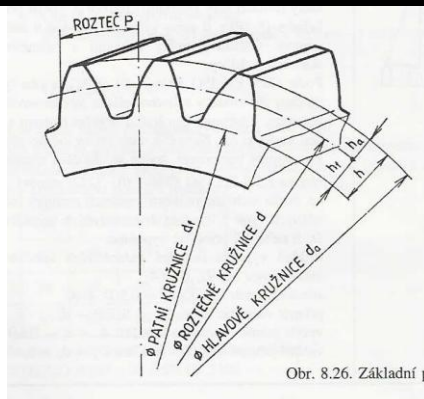


Výroba ozubených kol



obrábění tvarových (evolventních) ploch vícebřítým nástrojem patří k nejnáročnějším odvětvím strojírenské výroby speciální stroje, přesné nástroje

Ozubená kola

součásti pohybových ústrojí většiny strojů

přesnost, trvanlivost, plynulý záběr, tichý chod

čelní

s přímými zuby

se šikmými zuby

s šípovým ozubením (přenos velkých M_k - Citroën)

(trend: dvě kola se šikmými zuby proti sobě)

kuželová

s přímými zuby

s šikmými zuby

se zakřivenými zuby

šneková kola a šneky

roztečná kružnice $d = z \cdot m$

rozteč $P = \pi \cdot m$

hlavová kružnice $d_a = d + 2m = z \cdot m + 2m = m \cdot (z + 2)$

patní kružnice $d_f = d - 2 \times 1,25m = d - 2,5m = z \cdot m - 2,5m = m \cdot (z - 2,5)$

(na dně mezery zubu kola vůle 0,25m)

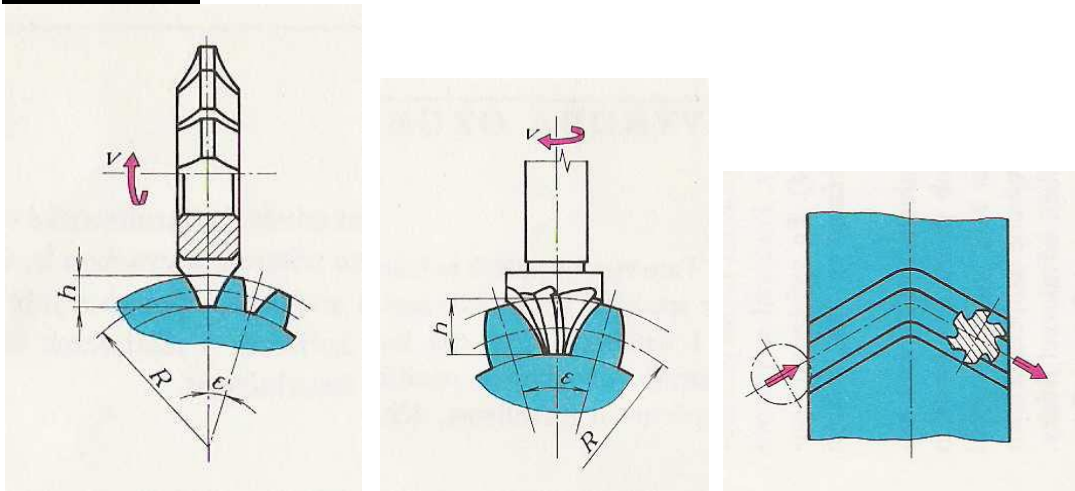
základní kružnice $d_n = d \cdot \cos \alpha$ α - úhel záběru (20°)

Postup výroby ozubeného kola

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 1. řezat polotovár | pily rámové, kotoučové |
| 2. vrtat díru | soustruh, vrtačka |
| 3. vyhrubovat díru | (soustružit díru) |
| 4. vystružovat díru | |
| 5. soustružit na hrubo | (obvod, čela) |
| 6. soustružit na čisto | |
| 7. kontrolovat | (kruhovitost, rozměry) |
| 8. vyrobit ozubení | (frézovat, obrážet,...) |
| 9. obrážet drážku v náboji | (protahovat drážku) |
| 10. kalit | |
| 11. brousit | (díru, čelo kola, boky zubů) |
| 12. kontrolovat | |

Výroba čelních ozubených kol dělicím způsobem

frézováním



profily zubových mezer se vytvářejí tvarovou frézou postupně
po vyfrézování zubové mezery se obrobek (kolo) upnutý v dělicím
přístroji pootočí o jednu rozteč

posuv – obrobek upnutý v sklíčidle dělicího přístroje

tvarové frézy kotoučové (výkonnější)

čepové – stopkové (i pro šípové ozubení)

hrubovací frézy

dokončovací frézy (přesný tvar evolventy)

pro stejný modul se vyrábí sada fréz

každá fréza slouží pro výrobu kol v určitém rozsahu počtu zubů

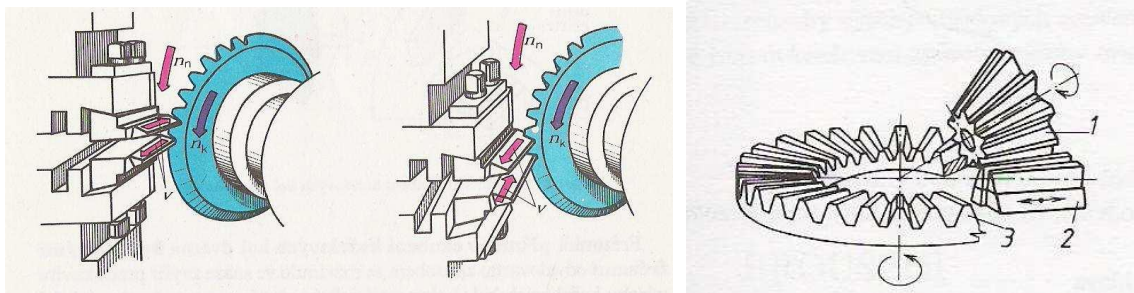
(→ nepřesnosti v tvaru zubu kola)

šikmé zuby – natočení stolu frézky o úhel stoupání šroubovice zubu

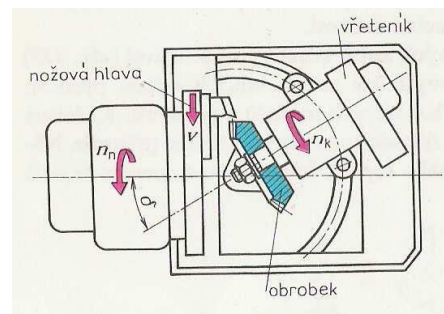
výhody: na univerzální frézce s dělicím přístrojem

nevýhody: menší přesnost (IT 7,8), pro kusovou výrobu
obtížné nastavení vzájemné polohy nástroje a obrobku

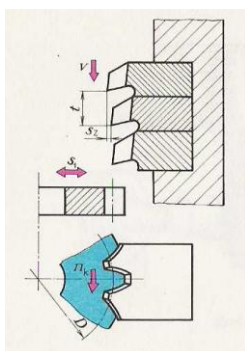
obrážením



vnější i vnitřní ozubení
na svislé obrážece s dělicím stolem
obrobek se upíná do dělicího zařízení
obrážecí nůž má tvar zubové mezery
méně přesné, málo produktivní



protahováním

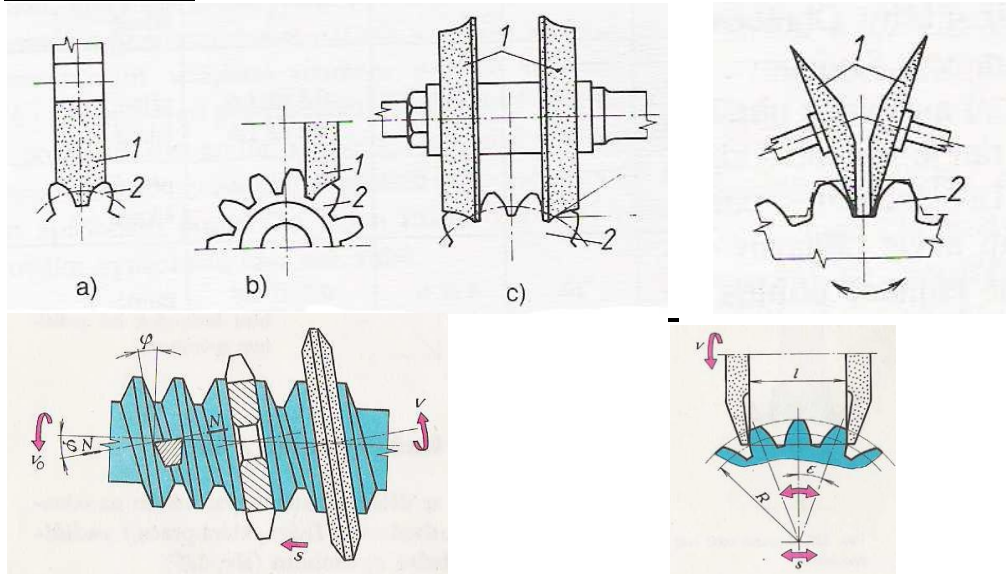


jen v hromadné výrobě (drahé nástroje)
vnější ozubení

- protahovacím trnem, odstupňované zuby, kalibrovací zuby mají profil zubové mezery, po protažení jedné mezery se obrobek pootočí o rozteč pro větší moduly sada trnů
- kotoučovým protahovákem, zuby na obvodě protahováku se postupně zvětšují

vnitřní ozubení – protahovacím trnem
(celé kolo i jedním protažením)

broušením



dokončovací operace (po kalení, deformace po tep. zpracování)
tvarové brousící kotouče

a) kotouč má tvar zubové mezery, brousí oba boky zubů současně
(rychlé a nerovnoměrné opotřebení kotouče)

b) kotouč brousí jen jeden bok zubu

c) dva kotouče brousící současně (každý na jiný bok zubu)

broušení do plna – kola menších modulů, bez předchozího obrábění

Dělicí přístroj (k dělení obvodu na určitý počet roztečí)

jednoduché přímé dělení (pro malý počet roztečí)

kotouč – na obvodě 24 nebo 48 otvorů (drážek) pro zajištění západkou spolu s ním se otáčí vřeteno (sklíčidlo) dělicího přístroje
umožní dělení obvodu na 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24 dílů

jednoduché nepřímé dělení (pro velký počet roztečí)

klikou se pootáčí šnek (šnekový převod 1:40 → otočím jednou, obrobek se pootočí o 1/40)

otáčky kliky $n_k = 40/z$

je na ni kolík, kterým se nastavuje rozteč na kotouči

na kotouči otvory (díry) na několika roztečných kružnicích

počty děr na roztečných kružnicích:

15,16,17,18,19,20,21,23,25,27,29,31,33,37,39,41,43,47,49

diferenciální dělení

tam, kde nestačí nepřímé dělení

Výroba čelních ozubených kol odvalovacím způsobem

frézováním

nejčastější způsob výroby ozubených kol

odvalovací frézy – válcové tvarové frézy

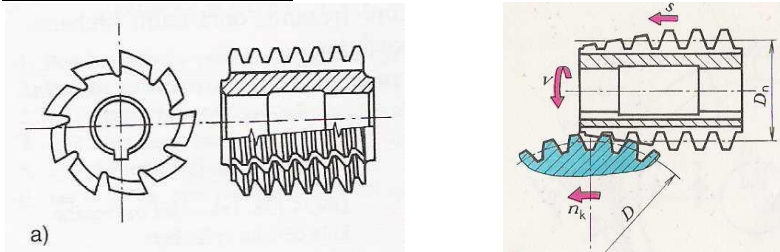
(šneky s vyfrézovanými drážkami → jednotlivé zuby frézy)

rychlořezná ocel, povlaky TiN

zabírají s obráběným ozubeným kolem

lichoběžníkový profil zubů → evolventa vznikne odvaalem boku zubů frézy
šroubovitý průběh zubů

odvalovací frézka



obrobek upnutý na stůl, stůl se otáčí → otáčí se i kolo
přisune se k fréze (aby se valivá kružnice kola odvalovala po
valivé přímce hřebenu frézy)

fréza upnutá na trnu vřetene frézky
natočená o úhel stoupání šroubovice β (pro přímé zuby kola)

rotace: $n_{frézy} = Z_{kola}$, kolo se otočí $1 \times$

posuv: za jednu otáčku kola

nesousledné frézování – posuv frézy shora dolů

sousledné frézování – posuv frézy zdola nahoru

vyšší řezné rychlosti, větší posuvy

větší průměry fréz – větší přesnost, lepší kvalita, větší výkon

větší moduly – na několik řezů

pro záběr frézy s kolem platí:

$$\text{rozteč zubů } P = \pi \cdot m$$

$$\text{úhel záběru } \alpha = 20^\circ$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

ω – uhlová rychlost

n – otáčky

z – počet zubů

šikmé zuby:

levý sklon zubů – fréza s levou šroubovicí (klidnější chod)

pravý sklon zubů – fréza s pravou šroubovicí (klidnější chod)

β – úhel stoupání šroubovice

λ – úhel sklonu ozubení kola

natočení frézy: $\lambda - \beta$

opačné smysly

natočení frézy: $\lambda + \beta$

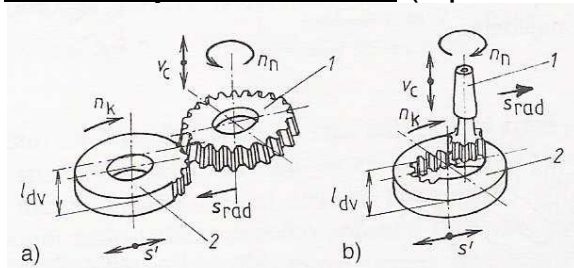
obrážením

stroj odvalovací obrážka

obrobek upnutý na stole, otáčí se

odskočí při zpětném pohybu nože (nástroj nedře o obrobek)

kotoučový obrážecí nůž (v podstatě ozubené kolo) – systém Fellows



pro vnější ozubení, pro vnitřní ozubení

přímočarý vratný pohyb (hlavní) + rotace (pomalu)

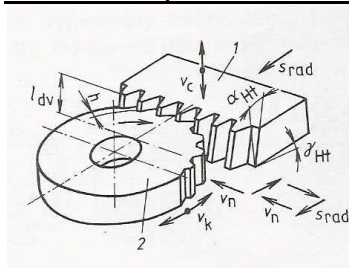
přísuv na plnou hloubku zubové mezery za 1/4 otáčky kola

(kolo hotové za 1+1/4 otáčky, velké moduly – několik otáček kola)

šikmé ozubení – šikmé zuby nože + zařízení pro šroubový pohyb

smýkadla

hřebenový obrážecí nůž



• systém Maag:

nůž – jen vratný řezný pohyb přímočarý

obrobek – sdružený pohyb (rotace + přímočarý posuv)

po obrobení několika zub. mezer se zastaví rotace stolu (i obrobku)

stůl se pootočí o několik roztečí zpět + posune se zpět do výchozí polohy

• systém Parkinson:

nůž – sdružený pohyb (řezný vratný + přímočarý posuv)

obrobek – jen rotace

Dokončovací operace

broušení (pro přesná kalená kola)

a) broušení odvalem v jedné zubové mezeře
dva talířové kotouče (skloněné pod úhlem záběru, nebo postavené kolmo) – rotace
ozubené kolo – odvalování (kmitání) + posuv ve směru osy
dělicí přístroj – pootočení kola o jednu rozteč (po obroušení 1 mezery)
b) broušení odvalem brousícího kotouče ve tvaru šneku
obdoba odvalovacího frézování
brousit lze vnější i vnitřní ozubení, přímé i šikmé ozubení
velká ozub. kola ($\varnothing 3,5\text{m}$) – obrobek na stole, posuv vykonávají kotouče

švingování (pro měkká nezakalená kola), vnější i vnitřní ozubení
nástroj: švingovací kolo (poháněné)
přesný tvar zubů, drážky na bocích zubů = břity
mimoběžné osy obou kol (5 až 15°) – klouzání břitů po boku zubů – jemné třísky
posuv obrobku - ve směru osy obrobku (po celé šířce ozubení)

lapování (pro kalená kola, pro litinová kola)
nástroj: lapovací kolo (poháněné) – nanesená lapovací pasta

zaběhávání (= párování kol)
kde se nedá brousit (kuželová kola se zakřivenými zuby)
záběr dvou ozub. kol – osy kol se postupně přibližují – přívod oleje s brusivem

odjehlení, zaoblení zubů na čele kola (pro lepší nasunutí kol na sebe)

Výroba ozubení šnekových kol a šneků

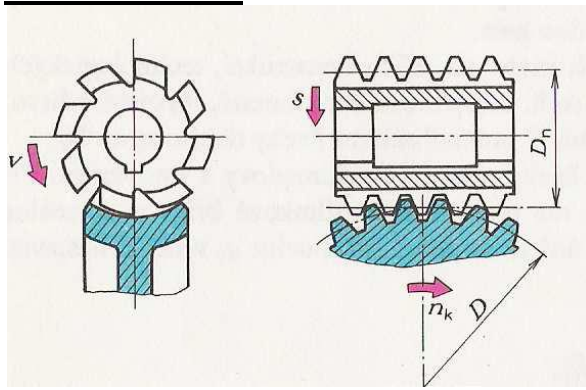
Šneky

jsou to v podstatě šrouby

- soustružením
obrobek (šnek) – rotace
tvarový soustružnický nůž – posuv
natočený o úhel stoupání šroubovice
šneky obecné, Archimedovy, evolventní (podle typu soukolí)

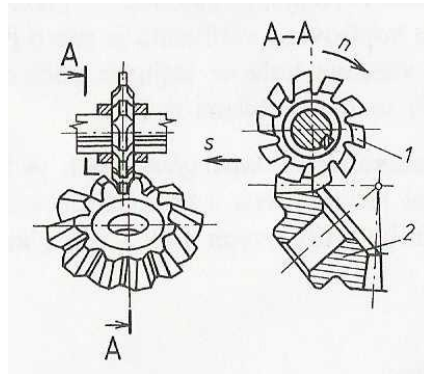
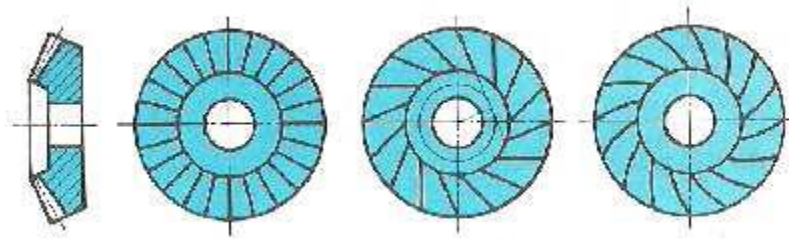
- frézováním
 - a) kotoučovou frézou
obrobek (šnek) – rotace (pomalu)
fréza – rotace + posuv ve směru osy šneku
nakloněná o úhel stoupání šroubovice
 - b) čepovou frézou (kolmá na osu šneku)
šneky globoidní
 - c) odvalovací frézou
- broušením
dokončovací operace
obdoba frézování kotoučovou frézou

Šneková kola



- frézováním
odvalovací frézou
 - a) radiální způsob – fréza má profil šneku, rotuje, přisouvá se radiálně ke kolu, kolo rotuje
 - b) tangenciální způsob – fréza s kuželovým náběhem, rotuje, nastavená na celou hloubku zub. mezery, posouvá se tečně (ze strany) k roztečné kružnici šnek. kola, kolo rotuje

Výroba ozubení kuželových kol



kuželové soukolí – osy kol jsou různoběžné

přímé zuby

boční přímky směřují do středu kužele

bok zubu vzniká odvalem roviny po kuželové ploše →

zuby se směrem k vrcholu kužele zužují!!!

modul se směrem k vrcholu kužele zmenšuje!!!

frézováním dělicím způsobem

- tvarovou kotoučovou frézou

nepřesné zuby, fréza má tvar pouze pro jeden modul a pro jeden počet

zubů, polotovary pro odvalovací metody

přesnější tvar zubu – nejdřív se frézuje střed zubové mezery, pak se kolo

natočí a posune, frézuje se jeden bok mezery načisto, totéž se opakuje

pro druhý bok

- čepovou (stopkovou) tvarovou frézou

pro větší moduly

obrážením podle šablony

po šabloně se pohybuje kladka, která ovládá mechanismus s obráž. noži

2 nože – obrábění obou boků zubu najednou, obrábění jen špičkami

nožů

obrážení odvalovacím způsobem

vyráběné kolo se odvaluje po rovině základního (plochého) kola

(myšleného), nože představují boky zubů myšleného kola
obrobek rotuje
dva nože – upnuté v otočné nožové hlavě (přímočarý vratný pohyb)
(nůž pro pravý i levý bok zubů)
současným otáčením nožové hlavy a obrobku – evolventní boky zubů
po zhotovení jednoho zubu – obrobek i nožová hlava do výchozí polohy,
obrobek se pootočí o jednu rozteč (dělicí zařízení)

zakřivené zuby

lepší záběr, menší hlučnost, větší zatížení → automobilový průmysl

- zuby zakřivené podle kružnice
- zuby zakřivené podle cykloidy (eloidní ozubení)
- zuby zakřivené podle evolventy (paloidní ozubení)