dá se i použít u střížných a tvářecích nástrojů z méně kvalitních ocelí. Nejvhodnější je použít je při teplotách v rozmezí 190 – 220 °C. Vrstva má relativně nižší tvrdost, ale odolává ulpívání obráběného materiálu (adheznímu ulpívání a otěru).
- Ti₂N** - tohoto povlaku se využívá u dokončovacích operacích obráběním korozivzdorné oceli. Využíváme ho nejen při soustružení a frézování, ale i stříhání, tváření za studena atd. Řezné podmínky se musí nastavovat s přihlédnutím ke složení obráběného materiálu. Nejčastěji se povlakuje z HSS, který obsahuje 8 % Co.

2.1 Čepová modulová fréza

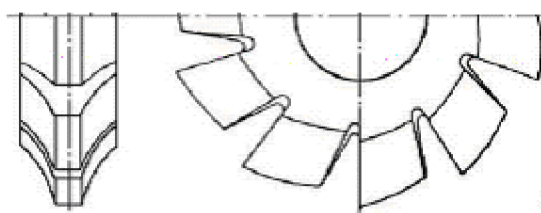
Profil frézy přesně odpovídá profilu zubové mezery pro danou velikost modulu. Čepová modulová fréza (obr.2.1) se vyrábí z nástrojové rychlořezné oceli např.: 19 800, 19 824 a 19 826. Tvrдость břitu frézy má dosahovat HRC (62 až 64). U fréz větších rozměrů jsou břity uspořádány do šroubovice, aby se zajistil rovnoměrnější záběr v řezu a tím se zlepšily parametry obrábění. Čepová modulová fréza pro hrubování ozubení s modulem $m > 30$ mm má lichoběžníkový profil a břity uspořádané ve šroubovici. Tento tvar frézy a uspořádání břitů umožňuje použití větších posuvů. Tímto nástrojem se vyrábějí ozubené hřebeny větších modulů.



Obr.2.1 Čepová fréza [5]

2.2 Kotoučová modulová fréza

Tvar odpovídá profilu zubové mezery (obr.2.2) a vyrábí se pro modul $m = 0,2$ až 16 mm. Materiálem modulové frézy je rychlořezná ocel. Modulová fréza se používá pro různé počty zubů daného modulu. U fréz používaných při větších sériích výroby, nebo u větších modulů, se břity osazují plátky z rychlořezné oceli nebo slinutými karbidy. Použijeme-li slinutý karbid na břity, můžeme zvýšit řeznou rychlost a posuv nástroje. Tělo nástroje je vyrobeno z levnější a méně kvalitní oceli, jakou je např. dle normy ČSN ocel 11 500, která odpovídá normě dle EN oceli E 295. Tělo nástroje má stejný profil jako zubní mezera zhotovovaného modulu. Plátky se na tělo naletují tvrdou pájkou, nebo mohou být vyměnitelné. Tyto plátky se využívají především u fréz větších rozměrů. Jejich připevnění k tělu je pomocí šroubků a rozpínacích klímků. Takto se co nejhospodárněji využije kvalitnějšího materiálu, který je dražší. Abychom nemuseli mít frézy pro každý modul zvlášť, vyrábí se frézy v tzv. sadách. Pomocí sad dosahujeme požadované přesnosti, a zároveň hospodárně využíváme materiál nástroje. Sady se vyrábějí osmičlenné pro moduly $m = 0,3$ až 8 mm a patnáctičlenné pro moduly větší jak $m = 8$ mm (tab.2.1). Tyto parametry však neplatí u dokončovacích kotoučových modulových fréz. Dokončovací frézy pro evolventní ozubení s úhlem záběru 20° nebo 15° se dle příslušné normy ČSN vyrábí v tomto odstupňování:



Obr.2.2 Kotoučová modulová fréza [5]

Tab. 2.1 odstupňování sad kotoučových modulových fréz

Modul	Odstupňování
$m = 0,3$ až $0,8$ mm	po $0,1$ modulu
$m = 1$ až 4 mm	po $0,25$ modulu
$m = 4$ až 7 mm	po $0,5$ modulu
$m = 7$ až 16 mm	po 1 modulu

Hloubka frézování h je také dána normou, která nám udává $h = 2,25 \cdot m$. Frézujeme-li čelní kolo se šikmými zuby, volíme číslo kotoučové frézy podle porovnávacího počtu zubů z_n .

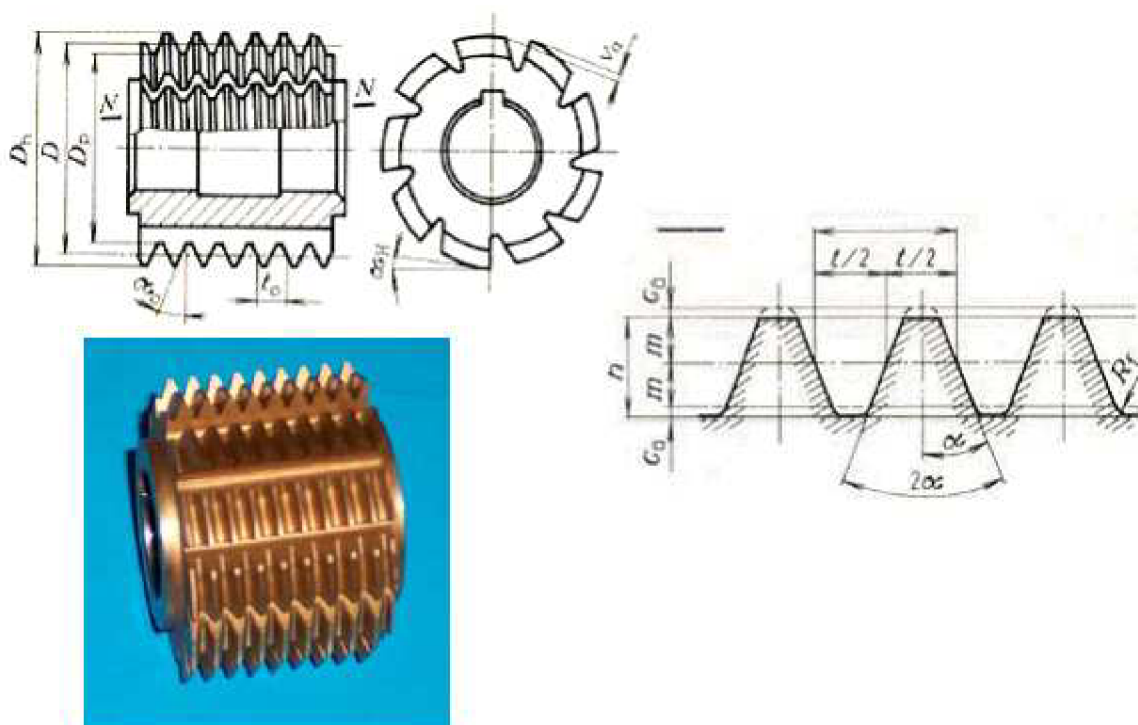
Výpočet virtuálního počtu zubů:
$$z_n = \frac{z}{\cos^3 \beta}$$

z - počet šikmých zubů frézovaného kola

β - úhel sklonu zubů k ose frézovaného kola

2.3 Odvalovací fréza

Odvalovací fréza má tvar válcové frézy a na obvodu má zubní profil tvaru hřebene (obr.2.3). Tvořící šroubovice má stoupání jedné rozteče, je-li fréza jednoduchá, nebo dvou roztečí, je-li dvouchodá. Základní rozměry a druhy nástrojů máme uvedené v normách ČSN 22 2501 a ČSN 22 2507. Jsou zde stanoveny jednoduché frézy pro úhel záběru 20° a 15° . V další normě ČSN máme rozdělené odvalovací frézy na celistvé, které jsou vyráběny pro moduly $m = 1$ až 20 mm a na dělené, které nám zvyšují produktivitu při výrobě ozubení. Tyto frézy mají větší průměr i délku, a při prvočíselném počtu hřebenů dosahují větší přesnosti frézovaných kol. V případě hrubovacích fréz, které jsou určeny pro větší moduly, mají řeznou část uspořádanou buď do sekcí nebo do šroubovice. Zde se střídají břity odebírající plnou výšku, ale menší tloušťku profilu se zuby s plnou tloušťkou, ale menší výškou profilu. Tím dosáhneme zvýšení posuvu. Odvalovací frézy jsou vyráběny z nástrojové oceli, rychlořezné oceli nebo její břity jsou opatřeny slinutými karbidy, které nám dovolují zvýšit řezné parametry.



Obr.2.3 Odvalovací fréza [7] [8]

2.4 Obrážecí hřebenový nůž

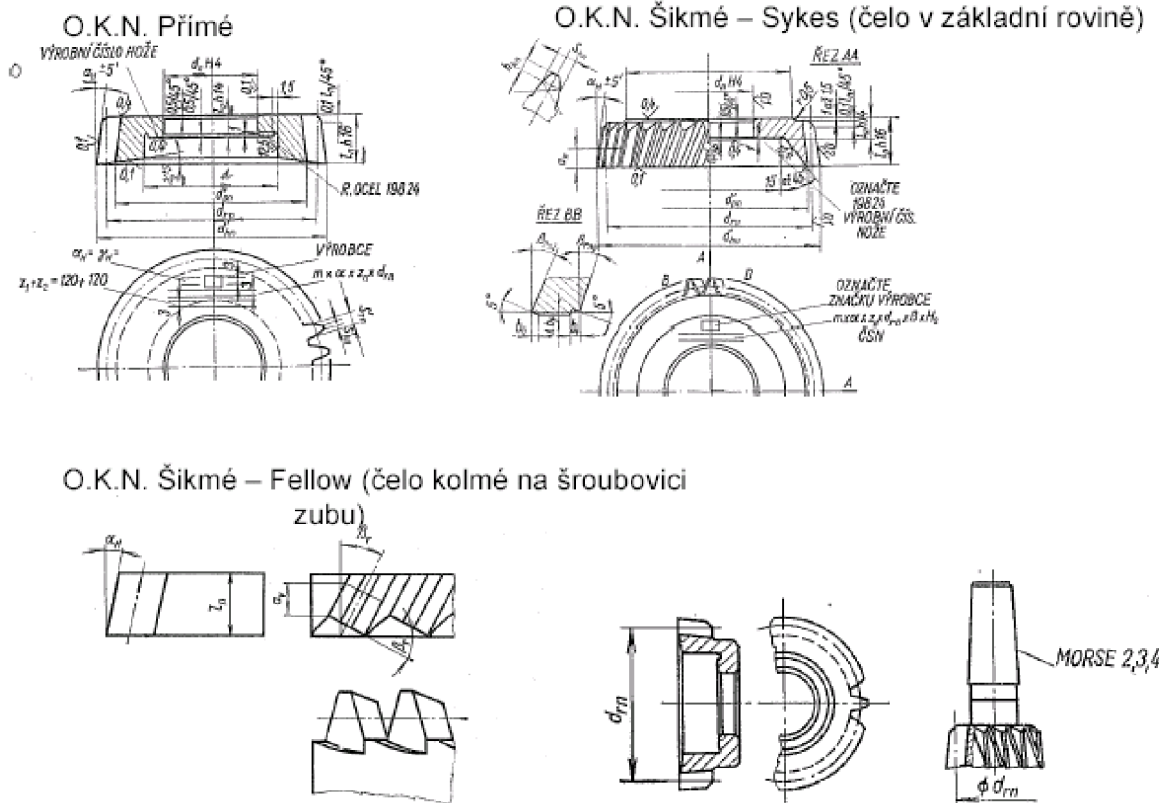
Hřebenové nože pro moduly $m = 1$ až 20 mm nalezneme v normě ČSN 22 2540. Obrážecí hřebenový nůž má tvar hřebene obr.2.4. Jednotlivé zuby mají tvar lichoběžníku. Posouváním hřebene a zároveň otáčením obrobku docílujeme vzniku evolventy.

2.5 Obrážecí kotoučový nůž

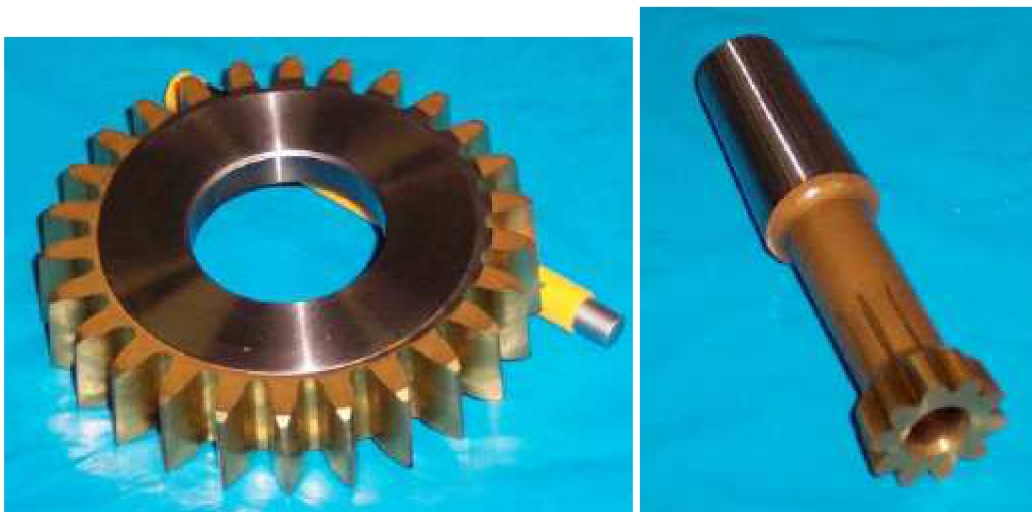
Obrázení kotoučovým obrážecím nožem je podobné jako u obrázení hřebem. Nástroj má tvar ozubeného kola, na jehož břitech jsou vytvořeny úhly čela a hřbetu.

Na obr.2.5 je naznačen princip obrázení kotoučovým nožem. Vzájemný valivý pohyb nástroje a obrobku se tvoří kinematikou speciálního obrážecího stroje. Na začátku práce je obrobek odsunut na okraj záběru nástroje (na obrázku vlevo). Spuštěním hlavního pohybu nůž odebere první třísku. Ve chvíli, kdy je nástroj v horní úvratí, tak se současně pootočí nástroj i obrobek a obrobek se přisune k nástroji o tloušťku třísky. Nástroj vykoná další zdvih a celý děj se opakuje až do chvíle, kdy se osy nástroje a obrobku dostanou do vzdálenosti, odpovídající dotyku roztečných kružnic. Pak se vypne přísuv, a probíhá pouze hlavní pohyb a odvalovací pohyb. Kolo je dokončeno po jedné své otáčce a části otáčky druhé, kdy na počátku práce byl nástroj přisouván do obrobku a zubové mezery ještě neobrážel v plné hloubce. Na obr.2.6 jsou povlakované nástroje, které při této metodě používáme.

Rozdělení obrážecích nožů



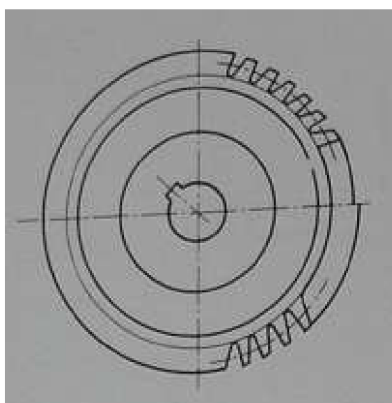
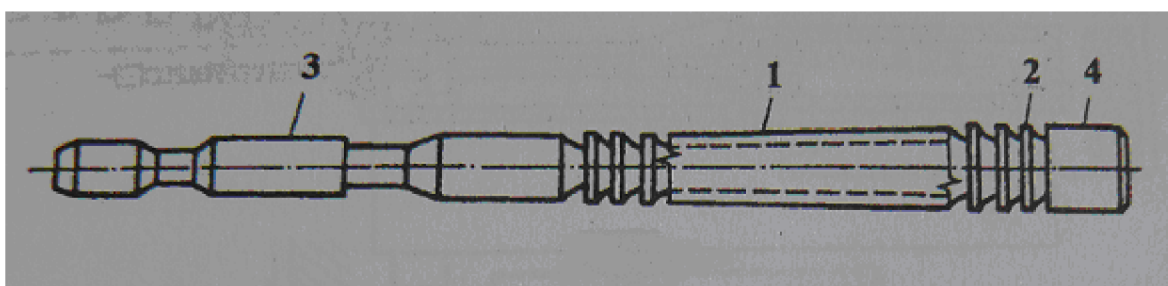
Obr.2.5 Obrážecí kotoučový nůž [7]



Obr.2.6 Obrážecí kotoučový nůž, obrážecí kotoučový nůž stopkový [8]

2.6 Protahovací nástroje

Nástrojem je buď protahovací trn, nebo kruhový trn (obr.2.7). Protahovací trn je zpravidla monolitní, ale pro obrábění větších modulů se vyrábějí skládané. Nástroj je obvykle vyroben z rychlořezné oceli jako celistvý, nebo je jeho tělo vyrobeno z konstrukční oceli a na něm jsou napájeny segmenty z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu. Kalibrovací část protahováku má přesný tvar hotové zubové mezery vyráběného kola. Při uspořádání břitů do kruhu se ozubení vyrábí pomocí tzv. kruhového protahováku. Pro každý průměr, modul, popřípadě tvar zubu je zapotřebí zvláštní nástroj, který je velmi nákladný. Proto je tento způsob výroby vhodný pro velkosériovou a hromadnou výrobu vnějšího, ale především vnitřního ozubení. Přesnost ozubení je přímo závislá na přesnosti, s jakou byl nástroj vyroben.



obr.2.7 Protahovací trn a kruhový protahovací trn [1]

1 – řezná část, 2 – kalibrovací část, 3 – zaváděcí část, 4 – zadní část

3 OBRÁBĚCÍ STROJE PRO OBRÁBĚNÍ ČELNÍCH OZUBENÝCH KOL

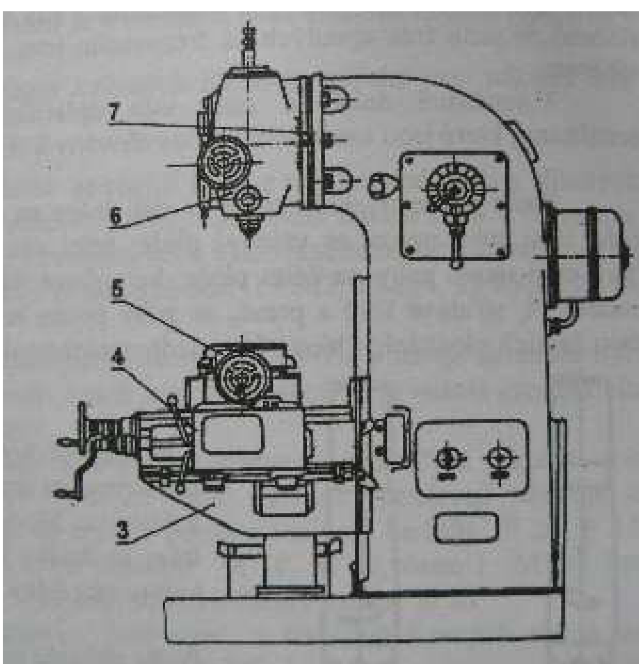
Obráběcí stroje představují ve výrobě základní prvek celého obráběcího systému, jakým je stroj – obrobek – nástroj, ve kterém realizujeme vlastní obráběcí proces. Obráběcí stroje, užívané při výrobě ozubených kol, členíme na: konzolové frézky, protahovací stroje a příslušenství strojů.

3.1 Konzolová frézka

Nejdůležitějším znakem těchto strojů je konzola, kterou můžeme výškově přestavovat. Konzola je umístěna na stojanu, po kterém se pohybuje. Konzolové frézky rozdělujeme na: konzolové frézky svislé, konzolové frézky vodorovné a konzolové frézky univerzální. Další nedílnou součástí těchto strojů je příslušenství konzolových frézek.

3.1.1 Konzolová frézka svislá

Konzolová frézka svislá (obr.3.1) má kolmo umístěnou pracovní osu k upínací ploše stolu. U těchto strojů je připevněna svislá hlava s pracovním vřetenem, nebo je vřeteno umístěno přímo ve stojanu stroje. V případě svislé hlavy máme možnost ji natáčet o úhel $\pm 45^\circ$. Pracovní vřeteno stroje bývá svisle přestavitelné. Tato frézka má konzolu, na které je umístěn podélný stůl, příčné saně a uvnitř konzole je převodový mechanismus, pomocí kterého je zajištěn posuv stolu přes posunový šroub. Tato převodová skříň nám zajišťuje plynulý posuv do záběru v závislosti na otáčkách vřetene. Celou konzolou můžeme pohybovat nahoru a dolů, což nám umožňuje nastavit požadovanou hloubku řezu a zachovat dostatečnou tuhost stroje při obrábění obrobku. Touto frézou můžeme vyrábět ozubená kola s přímými zuby a použijeme-li univerzální konzolovou frézku, která má stejnou konstrukci, ale její stůl je otočný, můžeme vyrábět i ozubená kola se šikmými zuby.

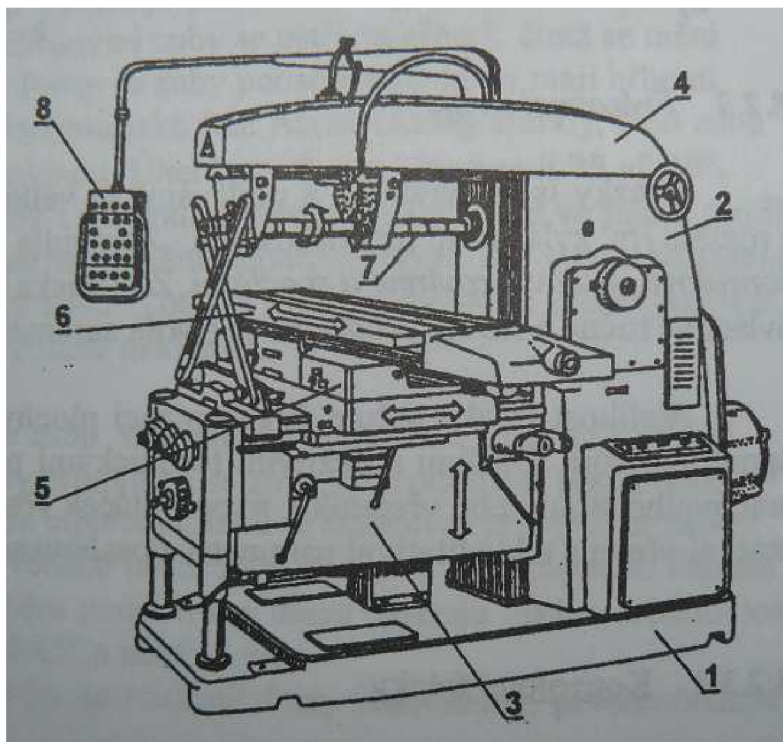


obr.3.1 Konzolová frézka svislá [1]

- 1 základna
- 2 stojan
- 3 konzola
- 4 příčné saně
- 5 podélný pracovní stůl
- 6 naklápěcí vřeteník
- 7 kruhová základna vřeteníku

3.1.2 Konzolová frézka vodorovná

Jak už název napovídá, frézka má opět konzoly s převodovým ústrojím pro posuv podélného stolu, který je na ní umístěn spolu s příčnými saněmi. Pracovní osa frézky je umístěna vodorovně, rovnoběžně s podélným stolem stroje a kolmo na směr pohybu podélného stolu. Těmito frézky se obrábějí ozubená kola s přímými, šikmými zuby. Při výrobě šikmých zubů se musí podélný stůl natočit o požadovaný úhel. Jako nástroje zde slouží kotoučová modulová fréza, která je upevněna ve frézce pomocí trnu. Tento trn může být podepřen jedním nebo dvěma opěrnými ložisky. Na (obr.3.2) je popsána tato frézka.

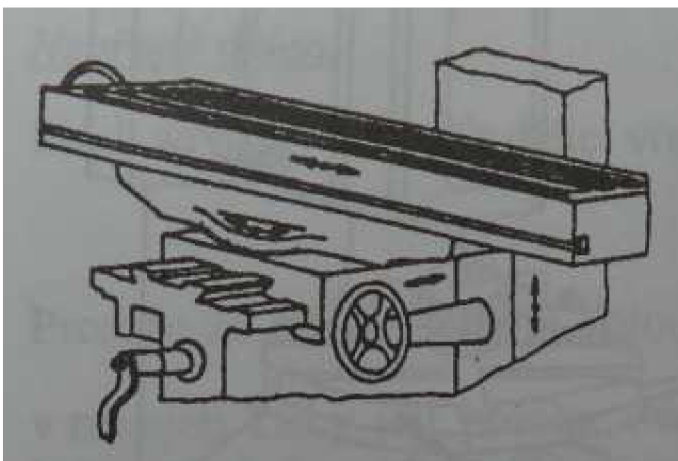


obr.3.2 Konzolová frézka vodorovná [1]

- 1 základna
- 2 stojan
- 3 konzola
- 4 rameno
- 5 příčné saně
- 6 podélný pracovní stůl
- 7 vřeteno
- 8 kruhová základna vřeteníku

3.1.3 Konzolová frézka univerzální

Univerzální frézky se od konzolových neliší. Liší se jen uložením podélného pracovního stolu (obr.3.3), se kterým je možné otáčet o $\pm 45^\circ$ na obě strany ve vodorovné rovině kolem osy kolmé k upínací ploše stolu.



obr.3.3 Konzole s natáčecím stolem [1]

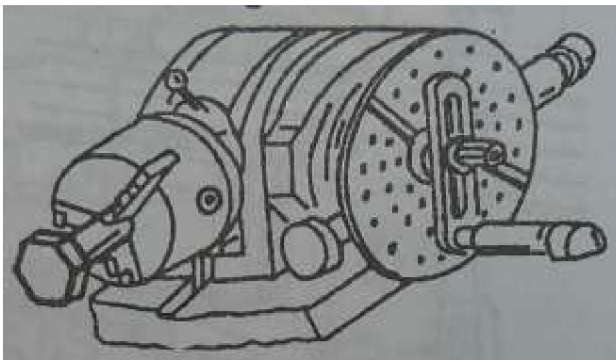
3.1.4 Příslušenství konzolových frézek

a) otočný stůl

Otočný stůl připevňujeme na pracovní stůl frézky (obr.3.4) a otáčení s ním zajišťujeme buď ručně, nebo je otáčení stolu odvozeno od podélného pohybu pracovního stolu šroubovým teleskopickým hřídelem. Pomocí otočných stolů můžeme frézovat různé rotační tvary, vačky, drážky, ozubená kola atd. stopkovými frézami. Používáme je také pro dělicí práce, jestliže je obrobek velkých rozměrů, a mi nemůžeme obrobek upnout do běžného dělicího přístroje. Pro tento účel jsou otočné stoly vybaveny zařízením pro přímé nebo nepřímé dělení.

b) univerzální dělicí přístroj

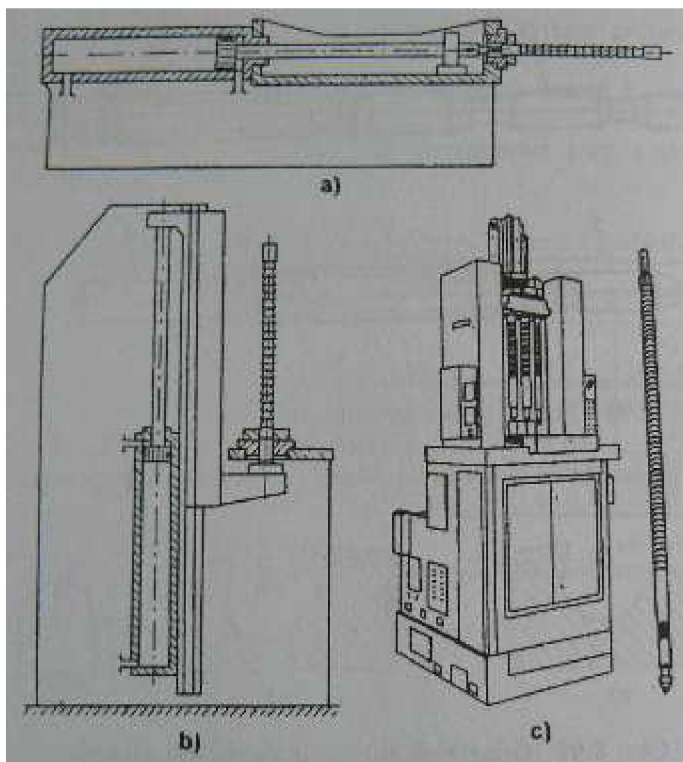
Na obr.3.5 je nejpoužívanější příslušenství užívané k dělení u konzolových frézek. Používáme jej pro přímé, nepřímé i diferenciální dělení. Při přímém dělení má stroj dělicí kotouč nasazen a připevněn na předním konci dělicího vřetene. V kotouči máme vyvrtáno 24, 36, popřípadě 48 otvorů, do kterých zapadá odpružený kolík, který je uložen v tělese přístroje. Princip dělení je stejný jak u jednoduchého dělicího přístroje. K nepřímému a diferenciálnímu dělení nám slouží kotouč s otvory o různém počtu na čelní ploše soustředěnými do kruhů. Počet děr je např.: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 27, 31, 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49. Vřetenem přístroje otáčíme pomocí kliky, která otáčí ozubeným soukolím z_1, z_2 s převodovým poměrem 1 : 1 a přes šnek se šnekovým kolem. Šnekové kolo má převodový poměr obvykle 1 : 40.



obr.3.5 Univerzální dělicí přístroj

3.2 Protahovací stroj

K protahování používáme protahovací stroje, které dělíme podle umístění protahovacího trnu na vodorovné a svislé protahovací stroje (obr.3.6). Oba typy strojů využíváme pro výrobu vnějšího, ale především vnitřního ozubení. Základem protahovacího stroje je pomaluběžný lis, který se skládá z rámu, hydraulické soustavy a držáku nástroje. Tyto stroje musí splňovat určité podmínky na tuhost rámu, rychlost posuvu nástroje a vymezení vůlí ve vedení nástroje tak, aby nedocházelo k vibracím v řezu. Takto vzniklé vibrace mají za následek zhoršení kvality povrchu obrobku a snížení trvanlivosti nástroje. Svislé protahovačky se konstrukčně řeší tak, aby bylo možné na jeden tah protahovat několika protahovacími trny najednou (obr.3.6). Rozměry stroje, především jeho velikost a také rozsah využití, závisí na jeho průtažné síle. Protahovací stroje se vyrábějí pro různé průtažné síly od 20 000 do 600 000 N.



obr.3.6 Protahovací stroje [1]
a) vodorovná protahovačka, b) svislá protahovačka, c) svislá protahovačka pro práci třemi nástroji

Závěr

Porovnáváme-li jednotlivé metody obrábění čelního ozubení, zjistíme, že nejproduktivnějšími metodami ve výrobě ozubených kol je odvalovací frézování a protahování. Odvalovací frézování má jedny z nejmenších strojních časů, protože obrobek i nástroj zabírají spolu a při použití dostatečně velkých otáček nástroje, na kterých je přímo závislá velikost otáček obrobku, dochází k opracování kola za velmi krátkou dobu ve srovnání s ostatními metodami. Odvalovací frézy jsou dnes vybaveny počítači, čímž se zvýšila jejich přesnost. U protahování je délka strojního času závislá na hloubce protahované zubní mezery a rychlosti posunu protahovacího trnu. Tyto stroje mají jednu nepřehlédnutelnou výhodu. Je to, oproti odvalovací fréze, **jednoduchost.**

Seznam použitých zdrojů

- [1] KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [3] KŘÍŽ, R., VÁVRA, P. Strojírenská příručka 7.svazek. 1.vyd. Praha: Scientia, 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
- [4] ČERNOCH, Svatopluk. Strojně technická příručka. 9.vyd. Státní nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 59, Praha 2, 1959
- [5] http://strojarsky2.tym.cz/techno/prednaska_cep_13.pdf
- [6] www.zav.wz.cz/download/hoblovani_obrazeni_protahovani_vanek.doc
- [7] www.kto.zcu.cz/download/KCNozubeni.pdf.pdf
- [8] www.cztech.cz/data/KATALOG%202004-CZ.pdf.pdf

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
ω	[°]	úhel stoupání šroubovice
n_k	[min^{-1}]	otáčky obráběného kola
n_f	[min^{-1}]	otáčky odvalovací frézy
z_k	[-]	počet zubů obráběného kola
z_f	[-]	počet chodů odvalovací frézy
η_f	[°]	úhel nastavení odvalovací frézy
β_k	[°]	úhel sklonu zubů obráběného kola
ω_f	[°]	úhel stoupání odvalovací frézy
β	[°]	úhel sklonu zubů
h	[mm]	hloubka frézování
z	[-]	počet šikmých zubů frézovaného kola
z_n	[-]	počet virtuálních zubů

