

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V PŘÍKLADECH

4 Výroba ozubených kol, závitů a kuželů

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.
Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

Ostrava 2013

© doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., Ing. et Ing. Mgr. Jana PETRŮ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3014-8



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	VÝROBA OZUBENÝCH KOL, ZÁVITŮ A KUŽELŮ.....	3
1.1	Výroba ozubených kol, závitů a kuželů	4
1.1.1	Obrábění čelních ozubených kol	4
1.1.1	Frézování ozubení dělicím způsobem	4
1.1.2	Frézování ozubení odvalovacím způsobem	6
1.1.3	Obrázení hřebenovým nožem.....	7
1.1.4	Obrázení kotoučovým nožem	8
1.1.5	Protahování a protlačování ozubení	9
1.1.6	Dokončovací operace ozubení	10
1.2	Obrábění šneků a šnekových kol.....	14
1.3	Obrábění kuželových ozubených kol	15
1.3.1	Obrábění kuželových kol s přímými a šikmými zuby	15
1.3.2	Obrábění kuželových kol se zakřivenými zuby	18
1.4	Výroba závitů	19
1.4.1	Řezání závitů.....	20
1.4.2	Soustružení závitů	23
1.4.3	Frézování závitů.....	24
1.4.4	Broušení závitů	26
1.4.5	Tváření závitů	27
1.5	Výroba kuželů	29
1.5.1	Výpočet základních rozměrů kužele.....	30
2	KONTROLNÍ OTÁZKY.....	34
3	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.	35
4	POUŽITÁ LITERATURA	36



1 VÝROBA OZUBENÝCH KOL, ZÁVITŮ A KUŽELŮ



OBSAH KAPITOLY:

Obrábění čelních ozubených kol
Obrábění šneků a šnekových kol
Obrábění kuželových ozubených kol
Řezání závitů
Soustružení závitů
Frézování závitů
Broušení závitů
Tváření závitů
Obrábění kuželů



MOTIVACE:

Ozubení patří mezi velmi důležité strojní součásti. Jeho výroba je však velmi technologicky složitá. Složitost souvisí s nutností splnit teoretické poznatky odvalu k dosažení správného záběru vyrobeného ozubení. Výroba ozubených kol spočívá v obrábění tvarových, většinou evolventních nebo cykloidních ploch vícebřítým nástrojem.

Závity jsou konstrukčně technologické prvky součástí. Ve strojírenství jsou závity používány jako důležité spojovací nebo pohybové elementy výrobků. Přesnost a kvalita má vliv na správnou funkci a spolehlivost.

Kuželové plochy se používají k pevnému spojení strojních součástí, u nichž se požaduje přesná souosost a také k utěsňování vodovodních a plynovodních armatur. Rozdělujeme je na vnější a vnitřní.



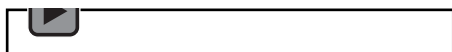
1.1 VÝROBA OZUBENÝCH KOL, ZÁVITŮ A KUŽELŮ

Ozubení patří mezi velmi důležité strojní součásti. Jeho výroba je však velmi technologicky složitá. Složitost souvisí s nutností splnit teoretické poznatky odvalu k dosažení správného záběru vyrobeného ozubení. Výroba ozubených kol spočívá v obrábění tvarových, většinou evolventních nebo cykloidních ploch vícebřitým nástrojem. Výrobu ozubení lze podle druhu ozubeného kola rozdělit na:

- obrábění čelních kol s přímými, šikmými a šípovými zuby,
- obrábění šneků a šnekových kol,
- obrábění kuželových kol s přímými, šikmými nebo zakřivenými zuby.



Audio 1.1 Výroba ozubení



V uvedeném pořadí roste technologická náročnost na obrábění jednotlivých druhů ozubení. Při obrábění vyjmenovaných druhů ozubení ovlivňují dosahovanou přesnost a kvalitu ozubení stroj, nástroj, upnutí obrobku včetně přesnosti jeho technologických základů, řezné podmínky apod.

Ve strojírenství je nejčastěji využívána technologie obrábění čelních kol, méně se uplatňuje technologie obrábění kuželových kol s přímými a šikmými zuby a technologie obrábění kuželových kol se zakřivenými zuby. Převody ozubenými koly se uplatňují v převážné většině převodových mechanismů v různých provedeních.

1.1.1 Obrábění čelních ozubených kol

Ozubení čelních kol se obrábí:

- frézováním dělicím způsobem tvarovou frézou a odvalovací frézou,
- obrážením odvalovacím způsobem kotoučovým nebo hřebenovým nožem,
- protahováním a protlačováním.

Dokončovacími způsoby obrábění jsou:

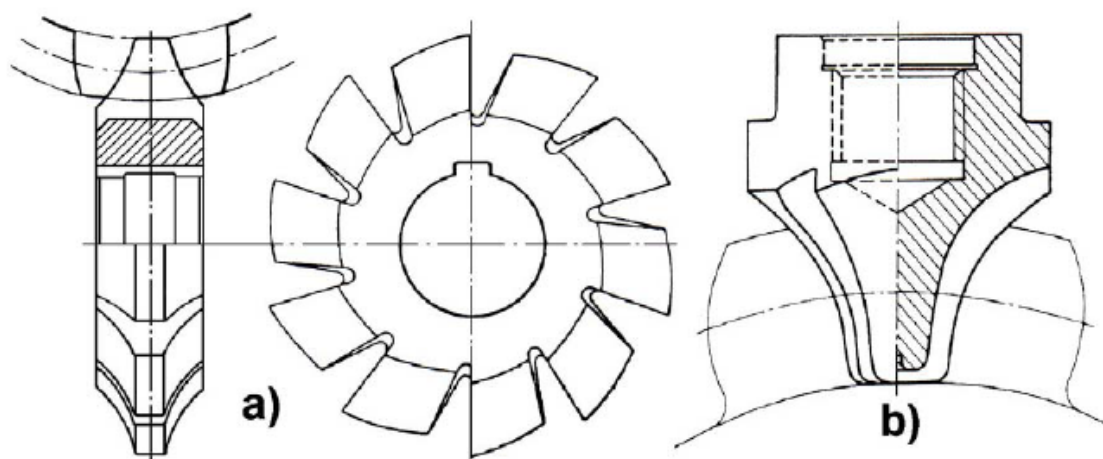
- ševingování (u kol bez tepelného zpracování),
- broušení dělicím nebo odvalovacím způsobem (u kalených kol),
- lapováním,
- zaběháváním,
- válcováním.

Výběr technologie závisí na počtu obráběných kol, velikosti a typu kola (samostatné kolo nebo soukolí), umístění zubů (vnitřní nebo vnější ozubení) a tvaru zubů (přímé, šikmé, šípové).

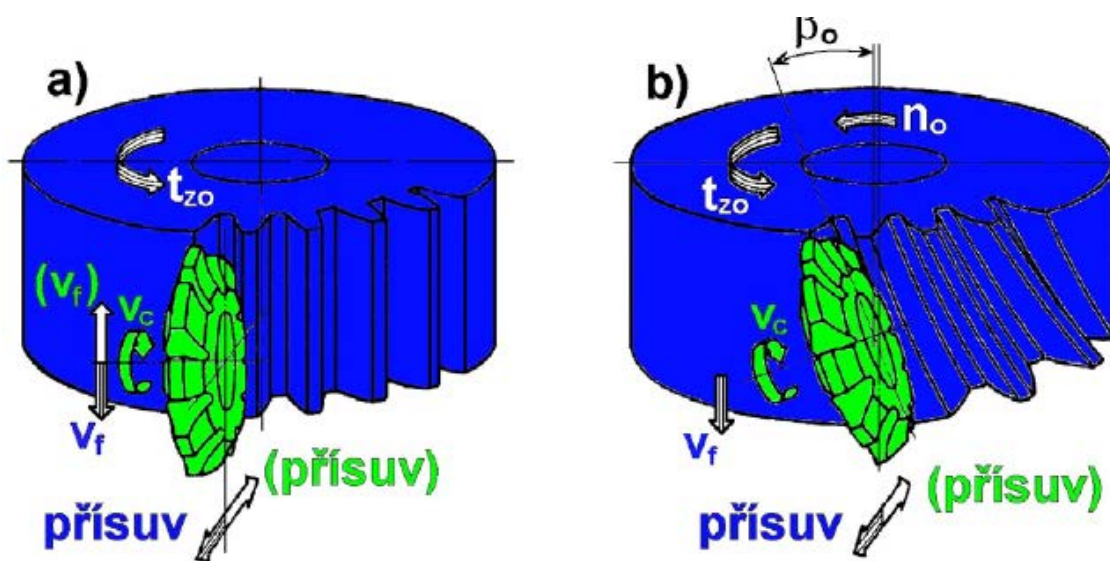
1.1.1 Frézování ozubení dělicím způsobem

Čelní ozubená kola s přímými zuby se dělicím způsobem frézují tvarovou čepovou nebo kotoučovou modulovou frézou. Po obrobení jedné zubové mezery dělicím přístrojem se obrobek pootočí o jednu zubovou rozteč t_{zo} a frézuje se následná zubová mezera. Profil frézy musí být shodný s profilem požadované zubové mezery.





Obr. 2.1 Modulové frézy a) kotoučová, b) čepová (stopková)



Obr. 2.2 Kinematika frézování ozubení

Z hlediska hospodárnosti je možno používat jeden nástroj pro určitý rozsah počtu zubů. Všechny modulové frézy jsou dodávány v sadách, které obsahují 8 (viz tabulku 2.1), 15 nebo 26 členů pro příslušný modul v závislosti na požadavcích přesnosti obráběného ozubení.

Tab. 2.1 Rozložení počtu zubů pro osmičlennou sadu kotoučových fréz

Číslo frézy	1	2	3	4	5	6	7	8
Pro počet zubů	12÷13	14÷16	17÷20	21÷25	26÷34	35÷54	55÷134	135÷

Dělicím způsobem se čelní ozubená kola frézují na odvalovacích, univerzálních nebo speciálních frézách, zejména při kusové výrobě a výrobě ozubených kol velkých modulů ($m > 20$ mm) a průměrů. Kotoučové modulové frézy jsou pro moduly v rozsahu od 0,2 do 16 mm. Pro hrubování ozubení větších modulů ($m > 12$ mm) slouží hrubovací kotoučové frézy s odstupňovaným profilem. Čepové modulové frézy pro hrubování ozubení s modulem $m > 30$ mm mají lichoběžníkový profil a břity ve šroubovici, což umožňuje použít větší posuvy při obrábění.

Při frézování šikmých zubů kotoučovou modulovou frézou je pracovní stůl s obrobkem natočen vzhledem k ose vřetena o úhel sklonu zubů β . Šikmé zuby se vytvoří kombinací



podélného posuvu stolu a rotačního pohybu obrobku. Frézování šikmého ozubení čepovou frézou je analogické, ale pracovní stůl se nenatáčí.

Výhodou frézování kotoučovou frézou je výkonnější, ale stopková fréza umožňuje frézování kol se šípovým ozubením, které jsou využívána pro přenos velkých točivých momentů. 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.

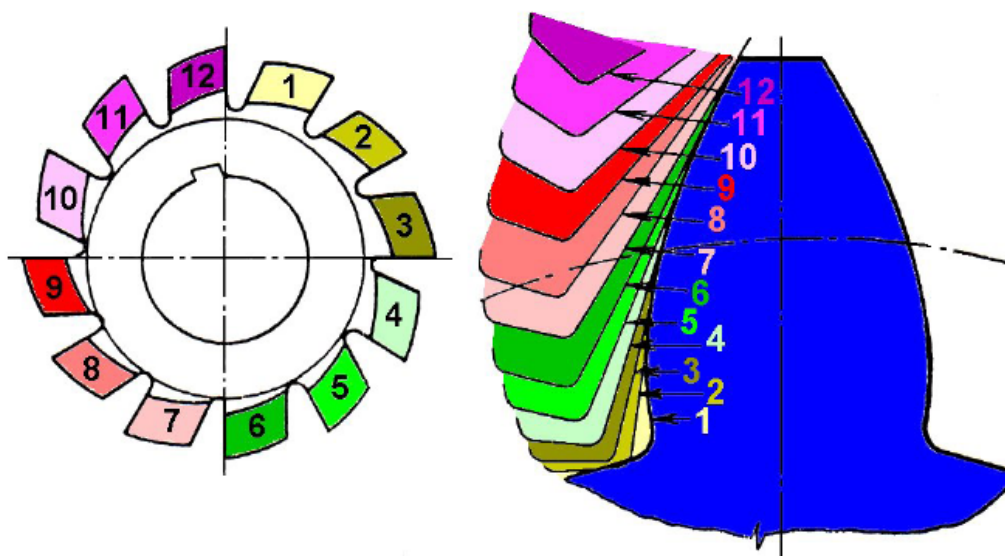
1.1.2 Frézování ozubení odvalovacím způsobem

Frézování odvalovacím způsobem je nejčastější způsob výroby ozubení. Při této metodě se používá tzv. odvalovací fréz, což jsou válcové tvarové frézy, představující šnek, spoluzabírající s obráběným ozubeným kolem. Spirála šneku je po obvodu přerušena vyfrézovanými drážkami, které vytvářejí čelní plochy břitů zubů.

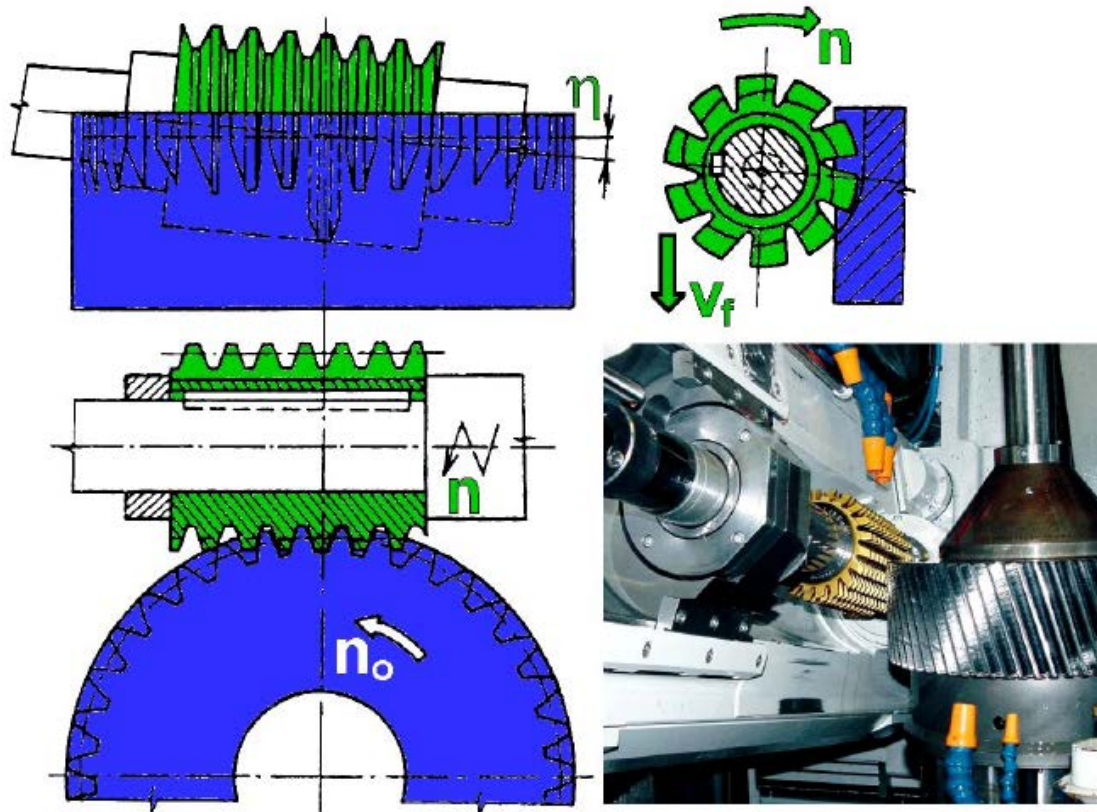
Profil zubů frény je lichoběžníkový (tzv. základní profil). Evolventa boku zubů frézovaného kola vznikne odvalením boku zubů frény. Proto lze odvalovací frézou příslušného modulu přesně vyrobit ozubená kola bez ohledu na počet zubů.

Řezný pohyb je dán rotací frény n . Současně s rotací frény rotuje obrobek otáčkami n_o tak, že se za jednu otáčku frény pootočí obrobek o jednu zubovou rozteč, čímž se plynule frézují všechny zuby. Aby se vytvořilo ozubení po celé šířce frézovaného kola, musí se fréza současně pohybovat ve směru obráběných zubů rychlostí v_f .

Smysl posuvu frény se může shodovat se smyslem její rotace (nesousledné frézování), nebo může být opačný (sousedné frézování). Boky zubů se vytvářejí jako obalové plochy jednotlivých poloh nástroje (obr. 2.3). Jednou odvalovací frézou lze obrábět ozubená kola stejného modulu s libovolným počtem a sklonem zubů.



Obr. 2.3 Princip vytvoření evolventy při odvalovacím frézování



Obr. 2.4 Kinematika pohybů při odvalovacím frézování čelního ozubení

1.1.3 Obrázení hřebenovým nožem

Obrázení je založeno na principu záběru ozubeného hřebene (nástroj) s ozubeným kolem (obrobek). Nástroj je nastaven na hloubku řezu a_p a koná přímočarý vratný pohyb. Odvalování je dosaženo složením otáčivého pohybu n_o a posuvového pohybu v_f obrobku při délce zdvihu l , při výrobě šikmého ozubení obrážecím hřebenovým nástrojem se šikmými zuby navíc ještě dodatečným posuvem nástroje v_n , v_z .

Nástroj a obrobek se proti sobě vzájemně otáčejí v poměru otáček:

$$\frac{n_k}{n_o} = \frac{z_o}{z_k} \quad (2.1)$$

kde: n_k jsou otáčky kotoučového nože [-]

n_o jsou otáčky obrobku [-]

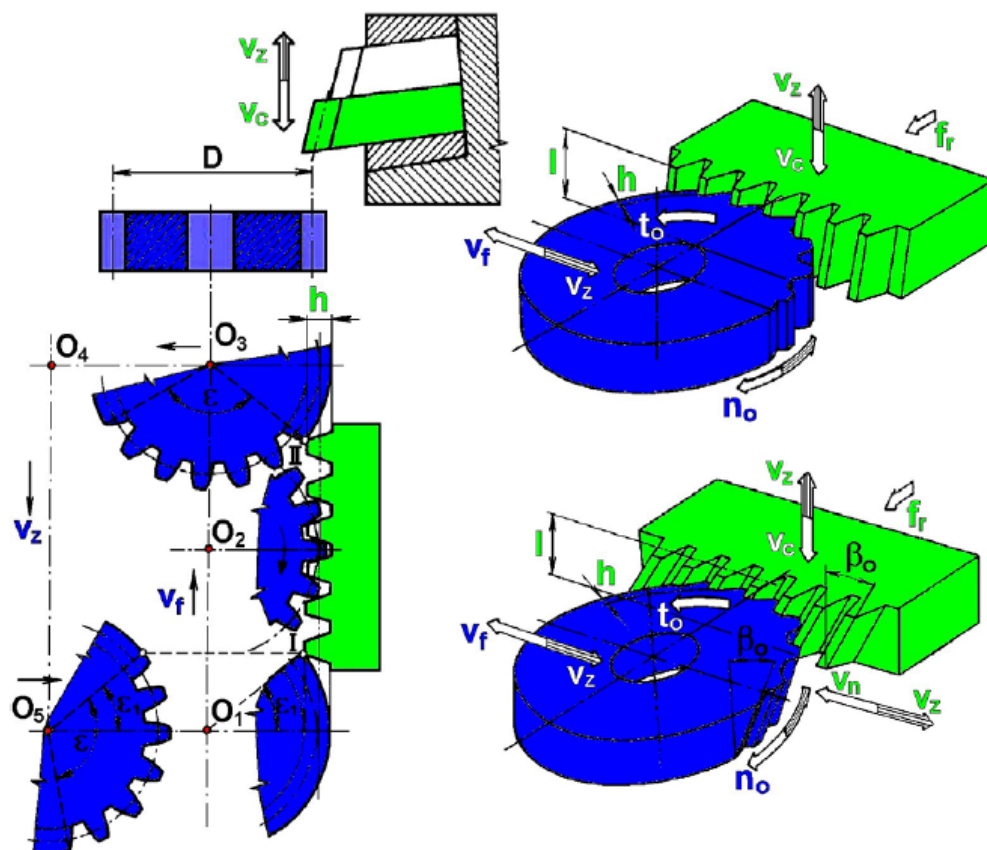
z_k je počet zubů nástroje [-]

z_o je počet zubů obráženého kola [-].

Na obráběcích strojích lze jedním nástrojem daného modulu vyrábět kola s různým počtem zubů, a to korigovaná i nekorigovaná, s přímými i šikmými zuby. Výhodou hřebenových nožů je jednoduchá konstrukce (tvar, geometrie, výroba, ostření), což se projevuje vysokou přesností vyrobeného ozubení.

Při výrobě ozubených kol velkých modulů jsou hřebenové nože málo produktivní, avšak při výrobě ozubených kol velkých modulů při použití hrubovacích nožů dosahují při nízkých nákladech na nástroje produktivity velmi vysoké.





Obr. 2.5 Kinematika pohybů při obrábění čelního ozubení metodou Maag

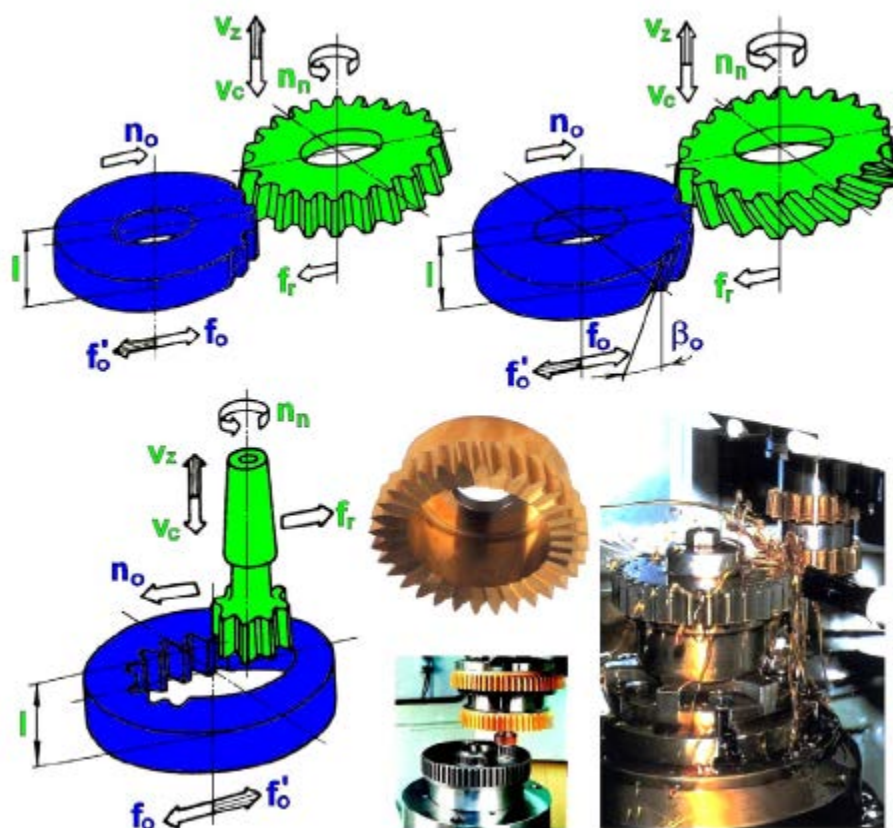
Hřebenový obrážecí nůž je výrobně jednodušší se zuby lichoběžníkového tvaru základního profilu. Obrábění hřebenovým nožem je charakterizováno zejména relativně levným nástrojem, poměrně vysokými náklady na obrážecí stroj a dlouhými výrobními časy. Popsaný způsob obrábění je v provozních podmínkách označován jako systém Maag.

1.1.4 Obrábění kotoučovým nožem

Kotoučovým nožem se obrábějí čelní kola s přímými a šikmými zuby a kola se šípovým ozubením. Tato metoda obrábění je založena na principu záběru dvou ozubených kol bez vůle. Při obrábění se po sobě odvalují způsobem, jakoby spolu zabírala dvě čelní ozubená kola. Nástroj upnutý ve smyčadle koná přímočarý vratný pohyb ve směru osy a rotuje otáčkami n_n , obráběné kolo rotuje otáčkami n_o . Uvedenou kombinací pohybů je obroben výsledný evolventní profil zubů. Při zpětném pohybu se nástroj oddaluje od obrobku, aby bříty zubů netřely o obrobenou plochu (toho lze dosáhnout radiálním nebo šikmým odskokem f_o).

Kolo je tedy vyrobeno asi za jednu a čtvrt otáčky. U velkých modulů je plně hloubky zubové mezery dosaženo až po několika otáčkách vyráběného ozubeného kola. U kol se šikmými zuby vykonává nástroj během pracovního zdvihu navíc šroubový pohyb a má šikmé zuby. Obrábění kotoučovým nožem je produktivní, při použití rychloběžných strojů může konkurovat i odvalovacímu frézování.





Obr. 2.6 Kinematika pohybů při obrábění čelního ozubení metodou Fellows

1.1.5 Protahování a protlačování ozubení

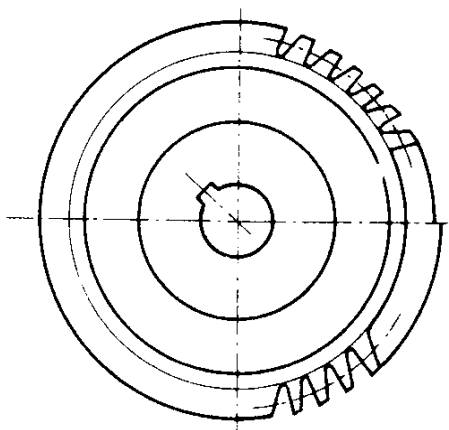
Používá se pro výrobu ozubených kol jak vnitřních, tak i vnějších ve velkosériové a hromadné výrobě. Nástrojem je protahovací trn, který bývá vyroben z rychlořezné oceli jako monolitní nebo má tělo z konstrukční oceli a na něm segmenty z rychlořezné oceli nebo slinutých karbidů.

Vnější ozubení se vyrábí dělicím způsobem, kdy je po protažení jedné zubové mezery obrobkem pootočeno o jednu rozteč a celá operace se opakuje. U malých kol se může použít kruhového protahovacího nástroje. Vnitřní ozubení se protahuje najednou válcovým nástrojem, který má břity rozmístěny po obvodu a ve tvaru zubových mezer obráběného kola. V obou případech má nástroj kalibrovací část, která zajistí přesný tvar zubové mezery vyráběného ozubení.

Nevýhodou je, že pro každý tvar zubu je potřeba zvláštní nástroj, který je velmi nákladný a proto se hodí jen pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Přesnost vyrobeného ozubení je přímo závislá na přesnosti nástroje.

Vyrábíme-li ozubení protlačováním, využívá se metody dopředného protlačování. Nástrojem na výrobu ozubení je průtlačnice. Při protlačování dochází zpočátku v důsledku tvářecího odporu k deformaci čela a určité délky vnějšího povrchu vyráběného kola. Proto nemají zuby v celé své délce stejný profil. V další operaci se potom zpětným protlačováním dutiny, kalibrováním nebo pěchováním „s přetokem“ dohotoví objemovým tvářením požadovaný tvar zubů.





Obr. 2.7 Kruhový protahovací trn

Přesnost ozubení je přímo závislá na způsobu a přesnosti výroby protlačovacích nástrojů. Kvalita povrchu ozubení je dostatečná. Velkou předností je značné zpevnění materiálu kola, takže se dosáhne zvýšení životnosti ozubení. Nástroje se konstruuji pro jednu nebo několik zubových mezer s ohledem na koncepci výrobního zařízení. Metoda protlačování ozubení je vhodná pouze pro velkosériovou výrobu, protože cena nástrojů je vysoká.

1.1.6 Dokončovací operace ozubení

Ozubená kola, u kterých je požadovaná vyšší přesnost, se dokončují ševingováním, broušením, lapováním a zaběháváním. Dokončováním se získává přesnější profil tvaru zubu a menší drsnost povrchu boků zubů, čímž se zvyšuje účinnost a snižuje nežádoucí hlučnost ozubení.

Ševingování ozubených kol

Používá se na dokončování čelních ozubených kol zejména nekalených. Z boků zubů jsou odebrány jemné třísky, a tím se zlepšuje profil zubu a jakost povrchu jednotlivých zubů. Nástrojem je přesné modifikované ševingovací kolo, což je ozubené kolo se šikmými zuby, které zabírá s obráběným kolem. Břity ševingovacího nástroje jsou vytvořeny drážkami na bocích zubů. Záběr ševingovacího (hnací) a obráběného (hnané) kola lze modelovat jako záběr šroubového válcového soukolí (pohyb po šroubovici). Kola navíc vykovává vratný pohyb.

Ševingování lze podle směru posuvu rozdělit na podélné, diagonální, příčné neboli tangenciální a zapichovací. Nejpoužívanější z uvedených je podélné ševingování, u kterého šířka nástroje nezávisí na šířce ozubení, čímž je využití nástroje nepříznivé. Při diagonálním ševingování je nástroj využit v celé šířce, je však omezena šířka ozubení, a to do 60 mm. Příčné a zapichovací ševingování vyžaduje zvláštní nástroje a je vhodné pro úzká kola.

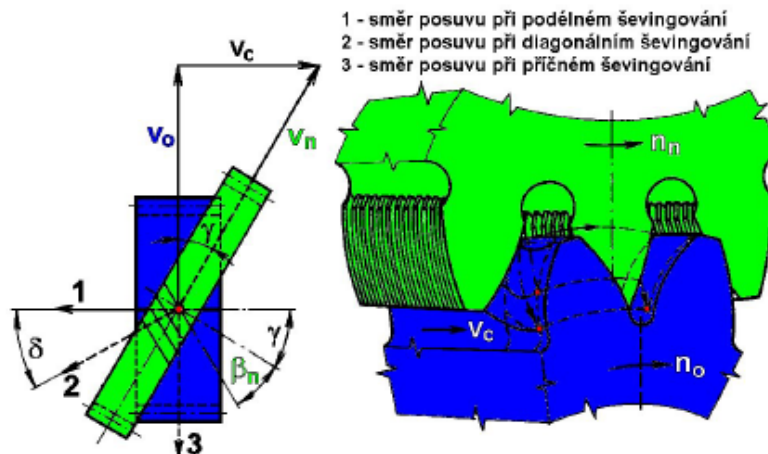


Obr. 2.8 Ševingovací kola

Úhel zkřížení os je pro všechny způsoby ševingování 10 až 15°. Ševingovací nástroje pro moduly 1,5 až 5 mm mají sklon zubů 0° až 15° a průměry 175 a 250 mm. Používají se pro kola s počtem zubů větším než 30, menší počet zubů a korigovaná kola se ševingují zvláštními nástroji. Nástroj i obrobek se při ševingování otáčejí rychlostí 80 až 120 m.min⁻¹



(hodnoty v_n a v_o musí však být rozdílné), rychlost ševingování (v_c) dosahuje až $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Hodnoty radiálního přísluvu se při podélném ševingování volí 0,015 až 0,045 mm na jeden dvojzdvih stolu, podélný posuv 0,2 až 0,5 mm na otáčku obrobku. Přídavky jsou 0,04 až 0,1 mm na bok zubu.



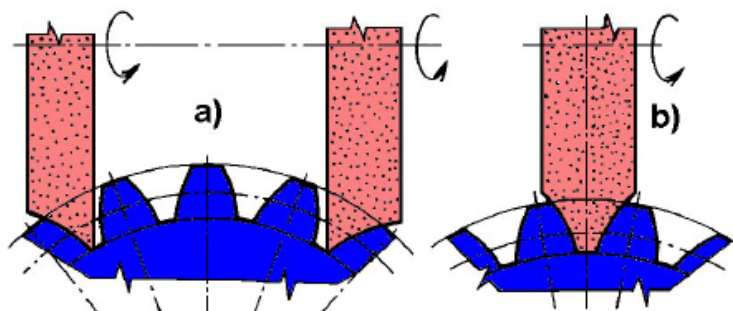
Obr. 2.9 Kinematika podélného ševingování

Velmi podobné ševingování je **honování** ozubených kol, při kterém je ševingovací kolo nahrazeno kolem ze směsi plastu a brusiva. Používá se ke zlepšení geometrického tvaru a drsnosti povrchu kalených ozubených kol.

Broušení ozubených kol

Broušením se odstraňují nepřesnosti po předchozím obrábění a deformace po tepelném zpracování ozubených kol. Ozubená kola se brousí dělicím způsobem tvarovými kotouči, dělicím způsobem s odvalem boku zubu a odvalovacím způsobem.

Broušení dělicím způsobem tvarovými kotouči se provádí kotouči s tvarem jednoho boku zubu **a**, kterým se brousí odpovídající boky zubu, nebo kotoučem ve tvaru zubové mezery **b**. Po vybroušení se ozubené kolo pootočí o rozteč a celý proces probíhá znovu. Orovnávání se provádí diamantovými kotouči podle šablony nebo podle tvarového zařízení u kterého je přesně vyroben profil. Tento způsob je velmi produktivní, ale méně přesný a má vysoké náklady z důvodu nutnosti velkého počtu kotoučů (na každý počet zubů a modul).



Obr. 2.10 Broušení čelních ozubených kol dělicím způsobem: a) dva kotouče s profilem ve tvaru boku zubu, b) jeden kotouč s profilem ve tvaru zubové mezery

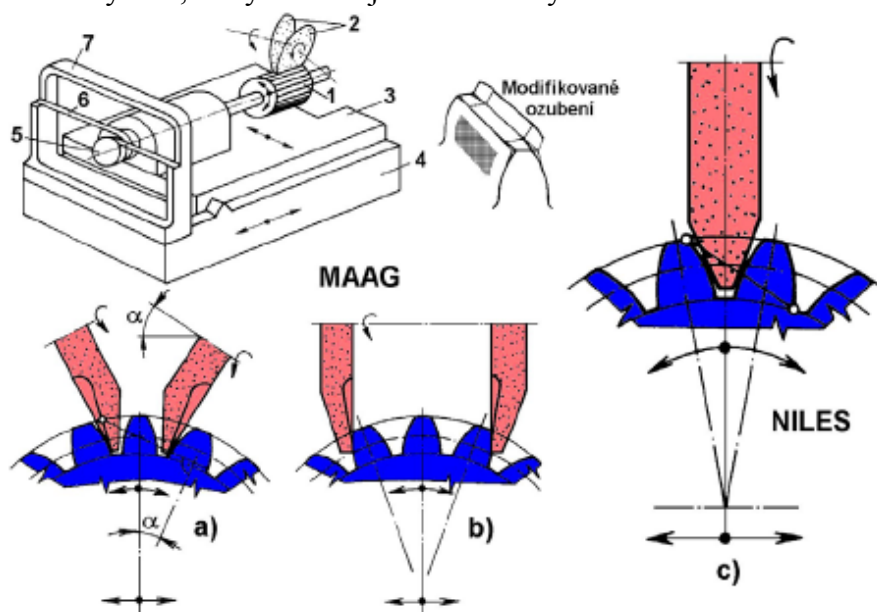
Broušení dělicím způsobem s odvalem boku zubu se realizuje dvěma systémy, a to systémem Maag, kdy se broušený zub odvaluje po dvou broušicích kotoučích, a nebo systémem Niles, kdy se odvaluje po jednom broušicím kotouči - viz obrázek 2.11.

U systému Maag je odvalovací pohyb vytvářen superpozicí příčného a rotačního pohybu obrobku. Otáčení obrobku se dosahuje odvinováním ocelových pásů z kotouče (nebo kruhového segmentu), jehož poloměr je roven poloměru základní kružnice broušeného kola, zmenšeného o tloušťku odvinovaných pásů. Střídavým pohybem příčného suportu je zajištěno postupné odvalování a broušení zubové mezery. Kromě toho koná podélný suport pohyb ve

směru osy kola, čímž je dosaženo obroušení zubu po celé jeho délce. Po dokončení jedné zubové mezery se broušené kolo pootočí o jednu rozteč a cyklus se opakuje. Vždy po každém cyklu jsou brousicí kotouče srovnávány diamanty a automaticky orovnaný a nastaveny do správné polohy.

Brousit lze pomocí kotoučů skloněných pod úhlem záběru α (obr. 2.11a) nebo kolmo postavenými kotouči (obr. 2.11b). Broušení odvalovacím způsobem je přesnější a hospodárnější než broušení dělicím způsobem. Brousit lze hranou nebo plochou kotouče. Produktivnější je broušení plochou, protože při něm lze použít vyšší posuvovou rychlost. Zvláštním zařízením lze dosáhnout podélné i výškové modifikace zubů. Při broušení ozubených kol se šikmými zuby se vřeteník s brousicími kotouči natočí vzhledem k ose ozubeného kola pod úhlem sklonu zubů.

Při broušení kolmo postavenými kotouči vytvářejí pracovní plochy kotoučů rovnoběžné plochy dvou zubů pomyslného hřebene s úhlem záběru nula stupňů. Brousicí kotouč se dotýká boku zubu v jediném bodě, takže dokončený povrch zubu nemá křížový výbrus, ale podélné rovnoběžné stopy, jak je tomu v případě, kdy skloněné kotouče brousí plochou (2.11b). Pomocí zvláštního zařízení lze při tomto způsobu broušení upravit (modifikovat) zuby výškově i podélně (obr. 2.11). Úprava evolventy na hlavě a patě, tj. modifikace profilu, se uskutečňuje tak, že se obrysová křivka profilu odsune za evolventu v místech hlavy a paty, a tím se omezuje dotyk hlavy zubů jednoho kola se zuby druhého kola. Úpravou po délce zubu se odsunuje obrysová čára na obou koncích zubu, takže zub dostane soudečkovitý tvar, který zabraňuje nosnému styku na hranách zubu.



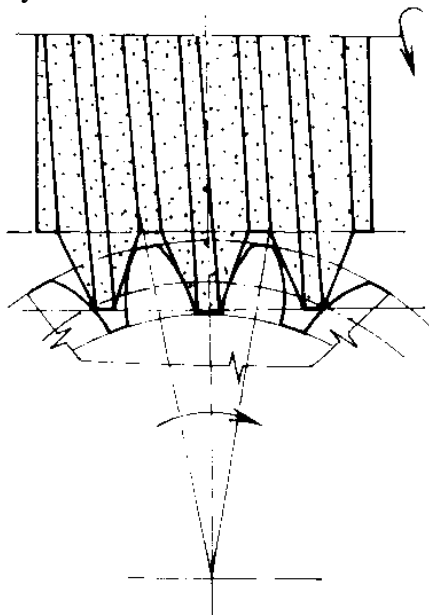
Obr. 2.11 a) broušení Maag pomocí kotoučů skloněných pod úhlem záběru, b) broušení Maag kolmo postavenými kotouči, c) broušení Niles, 1- obrobek, 2- brousicí kotouče, 3 - příčný suport, 4- podélný suport, 5- odvalovací kotouč, 6- ocelový pás, 7- stojan odvalovacího zařízení

Schéma odvalování boku zubu po jednom brousícím kotouči, jehož profil se shoduje s profilem zubu ozubeného hřebenu - systém Niles - je uvedeno na obrázku 2.11c. Brousicí kotouč se otáčí a vykonává 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. Brousí se postupně od paty k hlavě zubu bok po boku, dělicí pohyb vykonává obráběné ozubené kolo. Při broušení ozubených kol se šikmými zuby se vykloní smykadlo s brousícím kotoučem o úhel sklonu zubů.

Broušení odvalovacím způsobem se provádí pomocí brousícího kotouče, který má tvar šneku - systém **Reishauer**. Tento způsob je podobný odvalovacímu frézování, přičemž



odvalovací fréza je nahrazena jednoduchým nebo dvouchodým brousicím šnekem, který nekonečným počtem obávkových profilů svého závitu vytváří požadovaný profil broušeného ozubení. Používá se zejména pro ozubení malých modulů, u kol s modulem menším než 3 mm je možno brousit do plného materiálu. Základní podmínkou tohoto způsobu je zcela synchronní běh nástroje a obrobku, rozhodujícím faktorem pro parametry přesnosti broušeného ozubení je tvarování brousicího kotouče z hlediska jeho profilu a stoupání. Brousicí kotouč má obvykle průměr 350 až 400 mm a značná pozornost se musí věnovat jeho vyvážením, jak statickému tak i dynamickému.



Obr. 2.12 Broušení ozubených kol brousicím šnekem

Lapování a zaběhávání

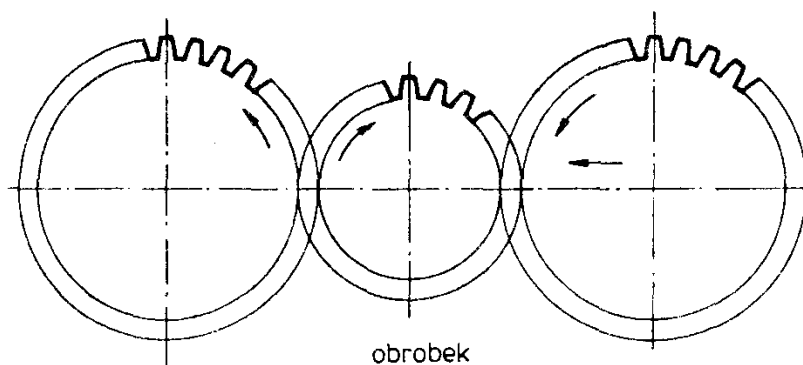
Zlepšují drsnost povrchu ozubení zejména tepelně zpracovaných kol. Lapování se provádí litinovým ozubeným kolem, které zabírá s lapovaným kolem. Litinové kolo jako nástroj je hnané, lapované kolo je brzděné a vykonává kmitavý pohyb ve směru osy. Do záběru kol je přiváděna lapovací pasta nebo směs oleje s brusivem. Přídavky na lapování jsou od 0,02 do 0,05 mm a obvodová rychlost je do $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Zaběhávání ozubených kol se odlišuje od lapování tím, že jsou v záběru dvě spoluzabírající kola. Zaběhávání probíhá stejně jako lapování (jedno kolo je hnané a druhé brzděné) a do záběru se přivádí proud oleje s brusivem, popřípadě lapovací pasta. Přídavky na zaběhávání jsou poloviční než u lapování. Zaběhávání se používá zejména u kol, která není možno dokončovat jiným způsobem.

Válcování ozubení

Válcování ozubení na čisto za studena je možno používat místo švingování nebo broušení. Dokončování ozubení se dosahuje plastickou deformací kovu v povrchových vrstvách na bocích zubů. Pro tuto metodu se konstruují stroje se třemi, dvěma a jedním válcem. Nejvíce se používají stroje se dvěma válci (obr. 2.13). Jeden z válců je posuvný, druhý pevný. Válce se otáčejí synchronně konstantní úhlovou rychlostí. Polotovar se upíná na trn, který má u některých strojů samostatný pohon pro záběr dokončovacích zubů s otáčejícími se válci. Posuv je uskutečněn válcem s pohyblivým vřeteníkem.



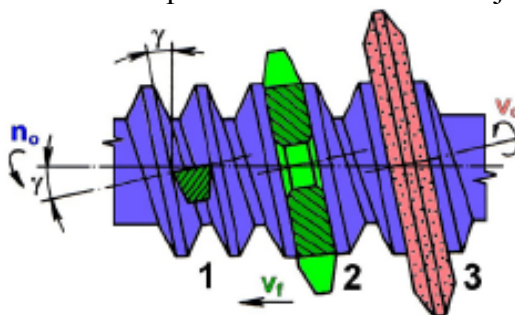


Obr. 2.13 Schéma dokončování ozubení válčováním

Přestože metoda dokončování ozubení válčováním za studena je perspektivní, může v současné době nahradit např. ševingování pouze tehdy, když není požadována vysoká přesnost. V porovnání se ševingováním je produktivita válčování třikrát až čtyřikrát vyšší. Předpokládaná hospodárná sériovost pro válčování je 500 000 až 1 000 000 kol.

1.2 OBRÁBĚNÍ ŠNEKŮ A ŠNEKOVÝCH KOL

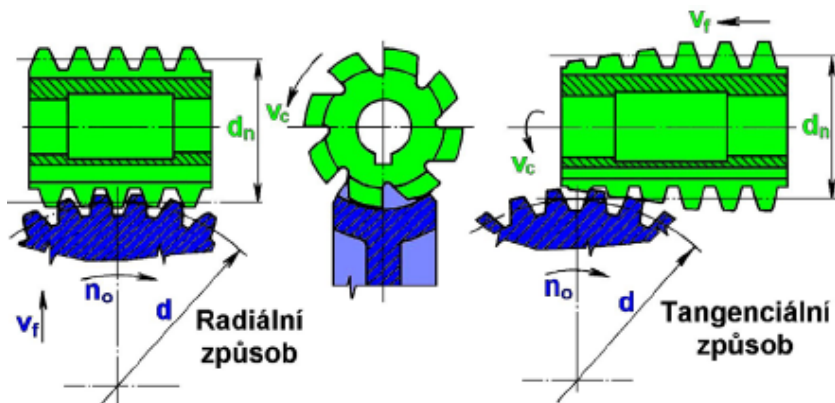
Šneky se vyrábí soustružením nebo frézováním a k dokončování je používáno broušení, popřípadě lapování. Soustružení (1) se provádí tvarovým nožem na univerzálních soustruzích. Používá se zejména pro šneky malých modulů a v malých sériích. Frézováním (2) jsou šneky vyráběny pomocí kotoučové nebo čepové tvarové frézy na univerzálních frézkách. Broušení (3) je prováděno tvarovými kotouči na speciálních broušicích strojích.



Obr. 2.14 Schéma výroby válcového šneku 1 - soustružení tvarovým nožem, 2 - frézování kotoučovou frézou, 3 - broušení tvarovým kotoučem

Šneková kola se vyrábí frézováním na univerzálních nebo odvalovacích frézkách několika způsoby. Na univerzální frézce se obvykle předfrézuje ozubení tvarovou kotoučovou frézou a poté dokončuje šnekovou frézou, které má rozměry šneku vyráběného soukolí. Na odvalovací frézce se vyrábí pomocí odvalovací frézy, která má tvar a rozměry shodné jako vyráběné kolo. Šneková kola lze vyrábět buď radiálně, tj. obrobek (šnekové kolo) se posouvá radiálně proti odvalovací frézce. Používá se obvykle při výrobě šnekových kol s úhlem stoupání 6° až 8° . Další způsob je tangenciální, při němž se odvalovací fréza posouvá ve směru tečny k roztečné kružnici. Tento způsob umožňuje přesnější výrobu těchto kol. Poslední způsob je radiálně tangenciální, při němž se při radiálním posuvu hrubuje a při osovém posuvu obrábí načisto.





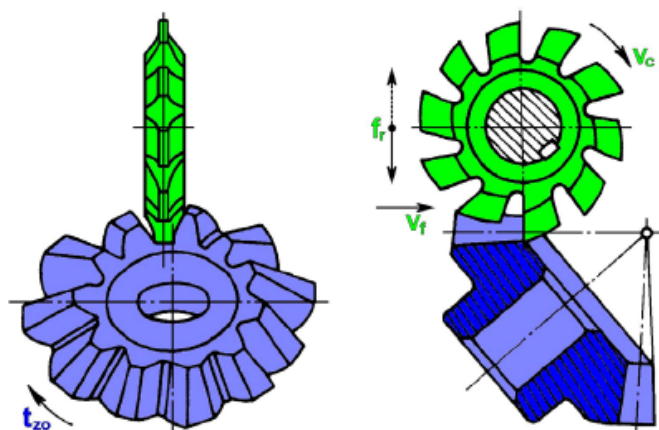
Obr. 2.15 Odvalovací frézování šnekových kol

1.3 OBRÁBĚNÍ KUŽELOVÝCH OZUBENÝCH KOL

1.3.1 Obrábění kuželových kol s přímými a šikmými zuby

Kuželová kola s přímými a šikmými zuby se vyrábějí frézováním tvarovou frézou, což je málo přesné z důvodu neschopnosti lineárně zmenšovat modul směrem k vrcholu ozubení. Dále se vyrábějí frézováním nožovými hlavami, obrážením podle šablony, obrážením dvěma noži a protahováním. Profil zubu je vytvářen tvarovým nástrojem, kopírováním nebo odvalováním. Ozubení s tvarovými nástroji kopírováním se vyrábí dělicím způsobem, odvalování se provádí dělicím způsobem nebo plynulým odvalem.

Frézování tvarovou frézou (kotoučovou nebo stopkovou) se provádí na univerzálních frézkách dělicím způsobem, tedy po obrobení jedné zubové mezery se ozubené kol pootočí o jednu rozteč a postup se opakuje. Tvarovou frézou nelze vyrobit teoreticky správné kuželové ozubení, protože nástroj není schopen lineárně zmenšovat modul ozubení směrem k vrcholu kužele obráběného kola. Způsob se používá pro výrobu kuželových kol s malou přesností a k hrubování kol před dokončením odvalovacími způsoby (obrábí se každý bok zubu zvlášť). Kotoučovou frézou se vyrábějí ozubená kola s přímými a šikmými zuby, čepovou frézou lze navíc vyrábět i ozubení se šípovými a zakřivenými zuby (v tomto případě se obráběné kolo musí současně natáčet kolem své osy). Čepové frézy se používají pro výrobu ozubení větších modulů (až do hodnoty 50 mm).

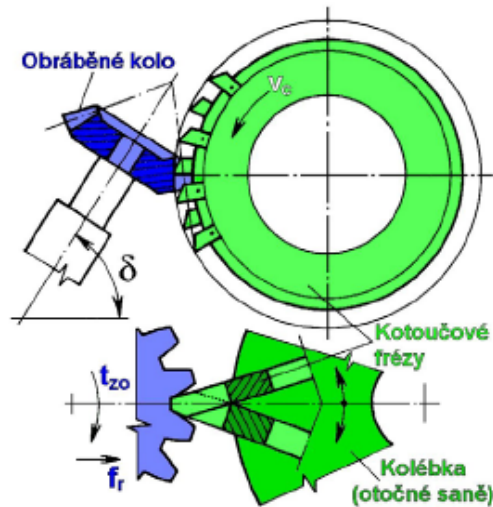


Obr. 2.16 Frézování ozubení kuželového kola kotoučovou tvarovou frézou

Frézování nožovými hlavami - používá se při výrobě kol menších a středních rozměrů (modul $m = 0,3$ až 10 mm), kdy jsou nástroji dvě kotoučové nožové hlavy (pravá a levá) se vsazenými břity, které se v zubové mezeře překrývají (obr. 2.17). Princip práce spočívá v odvalování vyráběného ozubení po plochém základním kole, jehož zuby jsou tvořeny vnějšími břity dvou frézovacích hlav. Odvalování je zajištěno natáčením kolébky nebo

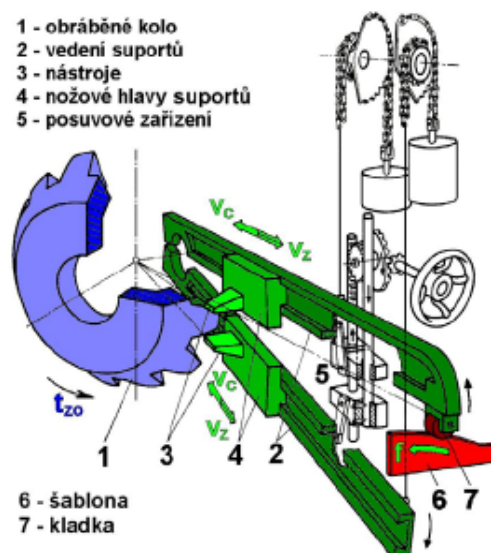


odvalováním frézovacích hlav a natáčením obrobku. Zubová mezera je tedy vytvořena zapichováním a odvalováním, bez podélného posuvného pohybu frézovacích hlav. Ozubení se frézuje dělicím způsobem, obrobek vykoná radiální posuv na hloubku zubu (zapichování), pak následuje frézování boku zubu odvalem. Zuby mají soudečkový tvar, zubové mezery mají tvar kruhového oblouku.



Obr. 2.17 Frézování ozubení kuželového kola pomocí dvou kotoučových nožových hlav

Obrázení kuželového ozubení podle šablony se používá při výrobě přesnějších kol s většími moduly. Pro stejný počet zubů kol s různými moduly stačí jedna šablona, která má tvar zvětšeného boku zubu na vzdálenost 1500 mm od vrcholu kužele obráběného kola. Kinematické schéma obrážecích suportů je uvedeno na obrázku 2.18. Obráběné kolo (1) se upíná na hřídel dělicího přístroje, po vyrobení jednoho zubu se pootočí o jednu rozteč. Obrážecí nože (3), upevněné v nožových hlavách suportů (4), se přímočarým vratným pohybem (v_c - do řezu, v_z - zpětný pohyb) pohybují po vedeních suportů (2) a po každém dvojdvihu se pomocí vačky posuvového zařízení (5) posunou o hodnotu f . Polohu nástroje, nutnou pro obrobení boku zubu určuje kopírovací kladka (7), umístěná na konci vedení suportu, která se odvaluje po šabloně (6) - na obrázku 2.18 znázorněno pouze pro jeden bok zubu.



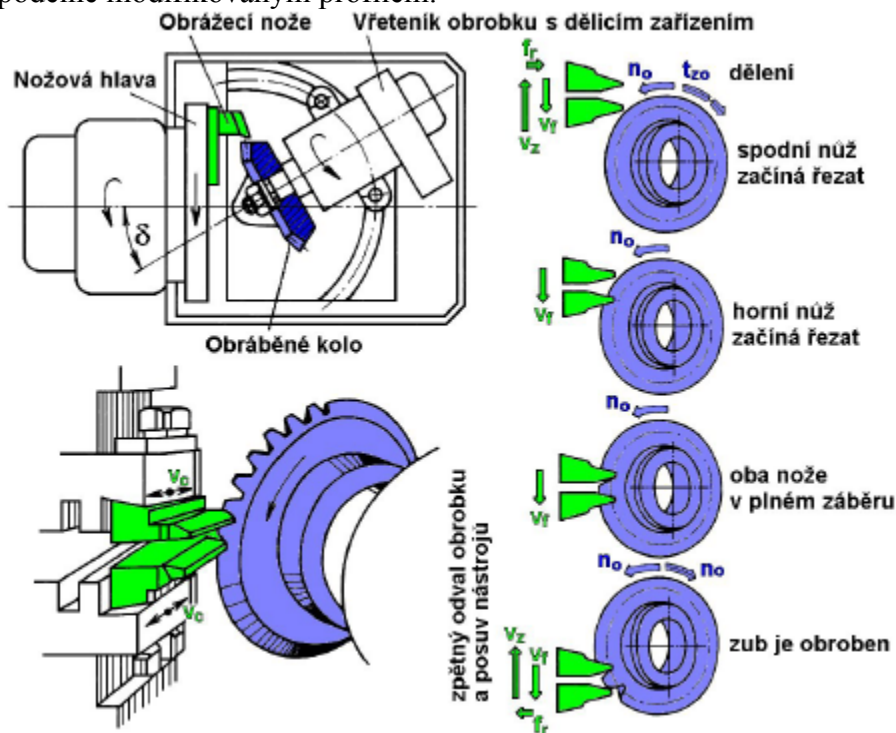
Obr. 2.18 Kinematické schéma obrázení ozubení kuželového kola podle šablony

K výhodám tohoto způsobu obrábění patří možnost výroby přesného kuželového ozubení, u kterého se modul zubů zmenšuje směrem k vrcholu kužele obráběného kola. K nevýhodám



patří nízká kvalita povrchu vyrobených zubů (nástroje obrábějí pouze svými špičkami) a menší produktivita.

Obrázení dvěma noži - je způsob výroby s odvalem boku zubu - obr. 2.19. Nože lichoběžníkového profilu, upnuté v otočné hlavě, konají řezný pohyb (v_c) ve směru povrchových přímk boků zubů. Jejich ostří představují zubovou mezeru pomyslného plochého základního kola (kuželové kolo s úhlem roztečného kužele $\delta = 90^\circ$), se kterým je obráběné kolo v záběru. Boky vyráběných zubů ve tvaru evolventy jsou vytvořeny jako obálka postupných poloh břitů nástrojů při záběru obráběného a základního kola (n_o - rotace obráběného kola, v_f - posuvový pohyb nožů odvozený z rotace nožové hlavy). Po obrobení jednoho zubu (každý nůž obrábí jeden bok) se nožová hlava i obrobek vrátí do výchozí polohy a obrobek se dělicím zařízením pootočí o jednu rozteč. Tímto způsobem se hrubují nebo dokončují ozubená kola do hodnoty modulu $m = 20$ mm a průměru 1200 mm. Na některých typech strojů lze obrázením dvěma noži vyrábět kuželová kola se šikmými zuby, s výskově i podélně modifikovaným profilem.

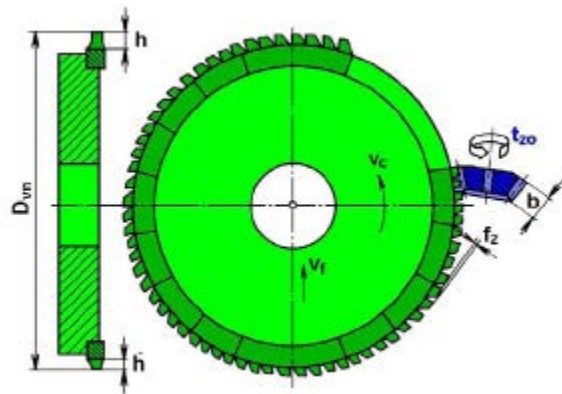


Obr. 2.19 Odvalovací obrázení ozubení kuželového kola dvěma noži

Protahování

Tento způsob výroby ozubení kuželových kol s přímými zuby (obr. 2.20) se uplatňuje ve velkosériové a hromadné výrobě, zejména v automobilovém průmyslu. Nástrojem je vodorovně upnutý kotoučový nástroj (protahovák) o průměru 450 až 600 mm, který má na svém obvodu mechanicky upevněné segmenty s jednotlivými břity odstupňovanými ve tvaru zubové mezery. Profily břitů jsou vytvořeny kruhovými oblouky, kterými je nahrazeno evolventní zakřivení boku zubu, velikost profilu jednotlivých břitů se po obvodu nástroje postupně zvětšuje. Nástroj koná rotační pohyb a posouvá se podél zubu od menšího profilu k většímu, při průchodu části s vynechanými břity je obrobek pomocí dělicího zařízení otočen o jednu zubovou mezeru. Protahování je velmi produktivním způsobem výroby, vzhledem k velmi krátkým časům potřebným pro obrobení jedné zubové mezery (řádově v sekundách).





Obr. 2.20 Protahování ozubení kuželového kola

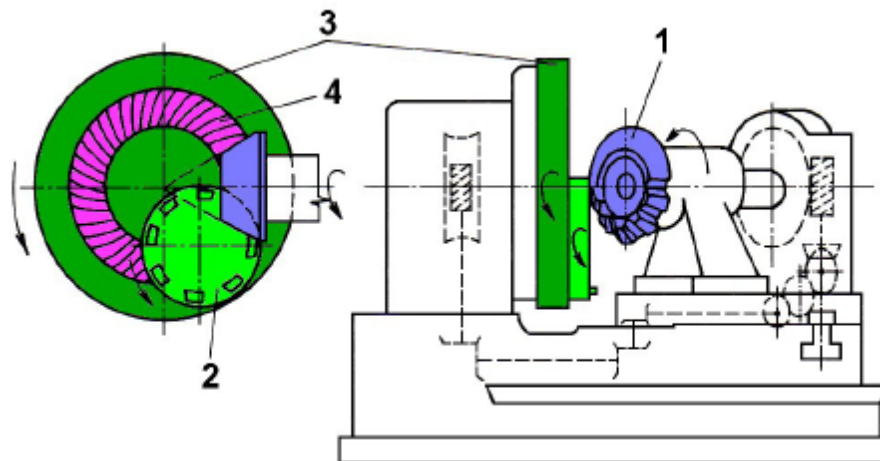
1.3.2 Obrábění kuželových kol se zakřivenými zuby

Obrábění ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby se provádí odvalovacím frézováním následujícími způsoby:

- metoda Gleason - kruhově zakřivené zuby (ozubení Zerol, Hypoid),
- metoda Oerlikon - zuby zakřivené podle prodloužené epicykloidy (eloidní ozubení),
- metoda Klingelnberg - zuby zakřivené podle prodloužené evolventy (paloidní ozubení) nebo epicykloidy (cyklopaloidní ozubení).

Metoda Gleason je odvalovací frézování kuželových kol dělicím způsobem pomocí čelní nožové hlavy (obr. 2.21). Princip obrábění vyplývá ze záběru základního kola (4) s obráběným ozubeným kolem (1). Základní kolo je tvořeno unášecí deskou (3), na níž je upnuta čelní nožová hlava (2).

Nože frézovací hlavy mají lichoběžníkový profil a jsou uspořádány obvykle za sebou, s vystřídáním vnějšími a vnitřními břity. Řezná rychlost, která není vázána na ostatní pracovní pohyby, je určena rotací frézovací hlavy. Obrobek se nejprve přisune na hloubku zubové mezery a odvalovacím pohybem se frézuje celá zubová mezera. Pak se obrobek odsune, nastane odval do výchozí polohy, kterým se uskuteční dělení na další zub a cyklus se opakuje.



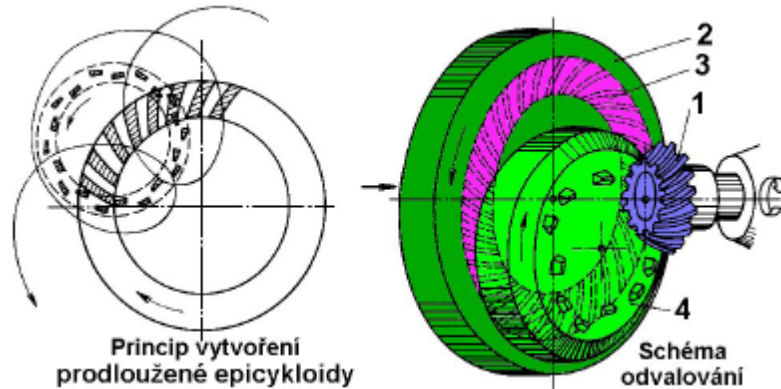
Obr. 2.21 Frézování ozubení kuželových kol se zakřivenými zuby způsobem Gleason

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

Metoda Oerlinkon je odvalovacím frézováním čelní nožovou hlavou s plynulým odvalem. Ozubení vzniká při kombinaci tří pohybů, a to rotačním pohybem nožové hlavy, otáčením obrobku, které je současně dělicím pohybem a natáčením kolébky, na níž je výstředně upnuta čelní nožová hlava. Jednotlivé břity čelní nožové hlavy (s přímkovým ostřím) jsou uspořádány po skupinách tak, že tvoří části samostatných spirál. Tento způsob výroby je



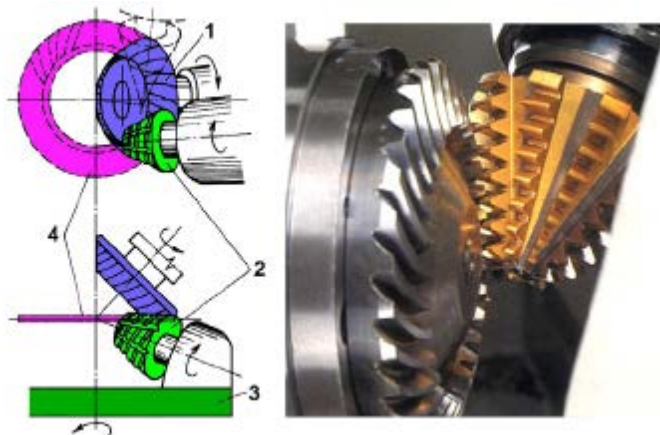
s oblibou využíván pro výrobu kol v kusové, sériové i hromadné výrobě s moduly 3 až 15 mm, do průměru kol 650 mm.



Obr. 2.22 Frézování kuželových kol metodou Oerlikon

1 – obrobek, 2 – unášecí deska, 3 – pomyslné základní kolo, 4 – nožová hlava

Metoda Klingelberg je odvalovací frézování kuželových kol se zakřivenými zuby plynulým odvalem kuželovou odvalovací frézou. Toto ozubení je shodné s ozubením Oerlikon s druhem G. Rozdíl tkví ve způsobu podélné modifikace. Obrábění podobně jako u metody Oerlikon se vytváří kombinací tří pohybů: rotačního pohybu frézy a obrobku a odvalovacího pohybu frézy na unášecí desce. Způsob je vhodný pro kusovou a malosériovou výrobu kuželových ozubených kol s evolventním zakřivením zubů, s moduly 1 až 7 mm.



Obr. 2. 23 Frézování kuželových kol s paloidním ozubením metodou Klingelberg

1 – obráběné kolo, 2 – kuželová odvalovací fréza, 3 – unášecí deska,
4 – pomyslné základní kolo

Výroba kol s cyklopaloidním ozubením se provádí odvalovacím frézováním čelní nožovou hlavou. Princip je stejný jako u způsobu Oerlikon. Rozdíl spočívá v konstrukci nožové hlavy, která je dvoudílná a uspořádaná tak, že všechny vnější nože jsou v jedné části a vnitřní nože v druhé části hlavy. Obě části se mohou vzájemně posouvat, což umožňuje vnitřním i vnějším nožům vytvářet křivky s různými poloměry křivosti. Tím vzniká požadované zakřivení s podélnou modifikací tvaru zubu. Je to velmi produktivní způsob výroby kuželových kol menších a středních modulů do průměru až 850 mm.

1.4 VÝROBA ZÁVITŮ

Závity jsou konstrukčně technologické prvky součástí. Ve strojírenství jsou závity používány jako důležité spojovací nebo pohybové elementy výrobků. Přesnost a kvalita má vliv na správnou funkci a spolehlivost. Technologii výroby závitů je možno rozdělit na:



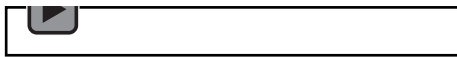
- lití a lisování v plastickém tvaru, což je proces uplatňovaný při lisování termoplastů a termosetů,
- obrábění (nejrozšířenější způsob výroby závitů),
- tváření (použitelné u tvárných materiálů).

Náplní této kapitoly je popis závitových nástrojů a metod, kterými jde vyrobit vnější i vnitřní závit, tj. drážku předepsaného profilu probíhající ve šroubovici na válcové nebo kuželové ploše. Cílem je zaměřit se na výrobu závitů těmito způsoby:

- řezáním (strojně i ručně),
- soustružením,
- frézováním,
- broušením (přesněji i lapováním),
- tvářením.



Audio 1.2 Výroba závitů



1.4.1 Řezání závitů

Řezání vnějších závitů

Pro ruční i strojní řezání vnějších závitů se používají různé druhy dělených a nedělených závitových čelistí. Závitová čelist je vlastně matice, která má v tělese vyvrtané drážky, vytvářející řezný klín a odvádějící třísky.

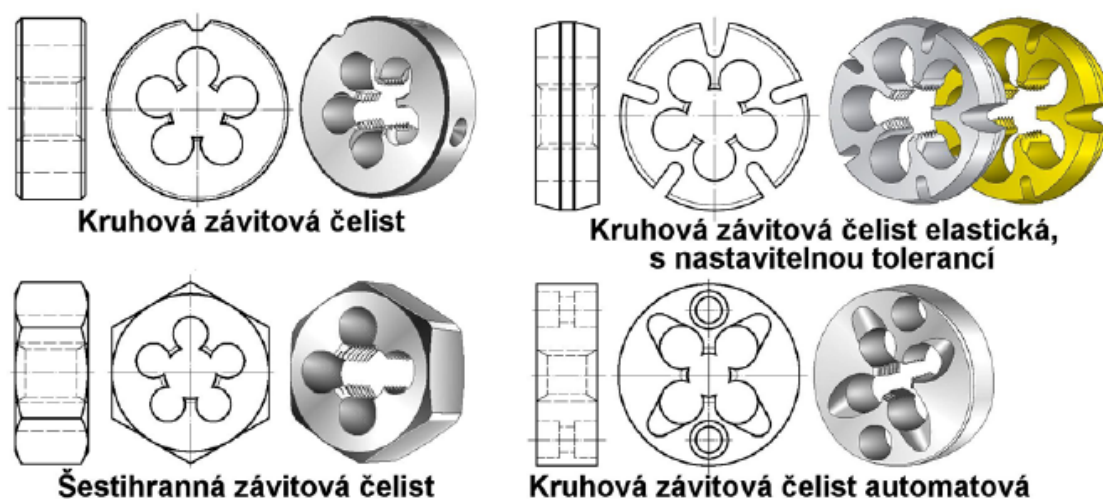
Vyrábí se převážně z nástrojové legované nebo rychlořezné oceli (19 802, 19 830) s tvrdostí řezné části 680 až 830 HV, a to s povlaky i bez nich. Při řezání se čelisti otáčejí kolem osy (hlavní pohyb) a podle stoupání řezaného závitů (vedlejší pohyb) se ve směru osy posouvají. Postupným odebráním třísky se pak vytváří povrch závitů předepsaného profilu a rozměru.

Závitovými čelistmi lze řezat závity metrické (standardní, jemné, trapézové), unifikované hrubé i jemné závity, Whitworthovy závity (trubkové, kuželové a válcové závity, oblé závity, i další typy závitů v závislosti na sortimentu výrobce čelistí.

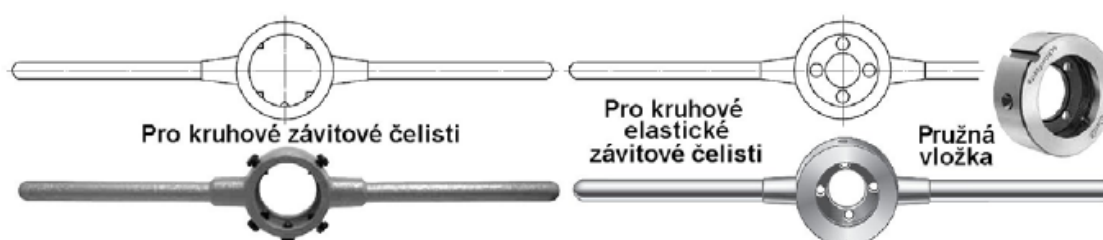
Kruhové závitové čelisti se vyrábějí pro levý i pravý závit. Mají řezný kužel na obou čelních plochách a jsou vhodné i pro řezání na soustruhu. Při ručním řezání má výchozí polotovar tvar válce odpovídající průměru, u větších průměrů (od 30 mm) se doporučuje na soustruhu předřezat a poté čelistmi dořezat.

Závitové čelisti jsou při ručním řezání upínány do vratidel a při strojním řezání do držáku, který umožňuje otáčení závitnice po nařezání potřebné délky závitů s nařezaným šroubem. Pro strojní řezání závitů na soustruzích se využívá strojních automatových závitových čelistí. Z ekonomického hlediska se doporučuje řezat závity jednou stranou až do otupení a poté otočit a použít druhý řezný kužel.





Obr. 3.1 Závité čelisti



Obr. 3.2 Vratidla pro kruhové závitové čelisti

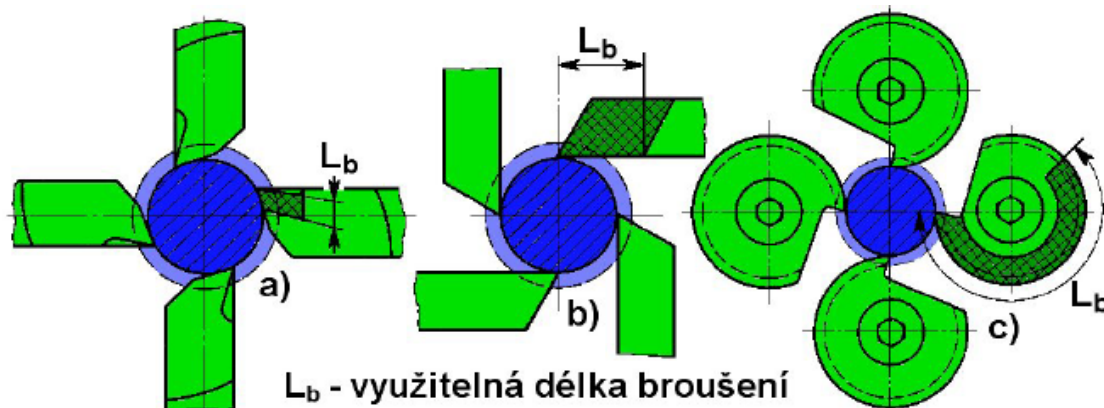
Pro strojní řezání závitů na soustruzích se využívají automatové závitové čelisti nebo produktivní závitové hlavy viz obr. 3.2 s radiálními (a), tangenciálními (b) nebo kotoučovými noži (c).

Radiální čelisti se ustavují na požadovaný průměr stavěcími šrouby a natáčecí objímkou podle kalibru nebo vzorového šroubu. Maximálně vyrobitelný závit touto metodou je metrický závit M60. Tangenciální čelisti jsou uloženy ve výkyvném držáku a posuvně upnuty v rybinové drážce. Těmito čelistmi je možno vyrobřit maximálně závit M64. Kotoučové nože mají menší průměr než předchozí dva typy. Jsou výrobně jednoduché a vykazují dlouhou životnost, a to z důvodu vysokého počtu přestřehů.

Nože závitových hlav jsou hřebínkové (břit je vytvořen řadou za sebou umístěných závitových profilů). První profily jsou seříznuté, proto lze závit vyříznout najednou, bez radiálního přísuvu. Posuv obrobku je buď nucený, nebo se obrobek samočinně zařezává do čelisti. Čelisti hlavy se po vyříznutí požadované délky závitu automaticky rozevřou. Řezná rychlost (měřená na vnějším průměru závitu) se obvykle volí v rozmezí 4 až 15 m.min⁻¹.

Před začátkem řezání je nutno zajistit, zda materiál a hlava jsou v jedné ose, aby nedošlo k vyštípnutí čelisti, a tím ke znehodnocení celé sady. Ze stejného důvodu se doporučuje osoustružit na materiálu kuželové sražení. Přesnost závitu je závislá na počátečním tlaku čelisti na materiál. Proto je nutno zajíždět čelistmi do záběru zvolna. Zvláště opatrně se musí řezat závity malých průměrů. Třisky vzniklé řezáním nesmějí ucpávat čelisti a vnikat do hlavy. Tomu lze zabránit přiváděním procesní kapaliny otvorem v hlavě.

Závitové hlavy se používají pro řezání závitů na hrotových soustruzích, revolverových a automatických soustruzích, dále také na speciálních závitorezných strojích. Ruční závitové hlavy se používají nejčastěji pro řezání závitů na trubkách pro plynové a vodovodní potrubí.

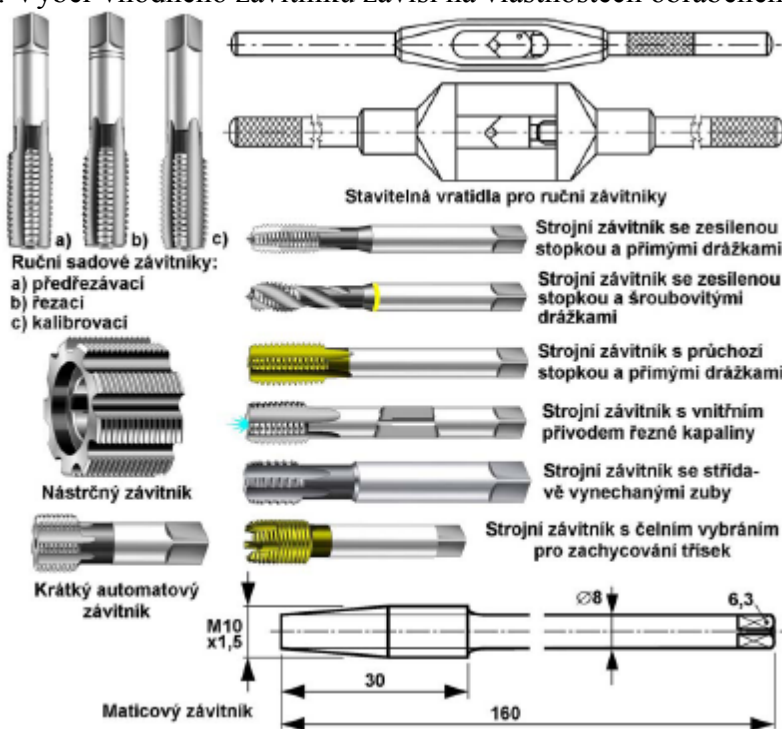


L_b - využitelná délka broušení

Obr. 3.3 Schémata typů nožových hlav
a – radiální čelisti, b – tangenciální čelisti, c – kotoučové nože

Řezání vnitřních závitů

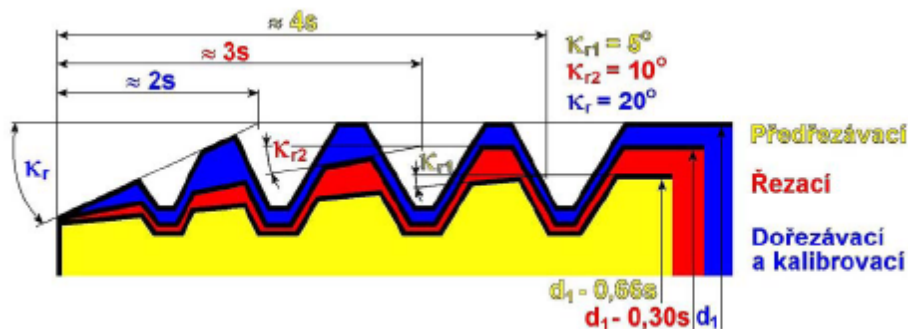
Pro strojní i ruční řezání vnitřních závitů se používají tzn. závitníky. Jsou vyráběny z rychlořezné oceli nebo slinutých karbidů, a to povlakované i nepovlakované. Závitník je v podstatě šroub s náběhovým kuzelem, ve kterém jsou vytvořeny břity jednou až osmi drážkami. Potřebných řezných úhlů u břitů je dosaženo vhodným tvarem drážek a podbroušením. Výběr vhodného závitníku závisí na vlastnostech obráběného materiálu.



Obr. 3.4 Strojní a ruční sadové závitníky

Při ručním řezání závitu se používá sady dvou nebo tří závitníků, tzv. sadové závitníky. Dva závitníky se používají pro řezání jemných závitů. První z nich závit předřeže, druhý řeže a třetí dořezává a kalibruje. Tvar řezných kuželů jednotlivých závitníku v sadě je na obr. 3.5. Závitníky v pořadí první, druhý, třetí odeberou 60, 30 a 10 % materiálu. Upínají se do vratidel různé konstrukce.





Obr. 3.5 Tvar řezných kuželů ručních sadových závitníků

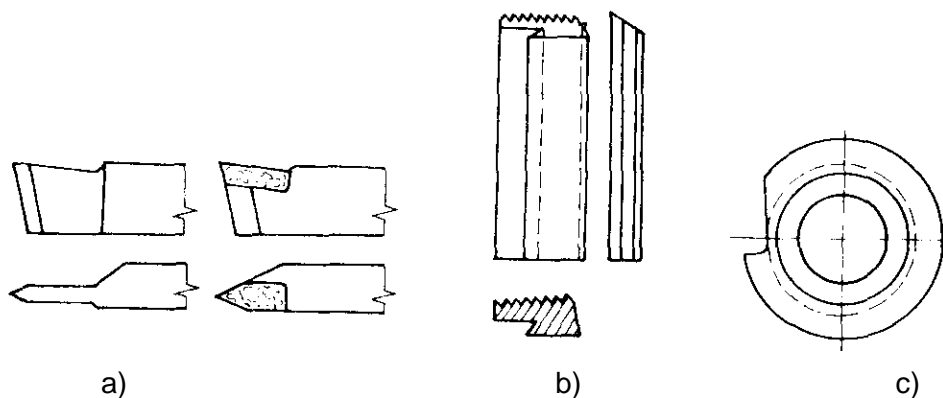
Pro strojní řezání se používá obvykle jeden s krátkým řezným kuzelem s přímými nebo šroubovitými drážkami, které lépe odvádějí třísku z místa řezu. Do velikosti závitů M60 se používají se stopkou, pro větší průměry jsou nástrčné. Upínají se do závitových hlav, které umožňují osové vyrovnání. Efektivní jsou stroje - speciální závitorezy nebo vrtačky, které umožňují automatickou reverzaci smyslu otáčení pracovního vřetene při najetí na narážku.

Pro výrobu matic (ruční i strojní) se používají maticové závitníky. Mají dlouhý řezný kužel, krátkou závitovou část a průchozí stopku. Výhodou je, že není nutná reverzace závitníku, protože dlouhá stopka pojme určitý počet hotových matic, takže se závitník nemusí často uvolňovat. Na stejném principu je založena konstrukce závitníku automatických strojů pro hromadnou výrobu matic. Stopka, po které odcházejí hotové matice, je zahnutá. V místě řezné části je pouzdro se šestihrannou dírou, do něhož jsou přiváděny skluzem matice ze zásobníku. Rotační pohyb vykonává buď závitník, nebo pouzdro, do něhož se přivádějí matice. Hotové matice vypadávají ze závitníku přímo do palety.

1.4.2 Soustružení závitů

Závity se soustruží na univerzálních, revolverových, poloautomatických a automatických soustružích. Posuv nástroje na otáčku je roven stoupání soustruženého závitu. Pro soustružení vnějších i vnitřních závitů se používají speciální závitové nože, jejichž profil je odvozen z profilu řezaného závitu. Nože bývají celistvé, vyrobené z rychlořezné oceli nebo s připájenou destičkou, popř. s VBD mechanicky upnutou. Umožňují výrobu levých i pravých závitů.

Závitové nože jsou buď jednoprofilové (radiální nebo kotoučové) nebo hřebenové (víceprofilové prizmatické nebo kotoučové). Jednoprofilovým se řeže závit postupně na několik záběrů, u hřebíkových nožů jsou první profily zkoseny, takže umožňují vyřezat závit na jeden záběr.

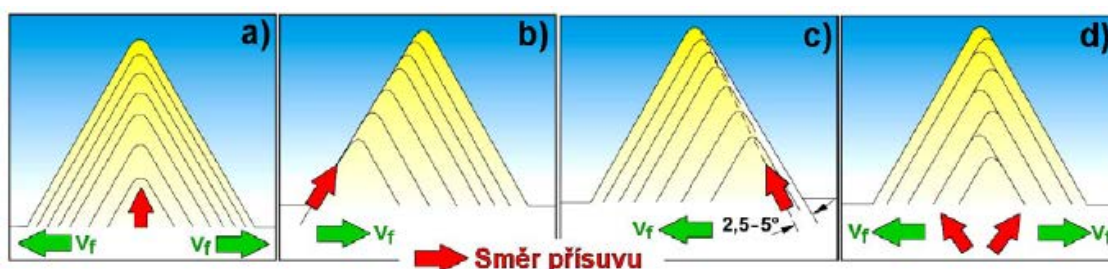


Obr. 3.6 Závitové nože a) ploché, b) prizmatický, c) kotoučový

Způsoby postupného soustružení závitů závitovým nožem jsou následující. Lze v zásadě řezat závit podle obr. 3.7 třemi způsoby:



- radiálním přísvem (obr. 3.7 a), který je prováděn kolmo na osu rotace. Dochází k rovnoměrnému úběru obráběného materiálu na obou bocích závitů a tím k rovnoměrnému opotřebení po obou bocích závitorezného nástroje. Tento způsob je vhodný pro výrobu závitů s menším stoupáním do 3 mm u obrobků z litiny a z ocelí náchylných ke zpevňování za studena, jako jsou zejména austenitické nerezavějící oceli. Nevýhodou je náchylnost ke kmitání u větších stoupání. Jedná se o nejčastěji používaný způsob.
- bočním přísvem (obr. 3.7 b) se snižuje tepelné zatížení špičky a tím i opotřebení nástroje. Tříška je dobře tvarována a odváděna z místa řezu. Používá se pro řezání závitů s větším stoupáním a u trapézových závitů. Nevýhodou je tření na pravém břitu nástroje, nepravidelné opotřebení a horší jakost na pravé straně závitů.
- bočním přísvem s odklonem (obr. 3.7 c) 3° až 5° se eliminuje tření na boku profilu. Upřednostňuje se při stoupáních nad 3 mm a při řezání lichoběžníkových závitů.
- střídavým přísvem (obr. 3.7 d), který se doporučuje u velmi velkých stoupání a materiálu se špatně se utvářející třískou. Výhodou je rozložení úběru materiálu a opotřebení, nevýhodou náročnost na programování strojů.



Obr. 3.7 Způsoby postupného soustružení závitů

radiální přísvuv, b) boční přísvuv, c) boční přísvuv s odklonem, d) střídavý přísvuv

Pro nože z rychlořezné oceli se volí řezná rychlost 10 až 30 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ pro hrubování a 20 až 60 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ pro obrábění načisto. Při soustružení noži s břity ze slinutých karbidů lze soustružit závitů rychlostí až do 160 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Současné nože s vyměnitelnými břitovými destičkami umožňují řezat závitů rychlostí přes 200 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$.

1.4.3 Frézování závitů

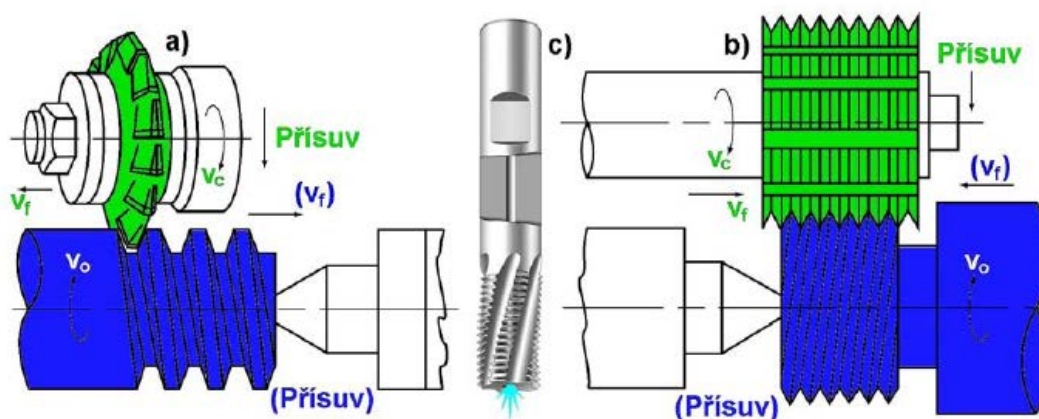
Pro frézování závitů se používají tyto druhy frézovacích nástrojů:

- kotoučové závitové frézy,
- hřebenové válcové závitové frézy,
- stopkové závitové frézy.

Kotoučové závitové frézy jsou jednodílné nástroje, které se používají pro frézování dlouhých vnějších závitů, například pohybových šroubů. Pro frézování je fréza vykloněna do směru tečny šroubovice středního průměru závitů. Fréza má profil závitové mezery a je vykloněna o úhel stoupání závitů. Za jednu otáčku obrobku se fréza nebo obrobek posune o stoupání závitů. Stejnou frézou lze frézovat závitů různých průměrů s odpovídající změnou úhlu stoupání šroubovice, je-li rozteč závitů stejná.

Hřebenové válcové závitové frézy se vyrábějí buď jako nástrčné nebo stopkové. Válcová plocha je tvořena závitovým profilem, přerušeným drážkami (přímými nebo ve šroubovici). Fréza a obrobek konají rotační pohyb kolem své osy a současně se musí posouvat relativně proti sobě.



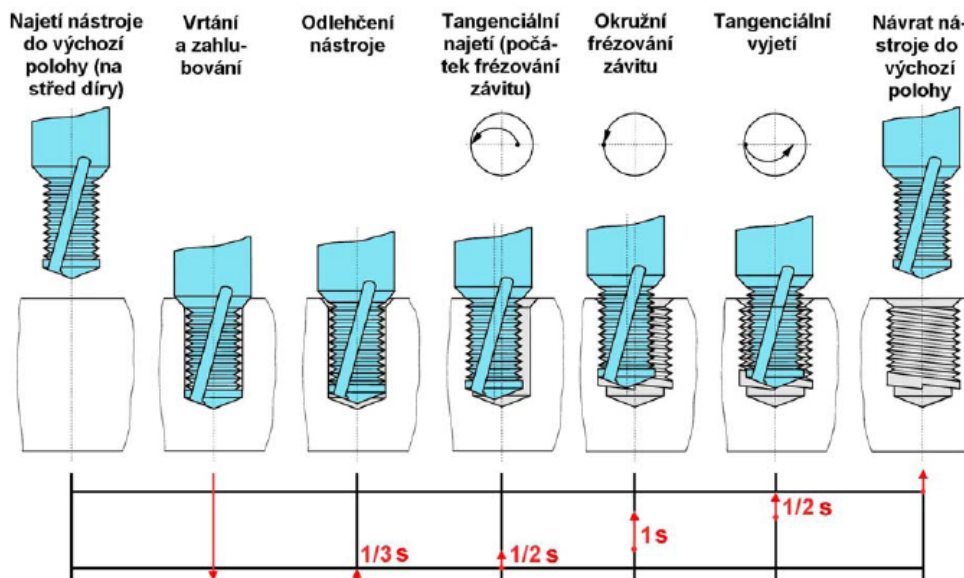


Obr. 3.8 Metody frézování závitů: a) kotoučová fréza, b) hřebenová válcová nástrčná fréza, c) hřebenová válcová stopková fréza s vnitřním přívodem řezné kapaliny

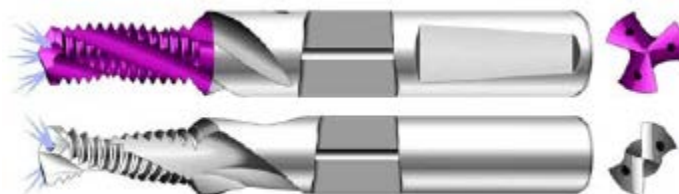
Obkružovací frézovací hlavy umožňují velmi produktivně frézovat vnější, vnitřní pravé i levé závit. Frézovací hlava s jedním až čtyřmi noži s profilem závitů se otáčí řeznou rychlostí 100 až 300 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ a současně se relativně posouvá vzhledem k ose obrobku za jednu otáčku obrobku o jedno stoupání závitů. Výhodou je, že jedním nástrojem lze obrábět závitů různých průměrů a délek. Limitujícím faktorem je pouze použitý CNC stroj.

Pro frézování závitů se používají také tyto speciální metody:

- Metoda BGF – umožňuje během jednoho pracovního cyklu provést 3 pracovní operace bez výměny nástroje (vrtání díry, sražení hrany a frézování závitů). Ušetří se tím náklady na další nástroje a čas na výměnu těchto nástrojů. Na obr. 3.9 je vyobrazena monolitní vrtací závitová fréza BGF firmy Emuge-Franken, která se vyrábí z nepovlakovaných i povlakovaných slinutých karbidů. Frézy BGF mají vnitřní přívod řezné kapaliny a jsou vyráběny v provedení se dvěma nebo třemi šroubovitými drážkami.

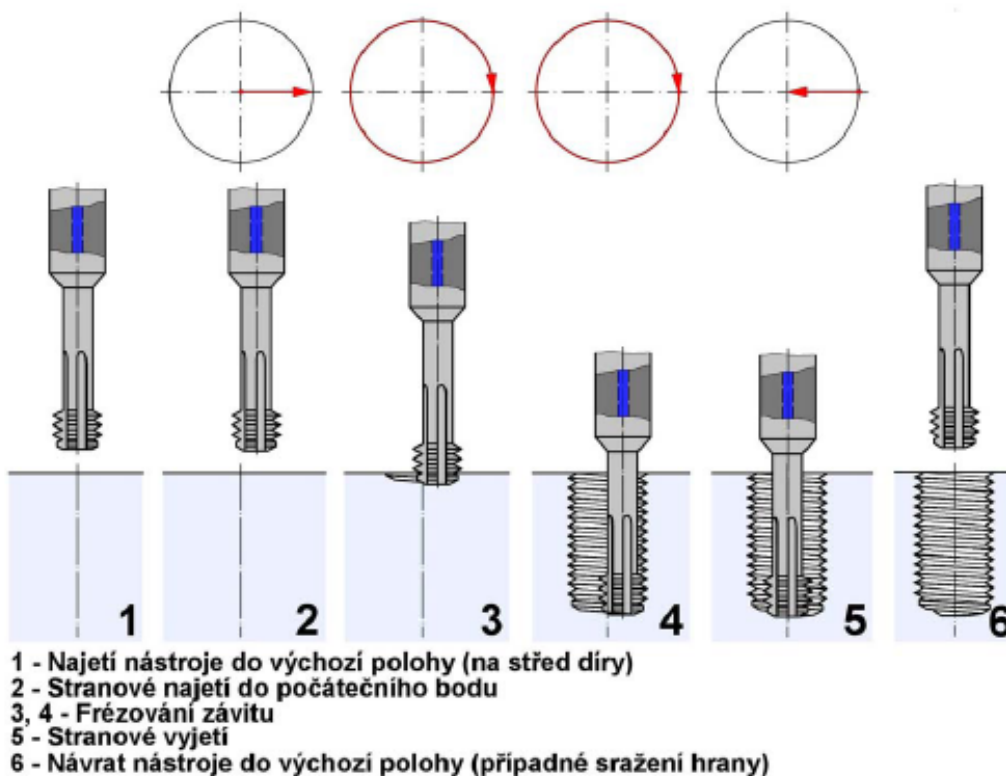


Obr. 3.9 Cyklus frézování závitů frézou BGF



Obr. 3.10 Monolitní SK vrtací závitové frézy BGF firmy Emuge-Franken

- Metoda ZBGF – pro výrobu vnitřních závitů pomocí kruhové interpolace do plného materiálu bez předchozího vyvrtání díry. Monolitní vrtací závitové frézy řady ZBGF firmy Emuge-Franken pro výrobu vnitřních závitů frézují závit pomocí kruhové interpolace do plného materiálu, bez předchozího vyvrtání díry. Mají vnitřní přívod rezné kapaliny a jsou vyráběny v provedení se třemi nebo čtyřmi přímými nebo šroubovitými drážkami.



Obr. 3.11 Cyklus frézování závitu frézou BGF

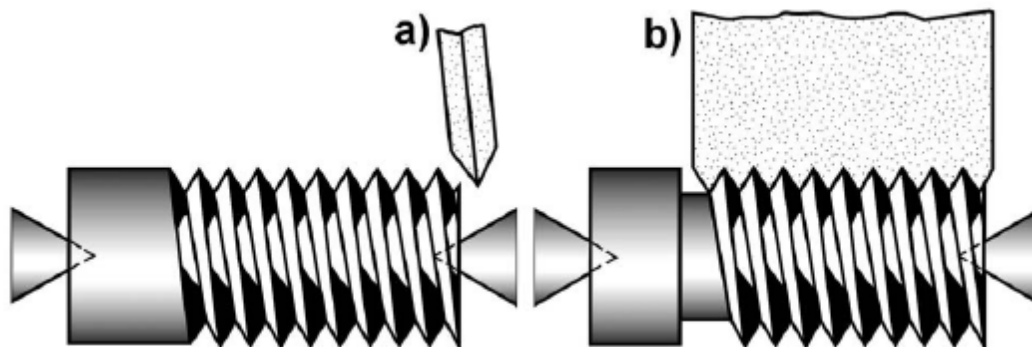


Obr. 3.12 Monolitní SK vrtací závitové frézy ZBGF firmy Emuge-Franken

1.4.4 Broušení závitů

Broušení závitů se používá při výrobě přesných šroubů, u kterých je kladen důraz na drsnost, profil a stoupání závitů. Nejčastěji se brousí na speciálních bruskách viz obr. 3.13 jednodílným nebo hřebenovým kotoučem.





Obr. 3.13 Broušení vnějších závitů a) jednoprofilový kotouč, b) hřebenový kotouč

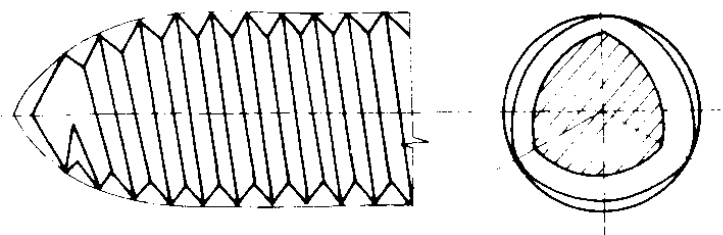
Jednoprofilový kotouč je při broušení vykloněn o úhel stoupání závitu a nastaven na plnou hloubku závitu. Obrobek se otáčí rychlostí 1 až 4 m.min⁻¹ a posouvá se v axiálním směru o délku stoupání závitu na jednu otáčku. Dosahuje se tak nejvyšší přesnosti, ale při malé produktivitě.

Hřebenový kotouč má na svém obvodu několik negativních profilů závitu. Je nastaven rovnoběžně s osou obrobku a postupně se axiálně posouvá k obrobku až k dosažení plné hloubky závitu. Obrobek se přitom otáčí a posouvá. Závity se stoupáním menším než 1mm se dají brousit bez předchozího obrábění.

1.4.5 Tváření závitů

Je to nejproduktivnější způsob výroby závitů. Nedochozí k úběru materiálu ve formě třísky, ale k deformaci materiálu. Deformovaný materiál se zpevňuje, přičemž není poškozena vnitřní struktura materiálu. Proto válcované závity snesou větší zatížení než obráběné.

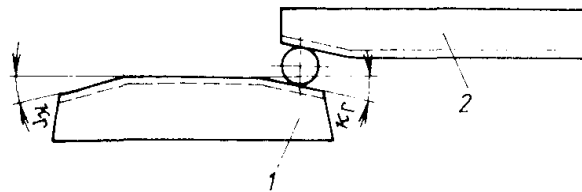
Tváření vnitřních závitů se provádí speciálními tvářecími závitníky běžně v materiálech s nižší pevností (do 500 MPa) a tažností min. 12 %, zejména v hliníkových slitinách, slitinách mědi a ocelích nižší pevnosti. Předvrtaná díra musí být větší než střední průměr závitu. Tvářecí závitník má speciální tvar tvářecí části (viz obr. 3.14). Předností tohoto způsobu je, že odpadá odstraňování třísek po vyříznutí závitu. Jakost a mechanické vlastnosti závitu jsou lepší než u závitu řezaného.



Obr. 3.14 Přečtová část a průřez tvářecím závitníkem

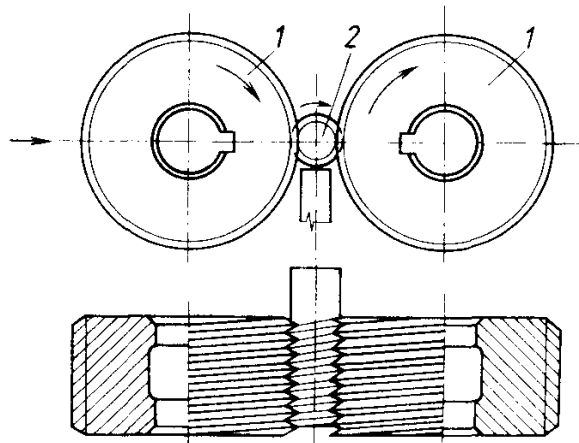
Nejproduktivnější metoda výroby vnějších závitů je válcování závitů. Podstata spočívá ve vytlačování závitu pomocí plochých nebo kotoučových čelistí, které mají tvar profilu závitu. Protože při vnikání válcovacích čelistí do materiálu se zvětšuje jeho výchozí průměr, je třeba volit výchozí průměr menší, než je požadovaný vnější průměr závitu.

Válcování závitů se provádí plochými válcovacími čelistmi zejména pro výrobu šroubů. Ploché válcovací čelisti jsou zobrazeny na obr. 3.15. Na povrchu mají vytvořeny drážky s negativním profilem závitu (pro každou rozteč závitů je zvláštní pár čelistí) a na náběžné hraně zkosení pro usnadnění vniknutí válcovaného dířku. Při každém pohybu čelisti je vyválcován závit na jednom dířku, který přitom vykoná asi dvě otáčky.

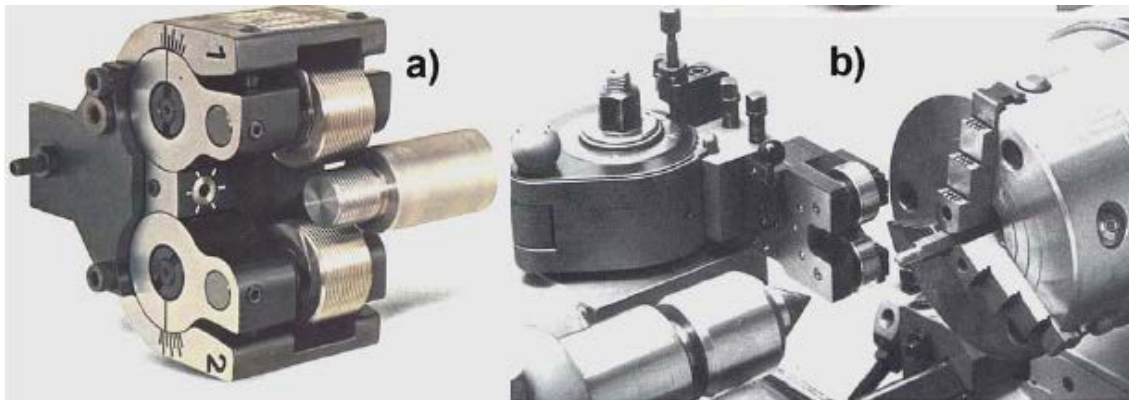


Obr. 3.15 Ploché válcovací čelisti závitů (1 – pevná část, 2 – pohyblivá část)

Závity se také válcují kotouči na válcování závitů (obr. 3.16). Funkční část těchto kotoučů tvoří vícechodý závit s negativním tvarem profilu válcovaného závitu. Závit se válcuje radiálním způsobem, oba kotouče jsou hnané, otáčejí se ve stejném smyslu a při válcování se přibližují.



Obr. 3. 16 Radiální válcovací čelisti závitů

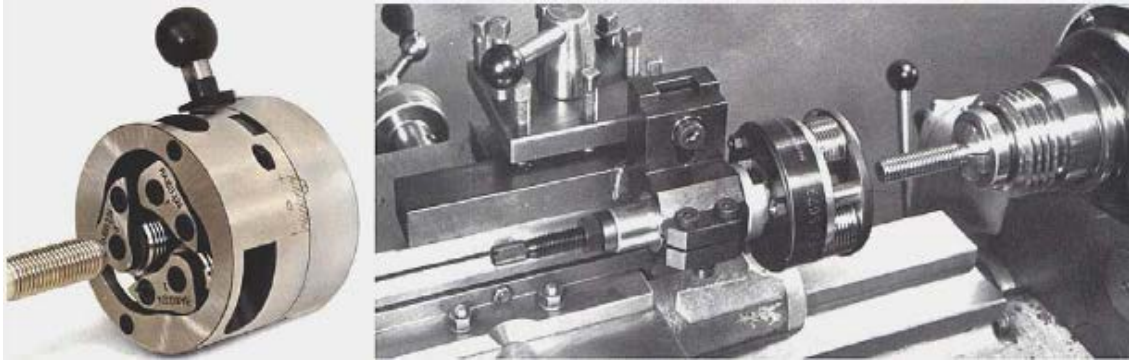


Obr. 3. 17 Radiální způsob válcování závitu

a) hlava s kotoučovými čelistmi, b) sestava stroj - nástroj - součást

Axiálním způsobem se na soustruzích válcují závity pomocí závitových válcovacích hlav. Tyto hlavy jsou buď rotační nebo stojící. Rotační hlava, upnutá ve vřetenu se otáčí, stojící hlava je upnutá v revolverové hlavě nebo koníku a otáčí se obrobek. Pro válcování se používá sada tří kotoučů, které jsou vůči obrobku uloženy v radiálním směru a mají osy vzhledem k ose obrobku mimoběžné.





Obr. 3. 18 Axiální způsob válcování závitu

a) hlava s kotoučovými čelistmi, b) sestava stroj - nástroj - součást

Zřejmou výhodou válcování je, že šrouby mají zmíněným zpevněním po tváření o 10 až 15 % vyšší pevnost v tahu a o 50 až 100 % vyšší mez únavy. Tomu napomáhá, že vlákna vzniklá po tváření polotovaru, nejsou porušena. Nevýhodou je horší tvarová přesnost a drsnost závitu. Válcování je vhodné pro materiály s pevností do 1 000 MPa (vyjimečně až do 1 200 MPa) s tažností větší než 8 %. U materiálů s pevností vyšší než asi 800 MPa se tváření závitu provádí za tepla.

1.5 VÝROBA KUŽELŮ

Kuželové plochy se používají k pevnému spojení strojních součástí, u nichž se požaduje přesná sousost a také k utěsňování vodovodních a plynovodních armatur. Rozdělujeme je na vnější a vnitřní.

Vnější kuželové plochy se vyskytují na upínacích stopkách nástrojů, jako jsou šroubovitě vrtáky, frézy, výstružníky, upínací trny, redukční vložky, středící hroty pevné i otočné a na mnoha jiných strojních součástech (obr. 4.1). Často používané kužele jsou normalizovány, např. u upínacích hrotů.

Vnitřní kuželové plochy se tvoří např. v dutinách upínacích vřeten obráběcích strojů vrtaček, frézek, soustruhů a brusek.



Obr. 4.1 Nástrojové kužele, upínací trny a redukční pouzdra

Výhodou nástroje s kuželovou stopkou vloženého do kuželové dutiny vřetene je, že lze snadno a rychle upnout do vřetene a vytvořit soustředné spojení bez vůle. U samosvorných



kuželů dojde k pevnému spojení, které může přenášet velké výkony. Podmínkou je však přesné obrobení a naprostá čistota obou spojovaných ploch. Samosvorné nástrojové kužele jsou např. metrické s kuželovitostí 1 : 20 a vrcholovým úhlem $2^\circ 51' 52''$.

1.5.1 Výpočet základních rozměrů kužele

Kužel je rotační těleso s kruhovou podstavou, které se stejnoměrně zužuje k vrcholu. Vrcholový úhel kužele α je úhel, který spolu svírají dvě protilehlé povrchové úsečky. Polovina tohoto úhlu ($\alpha/2$) je označován jako úhel sklonu kužele. Úhel sklonu kužele je buď na dílenském výkrese zakótován, nebo si jej lze vypočítat, popřípadě vyhledat v příslušných tabulkách. Kuželovitost se na výkrese přepisuje k ose kužele, sklon kužele k povrchové úsečce. Kužele se kótují různě, většinou v závislosti na způsobu výroby, měření, návaznosti na ostatní díly sestavy nebo u normovaných dílů podle příslušných norem.

Výpočet kuželovitosti

Kuželovitost k se udává jako poměr dvou čísel např. 1 : 20, což znamená, že na délce 20 mm se průměr kužele mění o 1 mm. Pro přímý kužel se kuželovitost k vypočte podle vzorce:

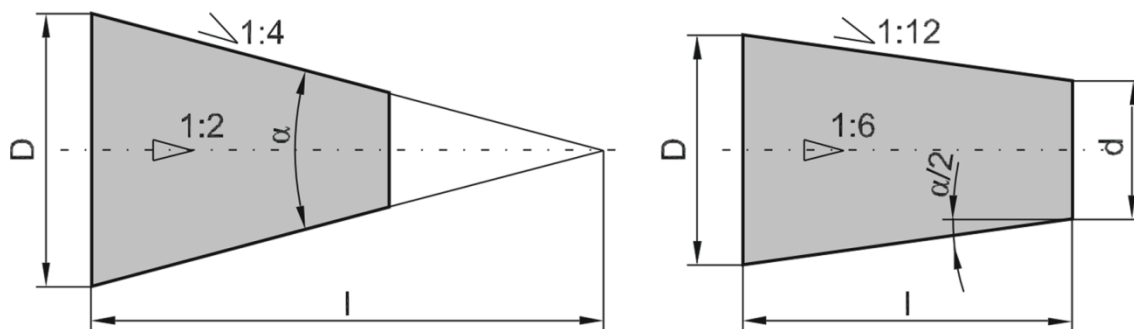
$$k = \frac{D}{l} \quad (4.1)$$

kde: D - velký průměr kužele,
 l - délka kužele.

Pro komolý kužel použijeme pro výpočet kuželovitosti k vzorec:

$$k = \frac{D-d}{l} \quad (4.2)$$

kde: d - malý průměr kužele.



Obr. 4.2 Hodnoty pro výpočet kuželů

Výpočet sklonu kužele

Sklon kužele je poloviční kuželovitost. Tato hodnota je důležitá pro výpočet úhlu sklonu kužele, který je potřebné znát pro seřízení stroje. U normalizovaných kuželů jsou úhly sklonu uvedeny ve strojnických tabulkách a není je proto třeba počítat.

V případě, že nemáme k dispozici příslušné tabulky, nejprve vypočteme sklon a využitím goniometrických funkcí převedeme na úhel. Například sklon se udává poměrem $1 : 2x$, tzn. na délce velikosti $2x$ se změní poloměr o 1 mm. Z tangenty poměru odvěsen se určí úhel sklonu kužele $\alpha/2$.

Pro přímý kužel se sklon kužele vypočte:

$$s = \frac{D}{2l} = \frac{k}{2} \quad (4.3)$$

popřípadě pro komolý kužel

$$s = \frac{D-d}{2l} = \text{tg} \alpha / 2 \quad (4.4)$$



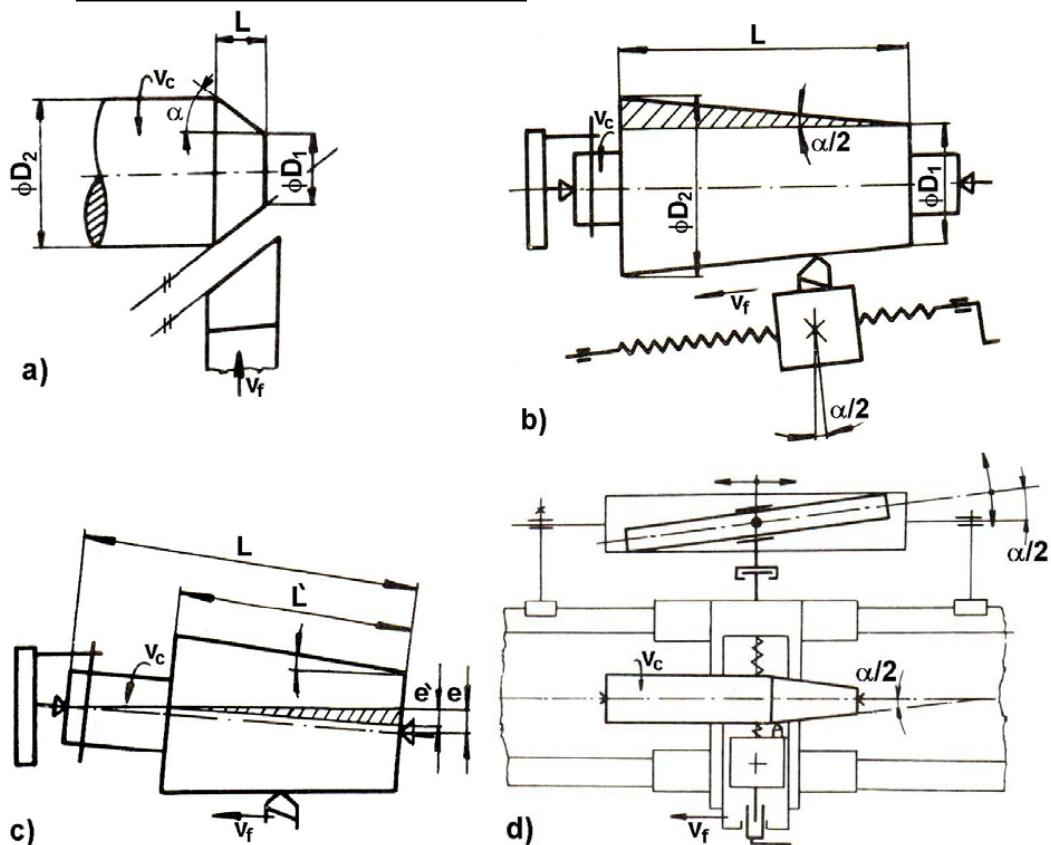
Způsoby obrábění kuželových ploch

Kuželové plochy lze obrábět těmito způsoby:

- zapichovacím způsobem – velmi krátké kužele tvarovým nožem (viz obr. 4.3 a),
- natočením nožového suportu o polovinu vrcholového úhlu (viz obr. 4.3 b),
- vyosením koníku – pouze vnější velmi štíhlé kužele (viz obr. 4.3 c),
- pomocí vodícího pravítka (viz obr. 4.3 d),
- kuželovými výstružníky – pouze vnitřní kuželové plochy.



Audio 1.3 Obrábění kuželových ploch



Obr. 4.3 Soustružení kuželů

- a) zapichovací způsob - velmi krátké kužele, b) natočením nožového suportu,
c) vyosením koníku - velmi štíhlé kužele, d) pomocí vodícího pravítka

Při **zapichovacím způsobu výroby kuželů** se nůž musí posouvat rovnoběžně s přední povrchovou úsečkou, a proto je nutno natočit nožové saně o úhel $\alpha/2$. Takto však lze soustružit jen poměrně krátké plochy. Nožové saně suportu se nastavují podle úhlové stupnice na nožovém suportu, úhloměrem, nebo pomocí vzorku či kalibru a číselníkového úchylkoměru.

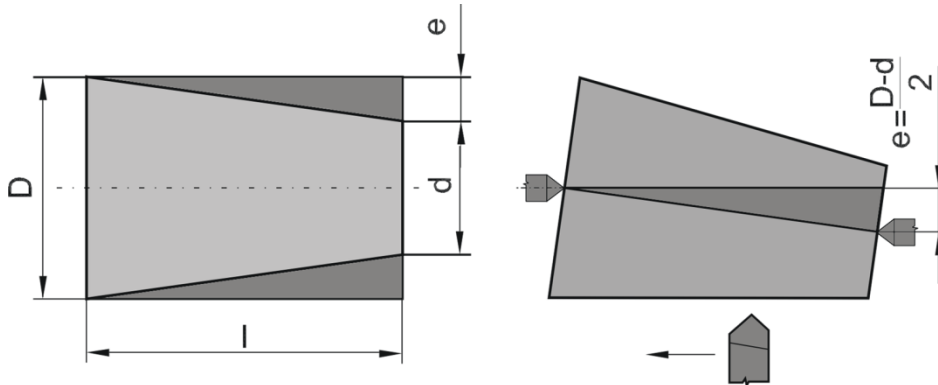
Nastavení nožových saní podle úhlové stupnice se provádí tak, že se nožové saně natočí z nulové polohy o předem vypočítanou hodnotu. Při nastavování pomocí kuželového kalibru se kalibr (vzorek) upne mezi hroty a číselníkový úchylkoměr upnutý v nožové hlavě. Dotyk úchylkoměru se stupnicí nastavenou na nulu se zlehka přitlačí ke kalibru, a pak se jím pojíždí podél kalibru. Je-li pootočení nožových saní správné, pak se ručička úchylkoměru nevychyluje.



Při **příčném vysunutí koníku** z osy soustružení vznikne na obrobku upnutém mezi hroty kuželová plocha. Délka příčného vysunutí se označuje jako excentricita. Toto vysunutí však může být jen malé, a proto se tímto způsobem soustruží jen táhlé kuželové plochy. Výhodou však je, že se dá použít strojního podélného posuvu suportu, čímž se zpravidla dosahuje hladké obrobenej plochy.

Výpočet excentricity e koníku se vypočte v závislosti na typu obrobku. Je-li žádaná kuželová plocha po celé délce obrobku (obr. 4.4) nebo jen na jeho části (obr. 4.5). Je-li kuželová plocha po celé délce obrobku, pak je potřeba vysunout koník o hodnotu excentricity:

$$e = \frac{D-d}{2} \quad (4.5)$$



Obr. 4.4 Příčné vysunutí koníku při soustružení kužele

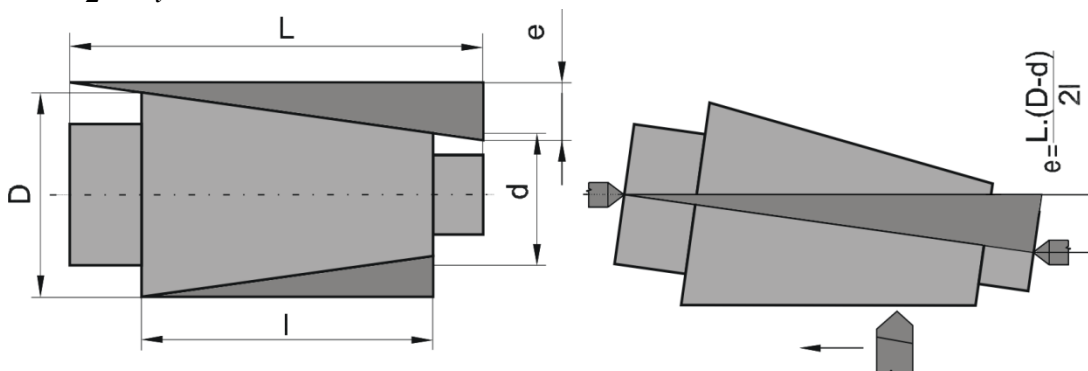
V případě, že je kuželová plocha jen na části obrobku, pak se na základě podobnosti trojúhelníků vypočte excentricita jako:

$$e : L = \frac{D-d}{2} : l \quad (4.6)$$

kde: L - délka celého obrobku v [mm],

l - délka soustruženého kužele v [mm], z toho pak délka příčného vysunutí koníku bude:

$$e = \frac{D-d}{2} \cdot \frac{L}{l} \quad (4.7)$$



Obr. 4.5 Příčné vysunutí koníku při soustružení kuželové plochy části obrobku

Velikost příčného vysunutí koníku nemá přesahovat 1/50 délky obrobku, aby upínací hroty ve středících důlcích obrobku přiléhaly, neotlačovaly se, a tím se pak obrobek neuvolňoval.

Pomocí vodícího (kopírovacího) pravítka – pravítko bývá uloženo na konzole soustruhu na zadní straně stroje a je otočné kolem čepu na základní desce. Po pravítku se posouvají saně, jež jsou táhlem spojeny s příčnými saněmi. Vodicí pravítko se nastavuje pomocí úhlové stupnice, která je vytvořena na základní desce (na saních) pravítka. Rozsah nastavení bývá 10° až 15° na obě strany, tzn. pro vrcholový úhel 20° až 30°. Po nastavení úhlu sklonu kužele $\alpha/2$ se pravítko zajistí šrouby.



Vnitřní kuželové plochy soustružené při pootočených nožových saních a pomocí vodícího pravítka se soustruží podle stejných zásad jako vnější kuželové plochy. K soustružení se použije nožů pro vnitřní soustružení, nebo vyvrtávacích tyčí.

K zásadám soustružení kuželových ploch neodmyslitelně patří seřizování a upínání nožů, kdy nůž musí být ustaven tak, aby špička jeho ostří byla přesně v ose rotace obrobku. Při nastavení špičky nože nad či pod osu soustružení se nedosáhne přesné kuželové plochy, ale namísto přímých povrchových úseček vzniknou hyperboly. Při soustružení kuželů při pootočených nožových saních nesmí být nůž se suportem odtlačován, aby nedocházelo k nepřesnostem kuželovitosti.

Upínání obrobků mezi hroty musí být souosé (při pootočených nožových saních nebo nožového pravítka), jinak by kuželovitost byla nepřesná i přes přesně nastavený úhel $\alpha/2$. Při soustružení několika stejných obrobků s kuželovou plochou při příčném vysunutí koníku musí být i délky obrobků a hloubky středících důlků stejné.

Řezné podmínky při soustružení vnějších i vnitřních kuželových ploch se volí v zásadě stejné jako při soustružení válcových ploch. Jen u součástí upnutých mezi hroty je při větším vysunutí koníku nutno volit menší průřez třísky, protože hrot nelícuje po celé ploše středícího důlku. Důlek by se velkým tlakem nadměrně opotřebovával, obrobek by se uvolňoval a po osoustružení by byl nepřesný. Řezné podmínky při soustružení kuželových děr kuželovými výstružníky jsou stejné jako při vystružování válcových děr válcovými výstružníky. Posuv na otáčku musí být plynulý, a to nejlépe v rozsahu od 0,02 do 0,05 mm.

Kuželovými výstružníky se obrábějí pouze vnitřní kuželové plochy s malým vrcholovým úhlem, a to postupným rozšiřováním válcové díry. Protože je nutno odebrat mnoho materiálu, používá se sady výstružníků o třech kusech. Nejvíce materiálu odebere předhrubovací výstružník s hrubými přerušovanými zuby. Hrubovací výstružník vyhrubuje předhrubovaný kužel, kterému dá správný tvar. Hladicí výstružník nemá břity přerušované a vyhrubovaná díra se jím proto vyhladí. U kuželů větších průměrů by bylo ubírání materiálu zdlouhavé, a proto se díra nejprve stupňovitě předvrtá vrtákem, nebo vysoustruží. Krátké táhlé kuželové díry se stupňovitě nepředvrtávají.



2 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké znáte metody výroby kuželů?
- Jaké znáte metody výroby čelních ozubení?
- Jaké znáte metody výroby šnekových ozubení?
- Jaké znáte metody výroby kuželových ozubení?
- Jaké znáte metody výroby závitů?
- K čemu slouží ševingování?
- Popište odvalovací způsob obrábění ozubení.
- Popište obrázení ozubených kol.
- Jak se vyrábí velké závity?
- Čemu se musí rovnat posuv při soustružení šneků nebo závitů?
- Popište způsob a principy frézování závitů.
- Jak se vypočítá excentricita koníku při soustružení kužele?



3 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM.

- 22. Výroba ozubených kol – základní principy
- 23. Výroba závitů – základní principy
- 27. Výroba kuželů – základní principy



4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BILÍK, O. *Obrábění I. (2.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2002. 80 s. ISBN 80-248-0033-0.
- [2] BILÍK, O. *Obrábění II. (1.Díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.
- [3] BILÍK, O. *Obrábění II. (2.Díl)*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2001. 118 s. ISBN 80-7078-994-1.
- [4] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 1. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 84 s. ISBN 80-7078-436-9.
- [5] BRYCHTA, J. *Obrábění I. Návody pro cvičení 2. část*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 1998. 120 s. ISBN 80-7078-470-9.
- [6] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2003. 150 s. ISBN 80-248-0237-6.
- [7] HOFMAN, P. *Technologie montáže*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity Plzeň, 1997. 90 s. ISBN 80-7082-382-8.
- [8] KOČMAN, K. *Speciální technologie obrábění*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1993. 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
- [9] KOČMAN, K., PROKOP, K. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.
- [10] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. a kol. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1996. 220 s. ISBN 80-7183-024-0.
- [11] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská –TU Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [12] VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol. *Obrábění*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s.
- [13] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [14] HAVRILA, M., ZAJAC, J., BRYCHTA, J., JURKO, J. *Top trendy v obrábění 1. část – Obráběné materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [15] JURKO, J., ZAJAC, J., ČEP, R., *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [16] VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK – MARCINČIN, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění 3. část – Technologická obrábění*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2006. ISBN 80-968954-2-7.
- [17] MONKA, P., PAULIKOVÁ, A. *Top trendy v obrábění 4. část – Upínanie, prípravky a meradlá*. Žilina: MEDIA/ST, s. r. o., 2007. ISBN 80-968954-2-7.
- [18] PŘIKRYL, Z., MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1971. 200 s.
- [19] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf>.
- [20] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf>.



- [21] HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část*. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program "Strojírenství". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-3cast.pdf>.
- [22] HUMÁR, A. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002. 84 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobniTecnologie_II.pdf>.
- [23] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxi*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [24] STEPHENSON, D. A., AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Theory and Practice*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 905 s. ISBN 0-8247-9579-2.
- [25] VASILKO, K., NOVÁK – MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, 2003. 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [26] PILC, J., STANČEKOVÁ, D. *Základy stavby obrábacích strojov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2004. 110 s. ISBN 80-8070-281-0.
- [27] VASILKO, K., HRUBÝ, J., LIPTÁK, J. *Technológia obrábania a montáže*. Bratislava: Alfa, š. p., 1991. 494 s. ISBN 80-05-00807-4.

