



Prevody

Úvod do problematiky prevodov

Úlohou prevodu je zabezpečiť prenos mechanickej energie medzi hnacím a hnaným strojom a zároveň zabezpečiť zmenu parametrov podľa potreby ktorými sú: otáčky, krútiaci moment, zmysel otáčania a pod.

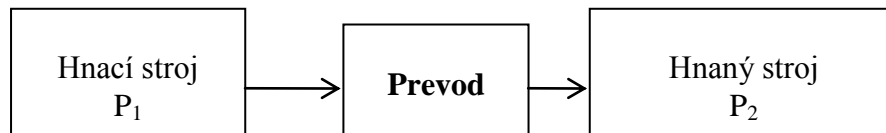
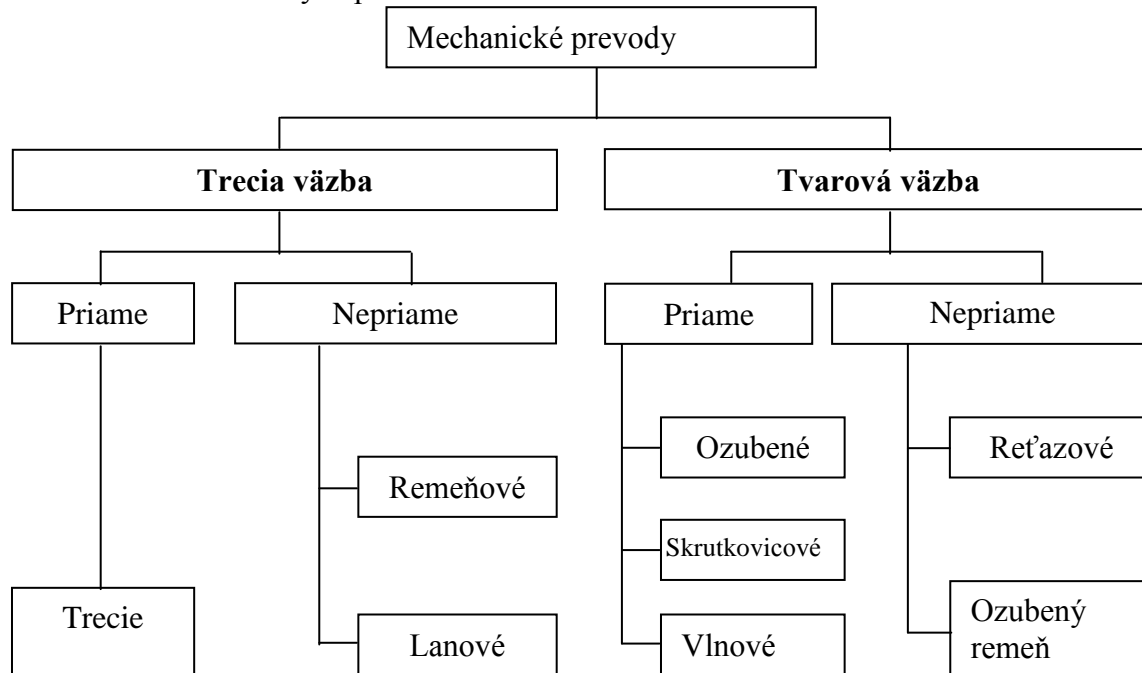


Schéma mechanického pohonu

Rozdelenie mechanických prevodov



Mechanická energia v mechanických prevodoch

Priamočiary pohyb:

$$P = F \cdot v \quad [\text{W}],$$

kde F [N] - priamočiara sila,
 v [ms^{-1}] - rýchlosť.

Rotačný pohyb : obvodová rýchlosť $v = \frac{D}{2} \cdot \omega = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60},$

Krútiaci moment $M_k = F \cdot D/2.$

$$P = M_k \cdot \omega \quad [\text{W}],$$

kde M_k [N.m] - Krútiaci moment,
 ω [s^{-1}] - uhlová rýchlosť,
 n [min^{-1}] - otáčky,
 D [m] - priemer hnacieho kolesa.

Mechanický výkon:

$$P = F \cdot v = M_k \cdot \omega \quad [\text{W}]$$



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Účinnosť v mechanických prevodoch

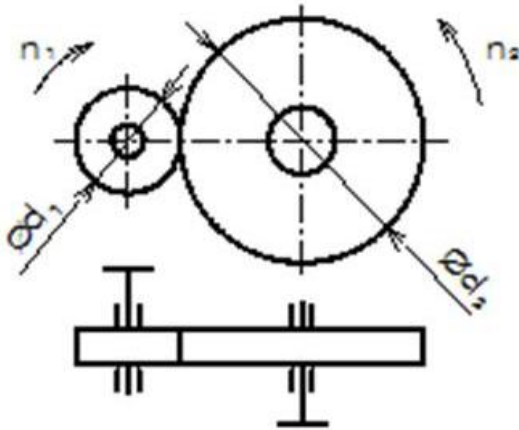
Výstupný výkon P_2 je vždy menší ako vstupný výkon P_1 . Pomer medzi P_2 a P_1 je účinnosť mechanického prevodu. Rozdiel medzi P_1 a P_2 je Stratový výkon P_T . Stratový výkon sa mení na iný typ energie, zvyčajne na teplo.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_T}{P_1} = 1 - \frac{P_T}{P_1} = 1 - \xi,$$

ξ - súčiniteľ strát

P_T - Stratový výkon

Jednoduché prevody:



Prevodový pomer

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1} = u,$$

Pre trecie prevody

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1 \cdot \theta} \neq u,$$

θ - sklíz

i - prevodový pomer

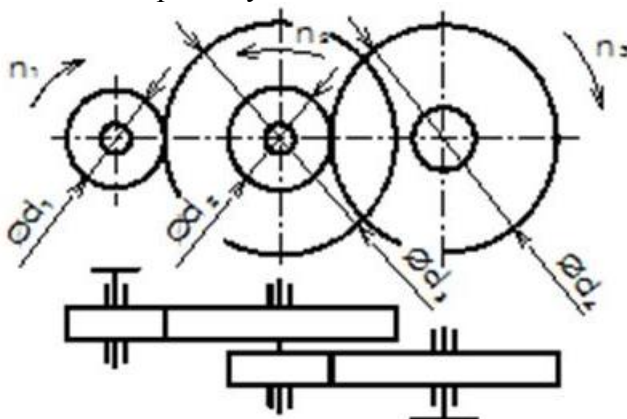
u - prevodové číslo

$i > 1$ - reduktor

$i < 1$ - multiplikátor

znamienko (-) opačný smer otáčania (+) rovnaký smer otáčania

Viacnásobné prevody:





Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

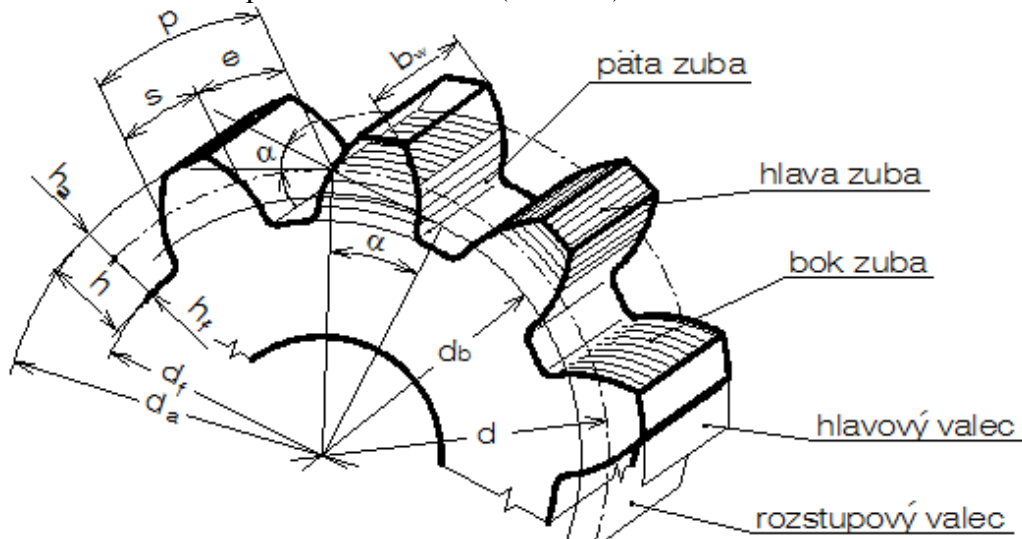
Prevodový pomer pre viacnásobný prevod:

$$i = i_1 \cdot i_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{n_2}{n_3} = \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_4}{d_3} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3}$$

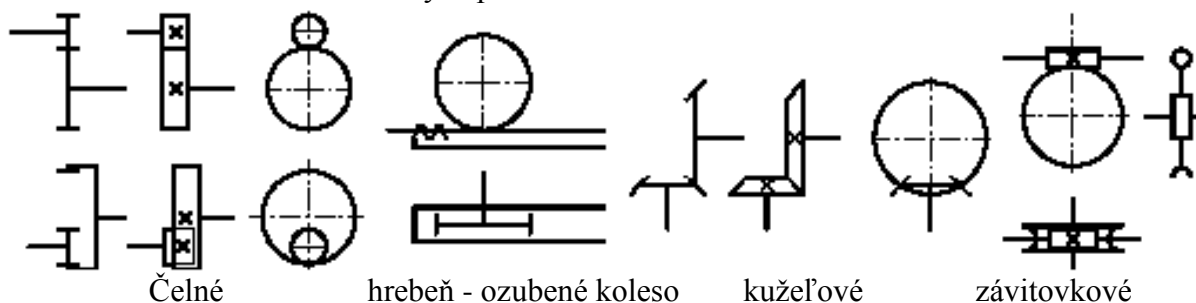
Ozubené prevody

Ozubené prevody sú v praxi najčastejšie používané prevodové mechanizmy. Základnou časťou prevodu je dvojica ozubených kolies – ozubené súkolesie, menšie z kolies nazývame *pastorok*. Pri zábere dvoch ozubených kolies zapadajú zuby jedného kolesa do zubových medzier druhého kolesa, pričom sa zaberajúce zuby dotýkajú svojimi bokmi, tým prenášajú otáčavý pohyb a obvodovú silu z hnacieho kolesa na hnané.

Pohyb dvoch spoluzaberajúcich kolies s priamymi zubami je rovnaký, ako by sa po sebe odvaľovali dva valce (roztupové), alebo v rovine kolmej na osi kolies dve rztupové kružnice. Menšie koleso sa nazýva *pastorok* a všetky jeho veličiny majú *index 1*, väčšie koleso sa nazýva *koleso* a jeho veličiny sa označujú *indexom 2*. Aby dve ozubené kolesá mohli správne zaberat', musia mať rovnaký rozstup zubov, čiže $p_1 = p_2 = p$. Obvod rztupovej kružnice možno vyjadriť $\pi \cdot d = z \cdot p$. Veľkosť rztupového priemeru $d = z \cdot p / \pi$. Hodnota $p / \pi = m$. *Modul ozubenia* m je základnou charakteristikou tvaru zuba. Hodnoty modulu sú normalizované podľa STN ISO 54 (01 4611).



Schématické znázornenie ozubených prevodov:



Základný princíp tvorby ozubenia

Pri tvorbe ozubenia je základnou úlohou vytvoriť na spoluzaberajúcich kolesách také tvary bokov zubov, ktoré zabezpečia požadovaný prevodový pomer. Profily bokov zubov ktoré takúto podmienku zabezpečia sa nazývajú združené.

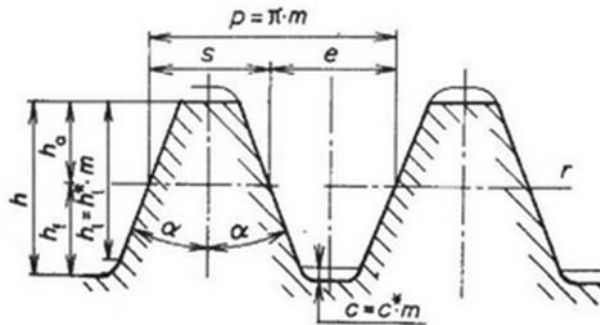


Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Všeobecný spôsob vytvárania združených profilov je možné zabezpečiť metódami ako sú obáľková metóda alebo trochoidná metóda. Ďalej je možné združené profily určiť priamym alebo nepriamym spôsobom. Priama výtvarná metóda: Priamo sa ozubenie vytvára tak, že sa jeden profil zvolí a druhý sa od neho odvodí. Nepriama obáľková metóda: Nepriamy spôsob je taký pri ktorom sa zvolí bod alebo profil pomocného kolesa a pomocou tohto profilu, jeho valením po obrobku sa vytvoria združené profily. Z praktického použitia má väčší význam nepriamy obáľkový spôsob tvorby združených profilov. Je možné použiť jeden pomocný profil v tvare ozubeného hrebeňa – výrobný profil nástroja obr., pomocou ktorého je možné vyrobiť ozubené kolesá s rôznym počtom zubov, ktoré budú spĺňať podmienku združených profilov.



Profil ozubeného hrebeňa

Teoretický aj výrobný profil je určený uhlom profilu hrebeňa α a všetky dĺžky sú veličiny vyjadrené ako násobok modulu m . Pri normalizovanom nástroji, kedy uhol $\alpha=20^\circ$, $h_a^*=1$, $c_a^*=0,25$, $r_f^*=0,38$ je modul jediným parametrom určujúcim geometriu ozubenia.

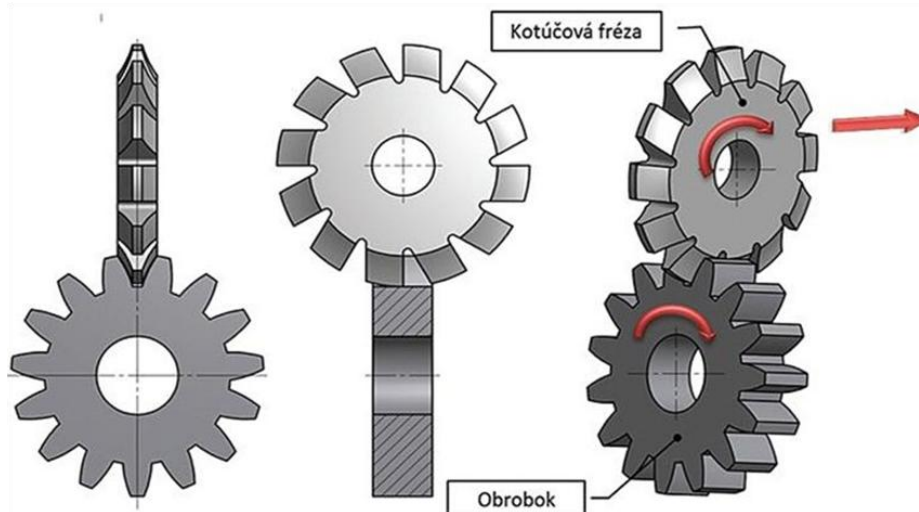
Výroba čelných ozubených kolies

Zdroj obrázkov: Juliána Litecká, Vplyv výberu metódy na presnosť ozubených kolies vyrábaných pomocou konvenčných výrobných strojov, Informujeme, 6. 4. 2016

Deliaci spôsob výroby

Frézovanie ozubenia kotúčovou frézou

Nástrojom je kotúčová fréza na ozubenie, ktorá má tvar profilu zubovej medzery kolesa. Obrobok je pootáčaný pomocou deliaceho prístroja stále o jeden rozstup.

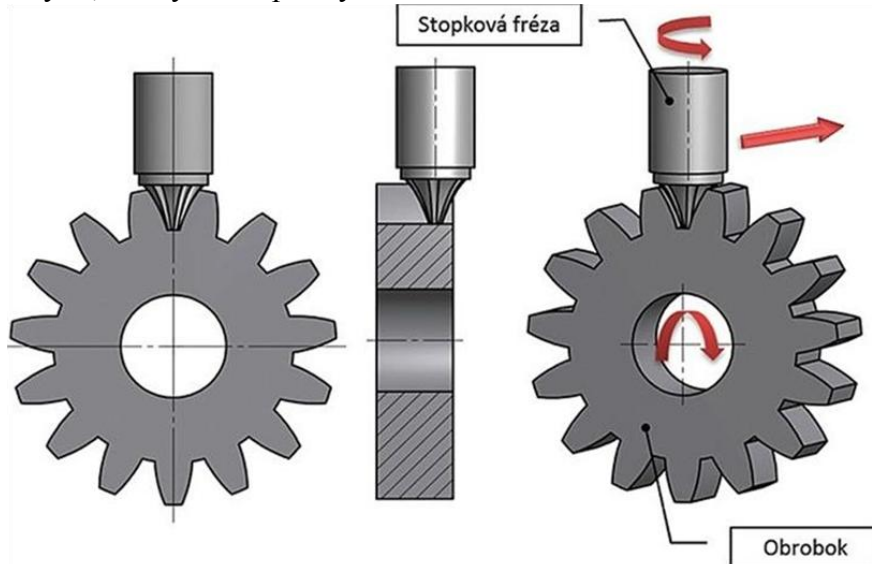


Frézovanie čelného ozubenia deliacim spôsobom kotúčovou modulovou frézou



Frézovanie ozubenia stopkovou frézou

Stopkové frézy tvar zubovej medzery. Stopkovou frézou sa dajú vyrábať ozubené kolesá a hrebene s priamymi, šikmými a šípovitými zubami.



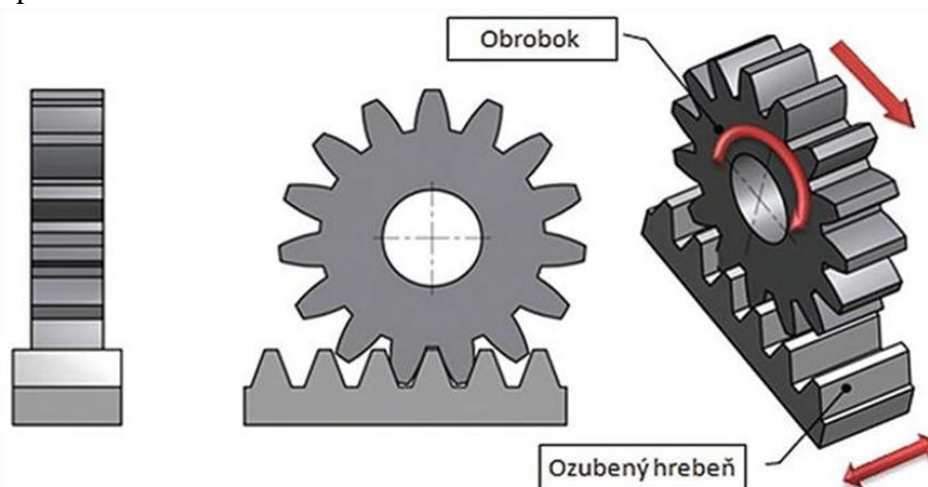
Stopková modulová fréza v zábere

Odvaľovacie metódy

Pri výrobe ozubenia odvaľovacou metódou vzniká evolventný profil zubov kolesa tým, že obrobok sa odvaľuje po nástroji. Profil nástroja neodpovedá zubovej medzere ozubeného kolesa ako je to u tvarovej metódy, ale má tvar základného profilu, t.j. obrázcového hrebeňa alebo spoluzaberajúceho ozubeného kolesa (kotúčové obrázcové nože). Medzi odvaľovacie metódy patrí obrážanie hrebeňovým nožom (metóda Maag), obrážanie kotúčovým nožom (metóda Fellows) a frézovanie odvaľovacou frézou.

Obrážanie hrebeňovým nožom (metóda Maag)

Nástrojom je hrebeňový nôž s lichobežníkovým profilom zubov, ktorý je odvodený od základného profilu.

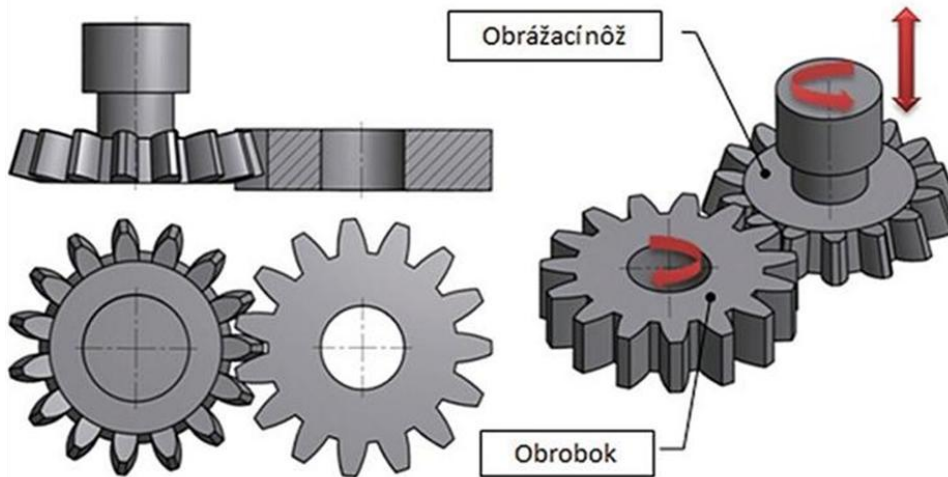


Obrážanie čelného ozubeného kolesa ozubeným hrebeňom (spôsob Maag)



Obrážanie kotúčovým nožom (metóda Fellows)

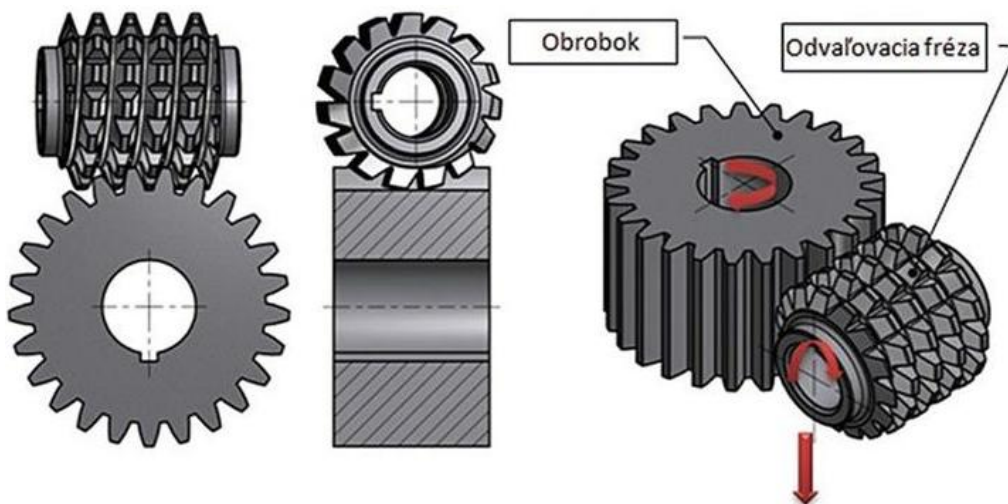
Nástrojom je obrážací kotúčový nôž, ktorý má tvar čelného ozubeného kola s priamymi alebo šikmými zubmi. Obrážacím kotúčom možno vyrábať ozubené kolesá s vonkajším aj vnútorným ozubením.



Obrážanie vonkajšieho ozubenía kotúčovým obrážacím nástrojom (spôsob Fellows)

Výroba ozubenía odvaľovacou frézou

Princíp obrábania ozubení odvaľovacou frézou sa zakladá na zábere závitovky s ozubeným kolesom. Nástroj má tvar jednochodej alebo viacchodej závitovky rovnakého modulu ako obrábané ozubené koleso. Pri výrobe ozubených kolies s priamymi zubmi je nástroj sklonený o uhol γ - uhol stúpania závitovky. Pri výrobe šikmého ozubenía o uhol $\gamma+\beta$.



Princíp frézovania ozubenía odvaľovacím spôsobom



Základné rozmery čelných ozubených kolies

Názov veličiny	Pastorok	Koleso
Počet zubov	z_1	$z_2 = z_1 \cdot u$
Uhol sklonu zuba β	$\beta = 0^\circ$ – rovné zuby $\beta = 8^\circ - 25^\circ$ - pre šikmé zuby	
Uhol profilu zuba (uhol záberu) α	$\alpha = \alpha_n = 20^\circ$	
Uhol profilu zuba v čelnej rovine α_t	$\alpha_t = \arctg\left(\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\cos\beta}\right)$	
Uhol sklonu zuba na základnej kružnici β_b	$\beta_b = \arcsin(\sin\beta \cdot \cos\alpha)$ pre rovné zuby dosadíme $\beta = 0^\circ$	
Modul ozubenia normálový m	$m = m_n$ (normalizovaný)	
Modul v čelnej rovine m_t	$m_t = \frac{m}{\cos\beta}$	
Rozstup v normálovej rovine p	$p = p_n = \pi \cdot m$	
Rozstup v čelnej rovine p_t	$p_t = \frac{p}{\cos\beta}$	
Výška hlavy zuba h_a	$h_a = h_a^* \cdot m$ ($h_a^* = 1,0$)	
Výška päty zuba h_f	$h_f = h_f^* \cdot m$ ($h_f^* = 1,25$)	
Hlavová vôľa c_a	$c_a = c_a^* \cdot m$ ($c_a^* = 0,25$)	
Priemer rozstupovej kružnice d	$d = \frac{z \cdot m}{\cos\beta}$	
Priemer hlavovej kružnice d_a	$d_a = d + 2 \cdot h_a$	
Priemer pätnjej kružnice d_f	$d_f = d - 2 \cdot h_f$	
Priemer základnej kružnice d_b	$d_b = d \cdot \cos\alpha_t$	
Vzdialenosť osí ozubeného prevodu a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{(z_1 + z_2) \cdot m}{2 \cdot \cos\beta}$	

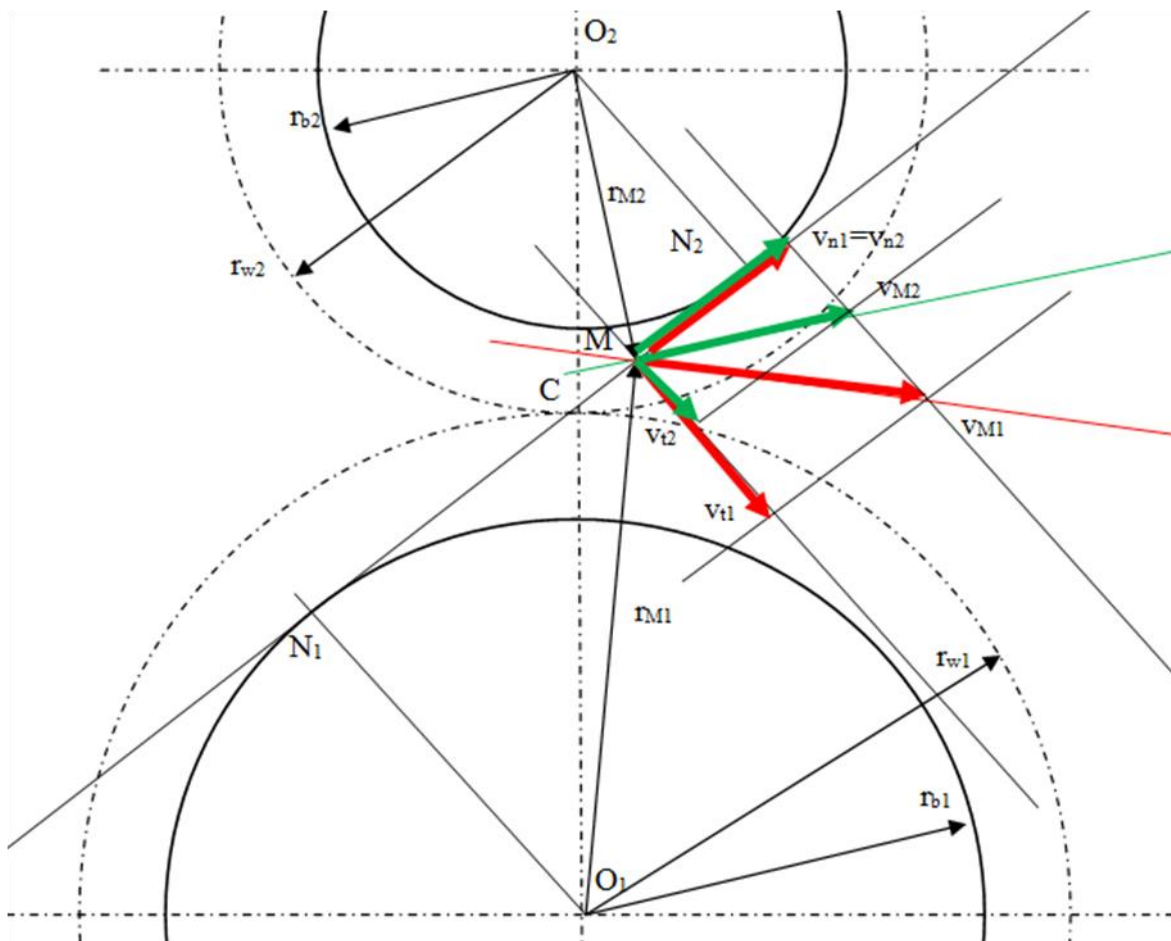


Podmienky správneho záberu ozubených kolies

Pre správny chod ozubených súkolesí musia byť splnené nasledovné podmienky:

1. Moduly spoluzaberajúcich kolies musia byť rovnaké.
2. Priemety obvodových rýchlostí do normály v každom bode záberu musia byť rovnaké.
3. Spoločná normála profilov v každom okamžiku záberu musí prechádzať centrálnym bodom.

Dôkaz:



Vo všeobecnom bode M bude obvodová rýchlosť:

$$v_{1M} = \omega_1 \cdot r_{1M}$$

$$v_{2M} = \omega_2 \cdot r_{2M}$$

Normálová rýchlosť vo všeobecnom bode:

$$v_{n1} = v_{1M} \cdot \cos\varphi_1$$

$$v_{n2} = v_{2M} \cdot \cos\varphi_2$$

Polomer základnej kružnice:

$$r_{b1} = r_{w1} \cdot \cos\delta = r_{1M} \cdot \cos\varphi_1$$



$$r_{b2} = r_{w2} \cdot \cos \delta = r_{2M} \cdot \cos \varphi_2$$

Z druhej podmienky:

$$v_{n1} = v_{n2}$$

$$v_{1M} \cdot \cos \varphi_1 = v_{2M} \cdot \cos \varphi_2$$

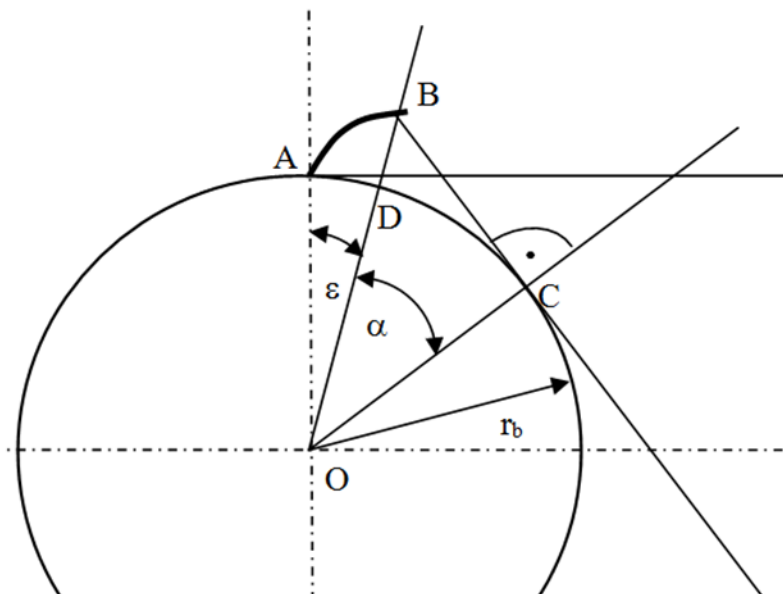
$$\omega_1 \cdot r_{1M} \cdot \cos \varphi_1 = \omega_2 \cdot r_{2M} \cdot \cos \varphi_2$$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{2M} \cdot \cos \varphi_2}{r_{1M} \cdot \cos \varphi_1} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} = \frac{r_{w2}}{r_{w1}} = u$$

Geometria evolventy

V teórii evolventného ozubenia nachádza uplatnenie evolventa, ktorej evoloutou je základná kružnica. Evolventu je možné získať ako trajektóriu bodu, ako obálku priamkového úseku alebo ako obálku vytvorenú inou evolventou.

Evolventa, ktorá vznikne ako trajektória bodu ležiaceho na priamke ktorá sa odvaľuje po evolute – teda po základnej kružnici je znázornená na obr. Ak sa tvoriaci bod nachádza mimo odvaľovanú priamku, bude výsledkom predĺžená alebo skrátaná evolventa. Zvláštnym prípadom predĺzenej evolventy je Archimedova špirála.



Z obr. platí:

$$\widehat{AC} = \overline{BC}$$

$$\overline{BC} = r_b \cdot \tan \alpha = r_b \cdot (\hat{\varepsilon} + \hat{\alpha})$$

$$\hat{\varepsilon} = \tan \alpha - \hat{\alpha}$$

Parameter evolventy:

$$\text{inv} \alpha = \tan \alpha - \hat{\alpha}$$

Parameter evolventy je potrebné pri výpočte zaokruľovať na sedem desiatiných miest!



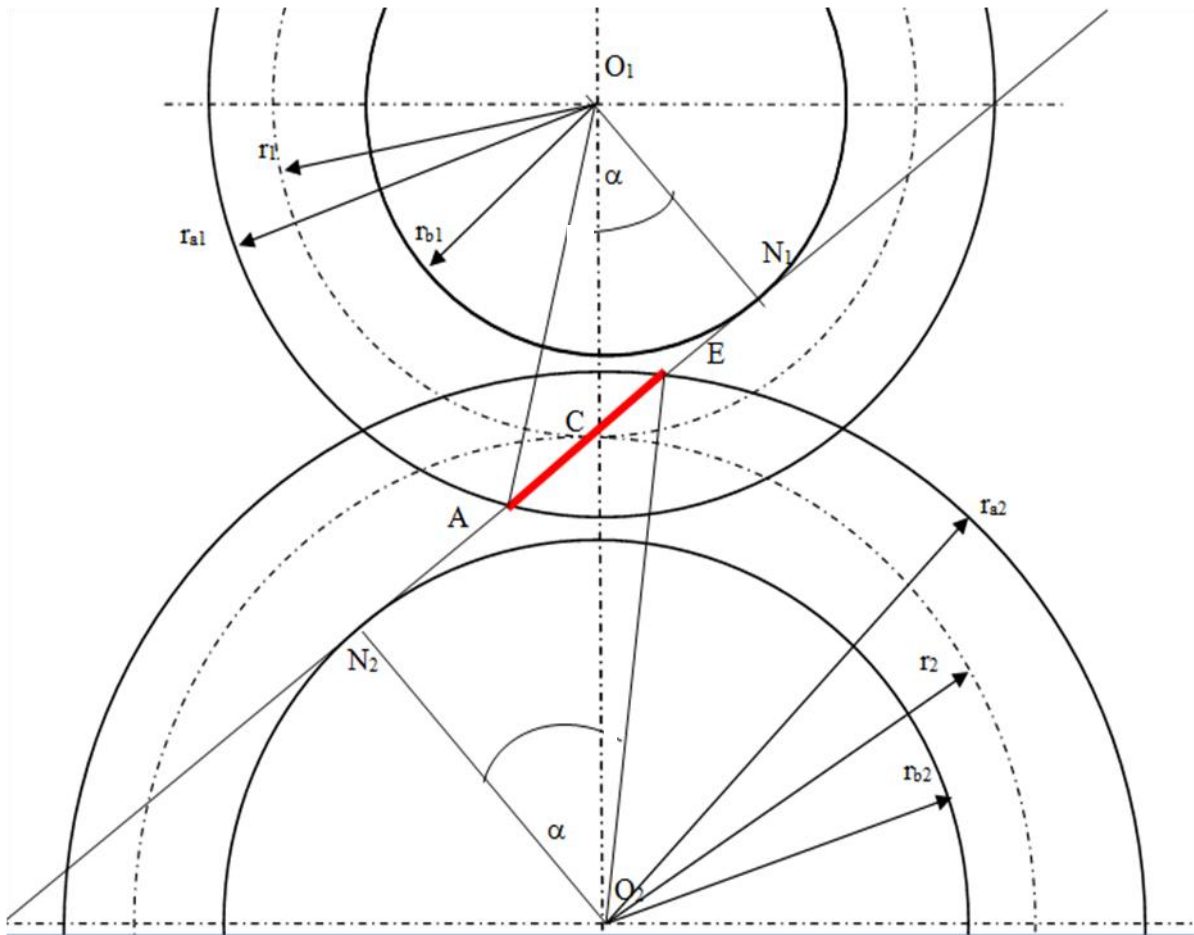
Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Trvanie záberu

Pre plynulý záber ozubených kolies je dôležité, aby skôr ako sa jeden pár spoluzaberajúcich zubov dostane zo záberu, sa do záberu dostal nový pár zubov. Vyšetrowanie záberových pomerov v ozubení sa uskutočňuje na záberovej priamke, kde môžeme zobrazovať oblasti jednopárového a dvojpárového (alebo viac párového) záberu spoluzaberajúcich kolies. Záberová priamka je vyobrazená na obr. úsečkou ACE. Číselná charakteristika pre hodnotenie záberových pomerov v ozubení sa nazýva súčiniteľ trvania záberu ϵ_α .



Medznou hodnotou súčiniteľa trvania záberu je hodnota $\epsilon_\alpha=1$. Táto hodnota vyjadruje, že v zábere je jeden pár zubov. V praktickom prevedení je vždy hodnota $\epsilon_\alpha>1$. Snaho je aby to bolo celé číslo nar. $\epsilon_\alpha=2$.

Súčiniteľ trvania záberu je závisli od dĺžky záberovej priamky ACE vzhľadom k rozstupu na základnej kružnici. Vyjadrené nasledovne:

$$\frac{\overline{ACE}}{p \cdot \cos \alpha}$$



Rozstup na základnej kružnici:

$$p_b = p \cdot \cos \alpha$$

Z geometrie obr. platí:

$$\overline{ACE} = \overline{AC} + \overline{CE}$$

Kde:

$$\overline{AC} = \overline{AN_1} - \overline{CN_1}$$

Po dosadení dostaneme:

$$\overline{AC} = \sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} - r_1 \cdot \sin \alpha$$

$$\overline{CE} = \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - r_2 \cdot \sin \alpha$$

Súčiniteľ trvania záberu:

$$\varepsilon = \frac{\overline{ACE}}{p \cdot \cos \alpha} = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a \cdot \sin \alpha}{p \cdot \cos \alpha}$$

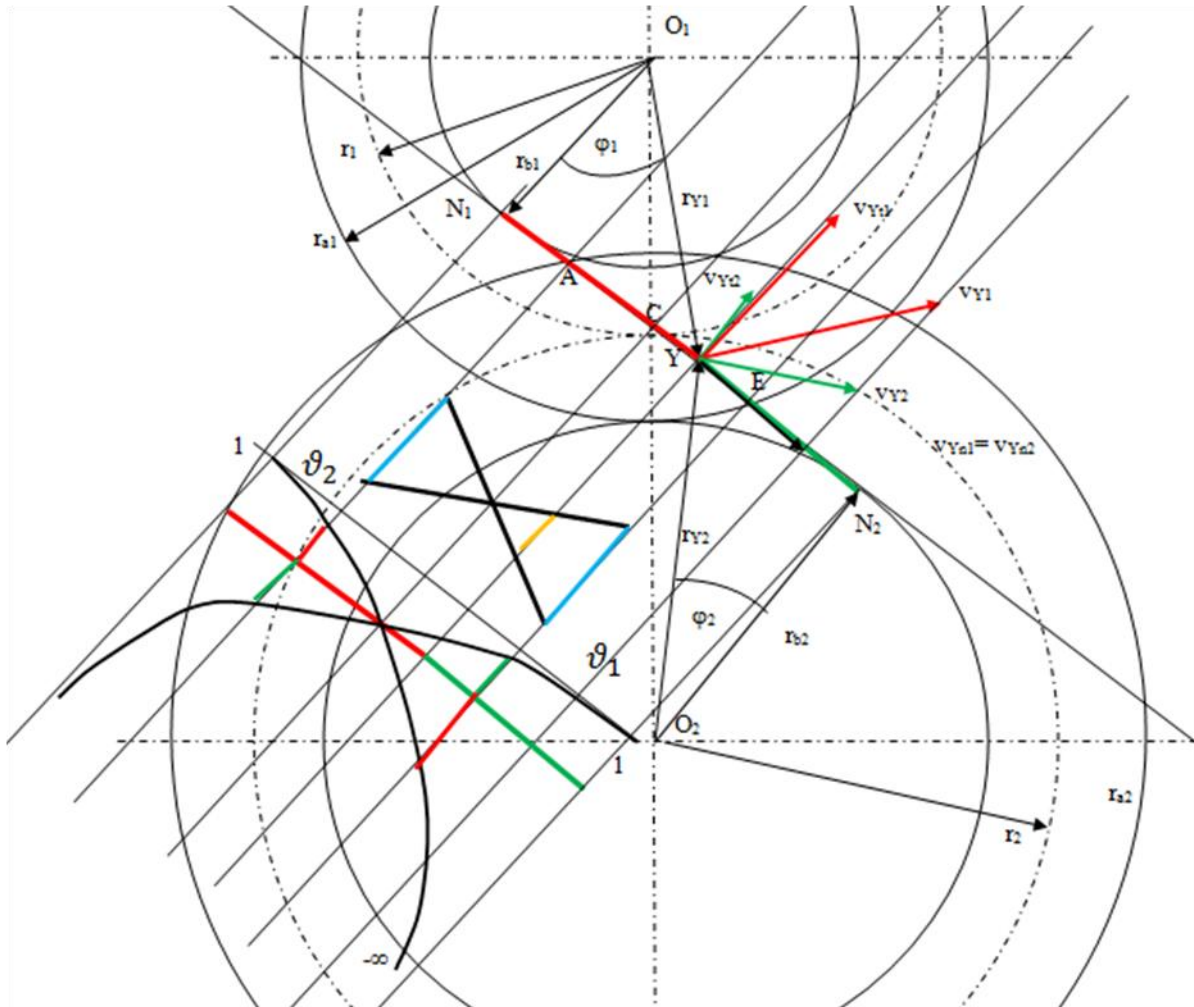
Kde:

a-osová vzdialenosť kolies

$$a = r_1 + r_2$$

Skľzové pomery, rýchlostné pomery a merné skľzy

Valivé kružnice ozubených kolies sa po sebe odvalujú, ale relatívny pohyb spoluzaberajúcich bokov zubov je sprevádzaný skľzom. Nulový skľz odpovedá dokonalému odvaľovaniu. Polomer zaoblenia evolventy (polomer krivosti evolventy) je pre spoluzaberajúce body na profile bokov zubov rôzny - vid' obr. ρ_{y1} a ρ_{y2} . Na rozdielnych zakriveniach boku zuba, sú dosahované rozdielne tangenciálne rýchlosti ktorých rozdiel vzťahovaný k vzťažnej tangenciálnej rýchlosti vyjadruje merné skľzy na jednotlivých kolesách. Dvojica merných skľzov v_1 , v_2 , vyjadruje okamžité skľzové pomery dvojice združených bodov (Y_1 a Y_2). Pri dokonalom odvaľovaní je $v_1 = v_2 = 0$. Tento prípad je dosahovaný len vo valivom bode C. Na nasledujúcom obr. sú znázornené diagramy merných skľzov a diagram kľzných rýchlosti v_k .



Klznú rýchlosť vyjadríme:

$$V_k = v_{t1} - v_{t2}$$

kde rýchlosti vo všeobecnom bode:

$$v_{Y1} = \omega_1 \cdot r_{Y1}$$

$$v_{Y2} = \omega_2 \cdot r_{Y2}$$

Po dosadení:

$$v_{Yt1} = v_{Y1} \cdot \sin\varphi_1 = \omega_1 \cdot r_{Y1} \cdot \sin\varphi_1$$

$$v_{Yt2} = v_{Y2} \cdot \sin\varphi_2 = \omega_2 \cdot r_{Y2} \cdot \sin\varphi_2$$

kde:

ρ_{Y1} - červená čiara – polomer krivosti boku zuba (evolventy) v bode Y pre pastorok

ρ_{Y2} - zelená čiara - polomer krivosti boku zuba (evolventy) v bode Y pre koleso



Výsledná klzna rýchlosť:

$$v_{Yt1} = \omega_1 \cdot \rho_{Y1}$$

$$v_{Yt2} = \omega_2 \cdot \rho_{Y2}$$

$$v_{kY} = v_{Yt1} - v_{Yt2} = \omega_1 \cdot \rho_{Y1} - \omega_2 \cdot \rho_{Y2}$$

Merné sklzy:

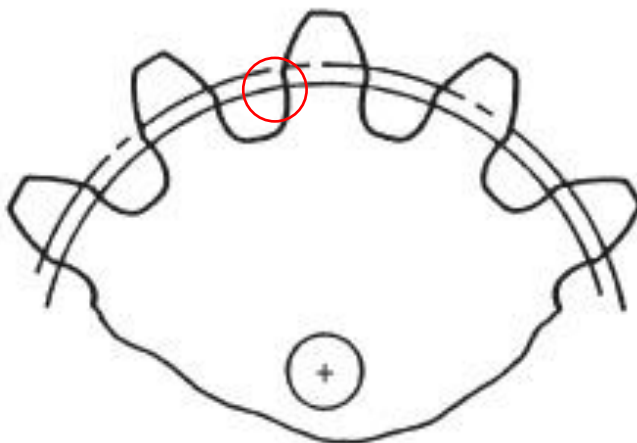
$$\vartheta_1 = \frac{v_{t1} - v_{t2}}{v_{t1}} = 1 - \frac{v_{t2}}{v_{t1}}$$

$$\vartheta_1 = 1 - \frac{\rho_2}{\rho_1 \cdot i}$$

$$\vartheta_2 = 1 - \frac{\rho_1 \cdot i}{\rho_2}$$

Primárna interferencia – korekcia ozubených kolies

Ak výrobný nástroj vyrába ozubené koleso s nízkym počtom zubov, dochádza ku kolízií medzi hlavou nástroja a päťou vyrábaného zuba. Táto kolízia sa prejavuje podrezaním päty zuba (červená kružnica) obr. To znamená, že profil boku zuba je skráteneý o hodnotu podrezania – čo má za následok skrátenie záberovej priamky a päta zuba je zoslabená – čo má za následok zníženia pevnosti v ohybe zuba. Podrezanie päty zuba je teda nežiadúci efekt ktorý je nazývaný aj primárna interferencia a je nutné ho odstrániť.



Pre vznik podrezania nieje podstatná nádstavba výrobného nástroja hrebeňa, ale len poloha kritického tvoriaceho bodu voči interferenčnému bodu. Ak sa chceme vyhnúť podrezaniu nesmie súradnica hlavovej kružnice klesnúť pod súradnicu interferenčného bodu. Pre praktickú aplikáciu má význam vyjadriť minimálny počet zubov pri ktorom nedochádza

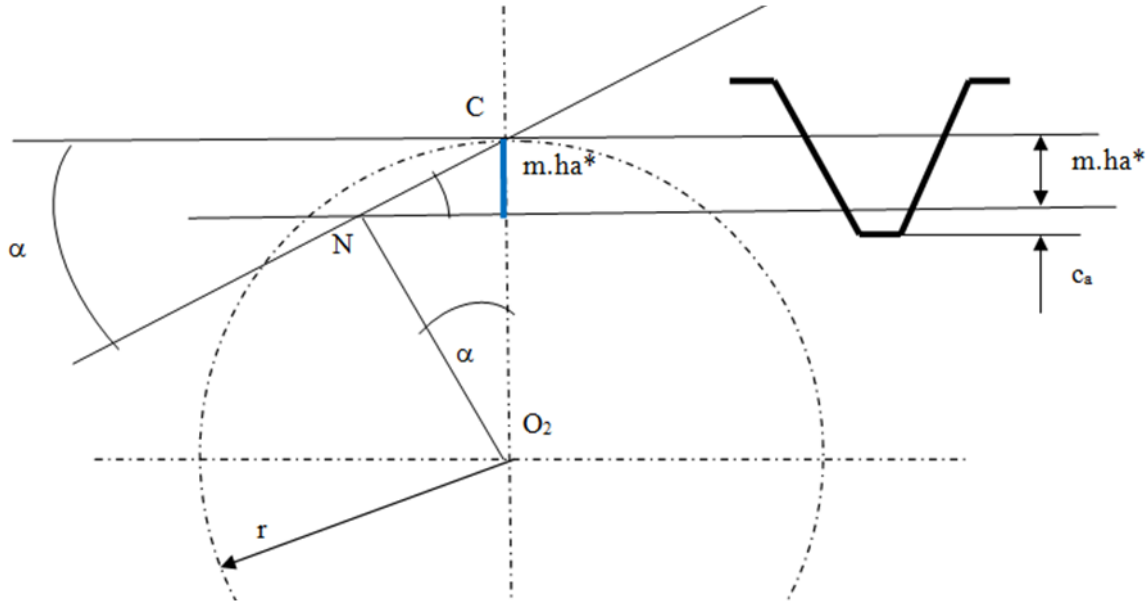


Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

k podrezaniu zuba. Pre určenie minimálneho počtu zubov použijeme geometrické pomery plynúce z výrobného nástroja obr.



Definovanie podrezani – resp minimálneho počtu zubov Z_m , pri ktorom ešte nedochádza k podrezaniu zubov. Z geometrie obrázka:

$$m \cdot ha^* = \overline{NC} \cdot \sin \alpha$$

Kde:

$$\overline{NC} = r \cdot \sin \alpha$$

Po dosadení:

$$m \cdot ha^* = r \cdot \sin \alpha \cdot \sin \alpha$$

$$m \cdot ha^* = \frac{z \cdot m}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \alpha$$

Po úprave dostaneme výsledný vzťah:

$$Z_m = \frac{2 \cdot ha^*}{\sin^2 \alpha}$$

Pre normalizovaný nástroj je medzný počet zubov

Parametre normalizovaného nástroja: $ha^* = 1$, $\alpha = 20^\circ$ potom medzný počet zubov $Z_m = 17$

V prípade ak je požadované použitie menšieho počtu zubov ako je medzný počet, teda z dôvodu odstránenia podrezania je možné použiť korekciu ozubeného kolesa.



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

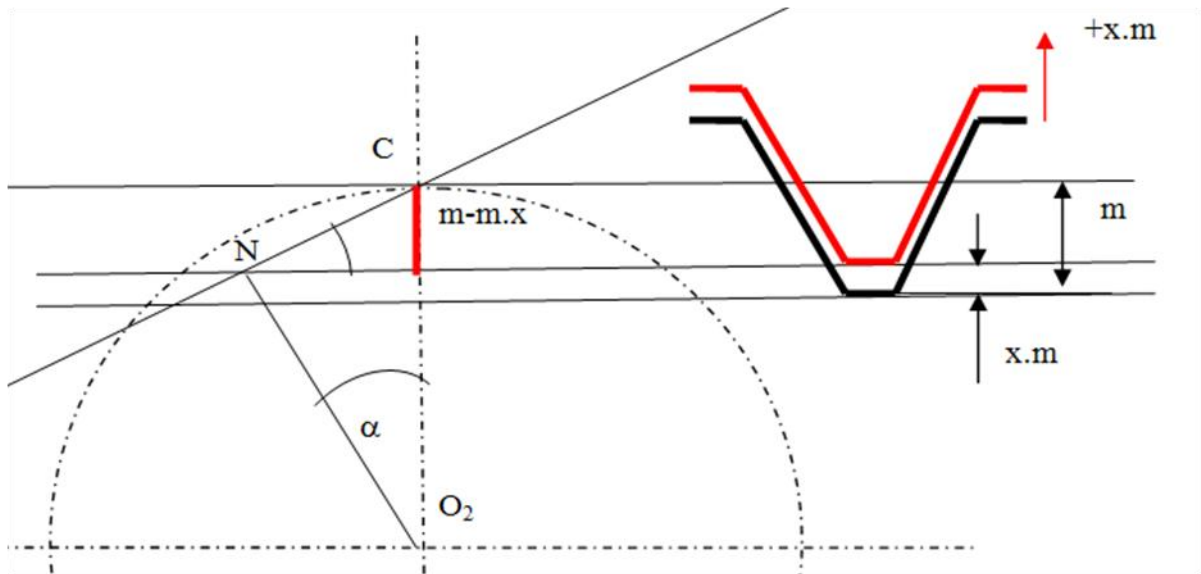
Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Korekciu ozubených kolies je možné dosiahnuť nasledovnými spôsobmi:

1. Zmena súčiniteľa výšky hlavy zuba h_a^* - znamená to použitie nenormalizovaného nástroja
2. Zmena uhka α - znamená to použitie nenormalizovaného nástroja
3. Posunutie výrobného nástroja – použitie toho istého normalizovaného nástroja ktorý by vytvoril podrezanie.

Korekcia posunutím nástroja "x"



Z geometrie obrázka:

$$\overline{NC} = r \cdot \sin \alpha$$

Kde:

$$m \cdot (1 - x) = \overline{NC} \cdot \sin \alpha$$

Po dosadení:

$$m \cdot (1 - x) = \frac{z \cdot m}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \alpha$$

Po úprave:

$$(1 - x) = z \cdot \frac{1}{z_m}$$
$$x = 1 - \frac{z}{z_m}$$

Hodnota minimálneho jednotkového posunutia:

$$x_{min} = \frac{z_m - z}{z_m}$$

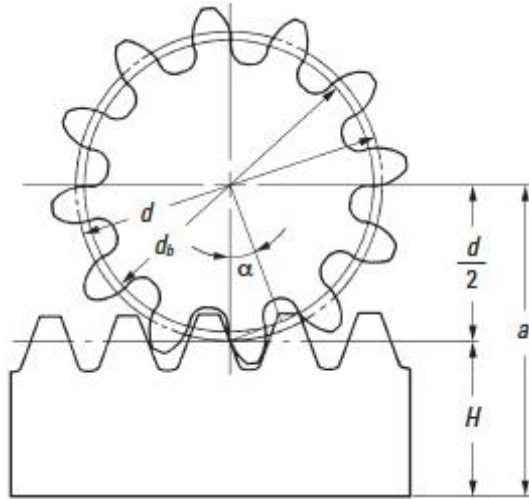


Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

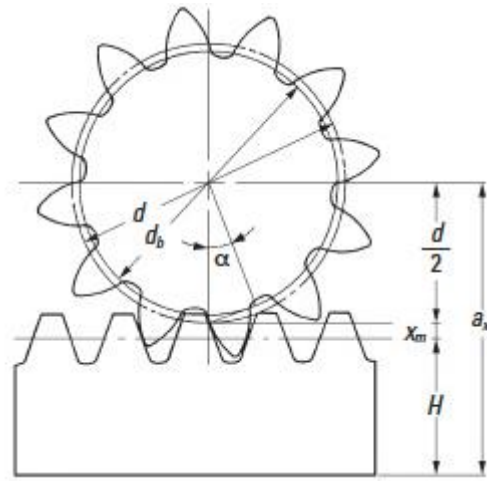
Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Príklad odstránenia podrezania posunutím nástroja o hodnotu $+x$.



Nekorigované: $\alpha=20^\circ, z=12, x=0$



Korigované: $\alpha=20^\circ, z=12, x=+0,6$

Ako je z vyššie uvedeného zrejmé, pomocou posunutia nástroja je možné účinne odstrániť podrezanie zuba. Posunutie nástroja je možné realizovať aj v iných požadovaných prípadoch. Nástroj je možné posúvať v smere plusovej ale aj mínusovej súradnice. Táto možnosť ponúka ďalšie dôvody pre korekciu ozubených kolies. Dôvody korekcie

1. Korekcia nutná – na odstránenie podrezania
2. Korekcia optimalizačná – vykonávame ju za účelom optimalizácie záberových pomerov v ozubení
3. Korekcia na dosiahnutie požadovanej osovej vzdialenosti

Nekorigované súkolesie označujeme ako súkolesie N. Ak dôjde ku korekcii niektorého so spoluzaberajúcich kolies tak označujeme súkolesie ako VN alebo V.

Typ súkolesia VN

Tento typ súkolesia je charakteristický tým, že jedno kolies je korigované nutnou korekciou o veľkosti x_1 a druhé koleso, ktoré nemusí byť korigované z dôvodu odstránenia podrezania je korigované posunutím x_2 opačného smeru.

Platí:

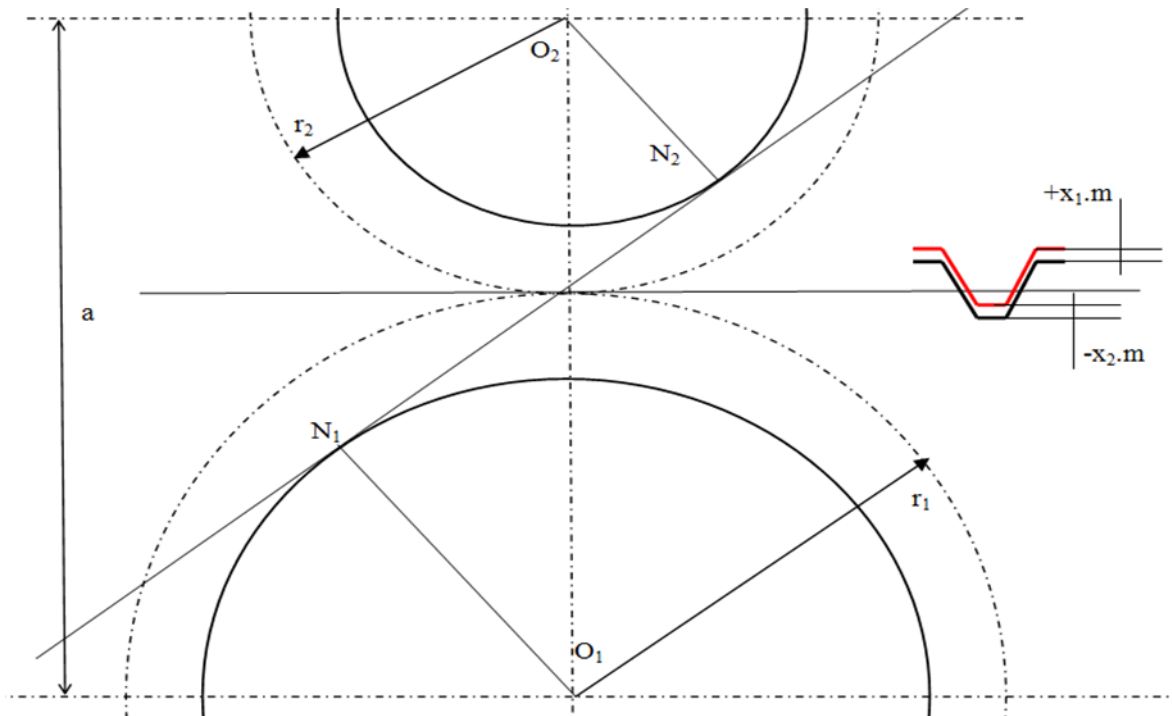
$$x_1 = -x_2,$$

Nutná podmienka:

$$\underline{z_1 + z_2} > \underline{2 \cdot z_m}$$

Hodnota minimálneho jednotkového posunutia:

$$x_{1min} = \frac{z_m - z_1}{z_m}$$



Hlavné rozmery VN kolies:

$$r_1 = z_1 \cdot m / 2 \quad r_2 = z_2 \cdot m / 2 \quad a = r_1 + r_2$$

$$r_{b1} = r_1 \cdot \cos \alpha \quad r_{b2} = r_2 \cdot \cos \alpha$$

$$r_{a1} = r_1 + m + x_1 \cdot m$$

$$r_{a2} = r_2 + m - |x_2| \cdot m$$

$$r_{f1} = r_1 - 1,25 \cdot m + x_1 \cdot m$$

$$r_{f2} = r_2 - 1,25 \cdot m - |x_2| \cdot m$$

Typ súkolesia V

Je nevyhnutné aby pri tomto type súkolesia, kedy budú korigované obe kolesá, kvôli odstráneniu podrezania, boli splnené nasledovné podmienky:

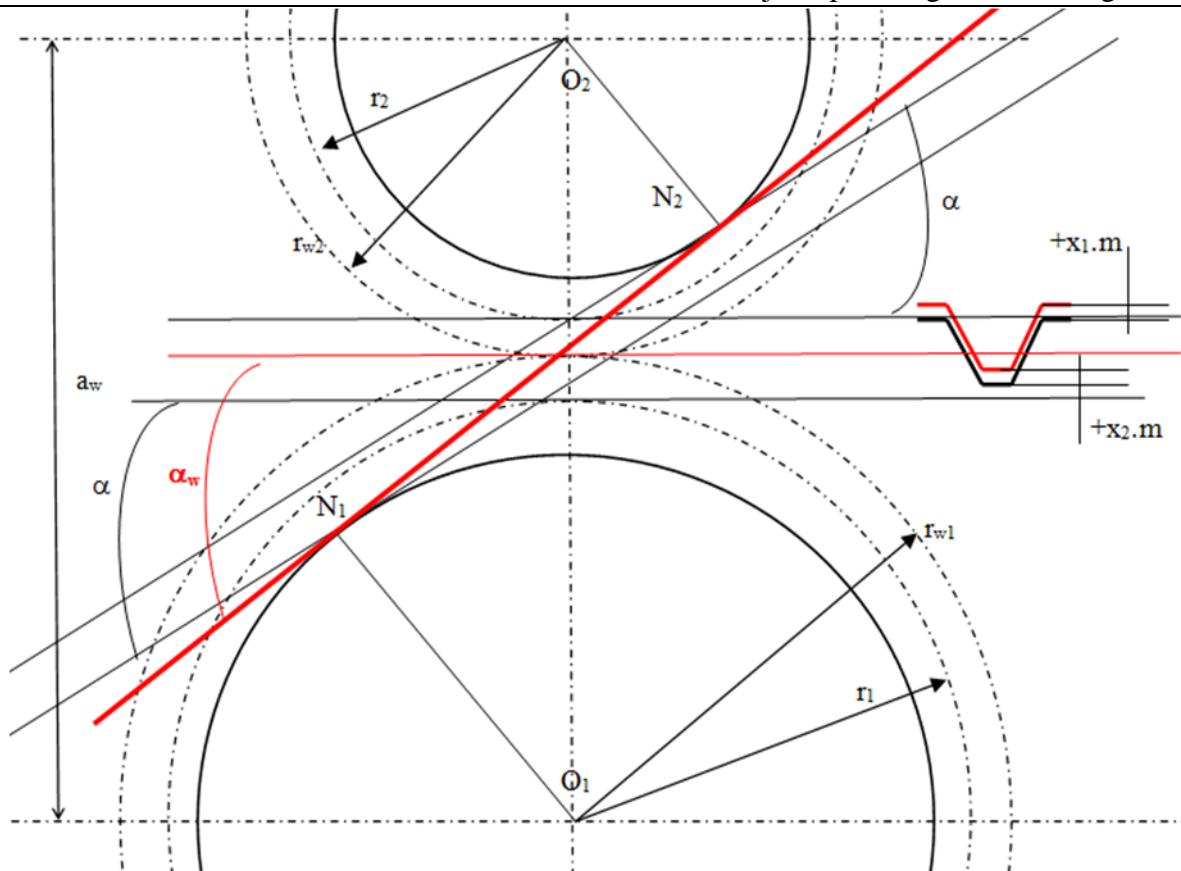
$$z_1 < z_m$$

$$z_2 < z_m$$

$$z_1 + z_2 < 2 \cdot z_m$$

$$a = r_1 + r_2$$

$$a_w, a < a_w$$



Hlavné rozmery takéhoto súkolesia vypočítame nasledovne:

$$r_{b1} = r_1 \cdot \cos \alpha = r_{w1} \cdot \cos \alpha_w$$

$$r_{b2} = r_2 \cdot \cos \alpha = r_{w2} \cdot \cos \alpha_w$$

$$(r_1 + r_2) \cdot \cos \alpha = (r_{w1} + r_{w2}) \cdot \cos \alpha_w$$

$$a \cdot \cos \alpha = a_w \cdot \cos \alpha_w$$

Tento typ korekcie, kedy korigujeme obe ozubené kolesa a ich korekcia nieje nevyhnutná z dôvodu odstránenia podrezania, je vhodný aj pre korigovanie rozmerov ozubených kolies tak, aby bola dodržaná požadovaná osová vzdialenosť.

Platí: $x_{vys} = x_1 + x_2$

$$a_w = a \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

Ak:

a – pôvodná osová vzdialenosť – nekorigovaných kolies

a_w – osová vzdialenosť korigovaných kolies

Rozstup na rozstupovej kružnici: $p = \pi \cdot m$

Rozstup na základnej kružnici: $p_b = p \cdot \cos \alpha = p_w \cdot \cos \alpha_w$

Rozstup na valivej (pracovnej) kružnici:



Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

$$p_w = p \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

V prípade korekcie V je nevyhnutné kontrolovať hrúbku zuba.

Hrúbka zuba na rozstupovej kružnici:

$$s_1 = \frac{p}{2} \cdot 2x_1 \cdot m \cdot \tan \alpha$$

$$s_2 = \frac{p}{2} \cdot 2x_2 \cdot m \cdot \tan \alpha$$

Hrúbka zuba na valivej kružnici:

$$s_{1w} = 2 \cdot r_{w1} \left(\frac{s_1}{2r_1} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_w \right)$$

$$s_{2w} = 2 \cdot r_{w2} \left(\frac{s_2}{2r_2} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_w \right)$$

$$p_w = s_{1w} + s_{2w}$$

V prípade korekcie V je nebezpečenstvo vzniku špicatých zubov a preto je nevyhnutná kontrola hrúbky zuba na hlavovej kružnici.

Polomer valivej kružnice:

$$r_{w1} = r_1 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

$$r_{w2} = r_2 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

Nutná podmienka korekcie na danú osovú vzdialenosť:

$$x_1 + x_2 = \frac{z_1 + z_2}{2 \cdot \tan \alpha} \cdot (\operatorname{inv} \alpha_w - \operatorname{inv} \alpha)$$

Polomer pätnjej kružnice

$$r_{f1} = r_1 - 1,25 \cdot m + x_1 \cdot m$$

$$r_{f2} = r_2 - 1,25 \cdot m + x_2 \cdot m$$

Polomer hlavovej kružnice sa neurčuje priamo ale z nasledovných podmienok

$$a_w = r_{a1} + c_a + r_{f2}$$

$$a_w = r_{a2} + c_a + r_{f1}$$

c_a – hlavová vôľa,

$$c_a = c_a^* \cdot m, \quad c_a^* = 0,25$$



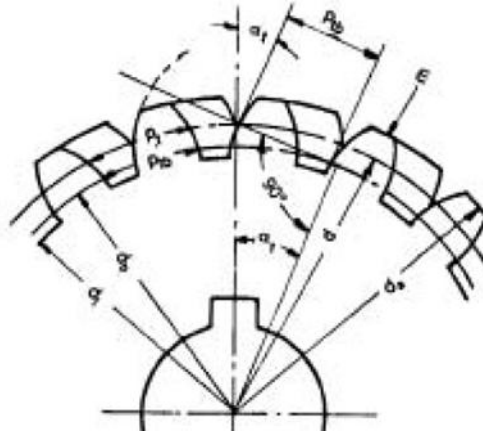
Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Čelné ozubené kolesá so šikmými zubami

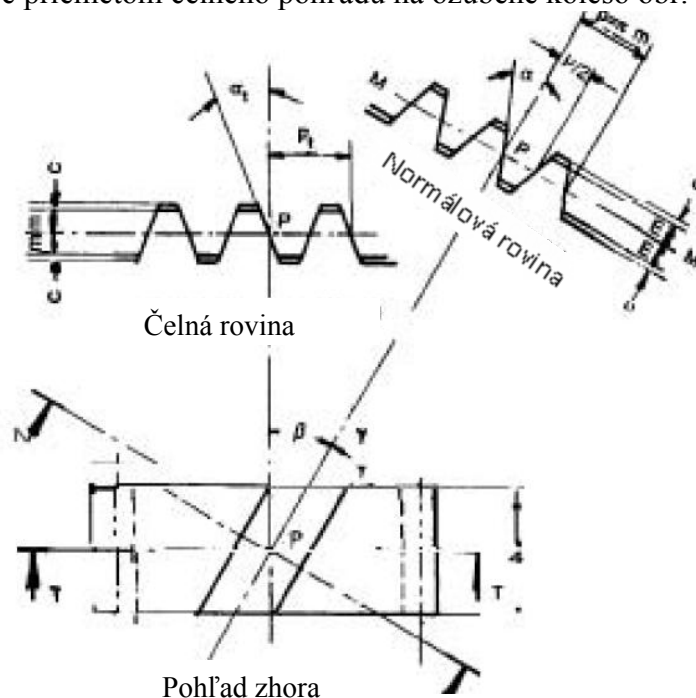
Prednosťou ozubených kolies so šikmými zubami, je pozvoľný vstup a výstup zo záberu a väčšia hodnota súčiniteľa trvania vyplývajúca zo zošikmenia zubov obr. Veľkou nevýhodou je axiálna sila ktorá vzniká v ozubení.



Sklon šikmých zubov môže byť pravý alebo ľavý a rozpoznávame ich pomocou palca na ruke obr. Ak prsty dlane smerujú v smere otáčania kola a palec nám prekryva sklon zubov, tak ak je to palec pravej ruky potom sa jedná o pravý sklon ak je to palec ľavej ruky tak je to ľavý sklon.



Pre vyšetřovanie kinematických, silových a záberových pomerov sa v prípade čelných ozubených kolies so šikmými zubami používajú dve základné roviny. Prvou je rovina normálová ktorý vzniká ako myslená rezová rovina kolmá na zošikmený zub. A druhou je rovina čelná ktorá je priemetom čelného pohľadu na ozubené koleso obr.





Konštruovanie strojov a strojových súčiastok

Blok č: 12

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

Hlavné rozmery ozubených kolies so šikmými zubami

Rozstup v čelnej rovine:

$$p_t = m_t \cdot \pi$$

Rozstup v normálovej rovine:

$$p_n = m_n \cdot \pi$$
$$p_t = \frac{p_n}{\cos\beta}$$

Normalizovaným je modul v normálovej rovine potom modul v čelnej rovine určíme:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta}$$

Rozstupový priemer:

$$d = m_t \cdot z$$
$$d = \frac{m_n}{\cos\beta} \cdot z$$

Osová vzdialenosť:

$$a = r_1 + r_2 = \frac{m_n(z_1 + z_2)}{2 \cdot \cos\beta}$$

Priemer hlavovej kružnice:

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n$$
$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_n$$

Priemer pätnjej kružnice:

$$d_{f1} = d_1 - 2,5 \cdot m_n$$
$$d_{f2} = d_2 - 2,5 \cdot m_n$$

Uhol tlaku v čelnej rovine:

$$\tan\alpha_t = \frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta}$$

$$\alpha_t = 20^\circ$$

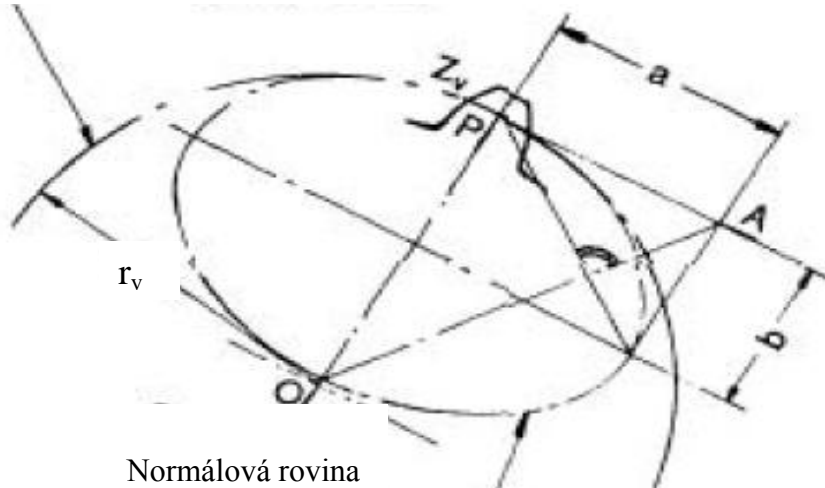
Priemer základnej kružnice:

$$d_b = d \cdot \cos\alpha_t = \frac{m_n}{\cos\beta} \cdot z \cdot \cos\alpha_t$$

Kinematické podmienky a záberové podmienky spoluzaberajúcich ozubených kolies so šikmými zubami sa vyšetrujú v čelnej rovine. V normálovej rovine, v ktorej je vytvorené virtuálne koleso, ktorého počet zubov je menší ako je skutočný počet zubov a po doplnení počtu zubov do plného virtuálneho kolesa je ich počet porovnávaný s medzným počtom zubov, pre určenia primárnej interferencie. V normálovej rovine na virtuálnych – porovnávacích kolesách je vykonávaná aj pevnostná kontrola zubov.

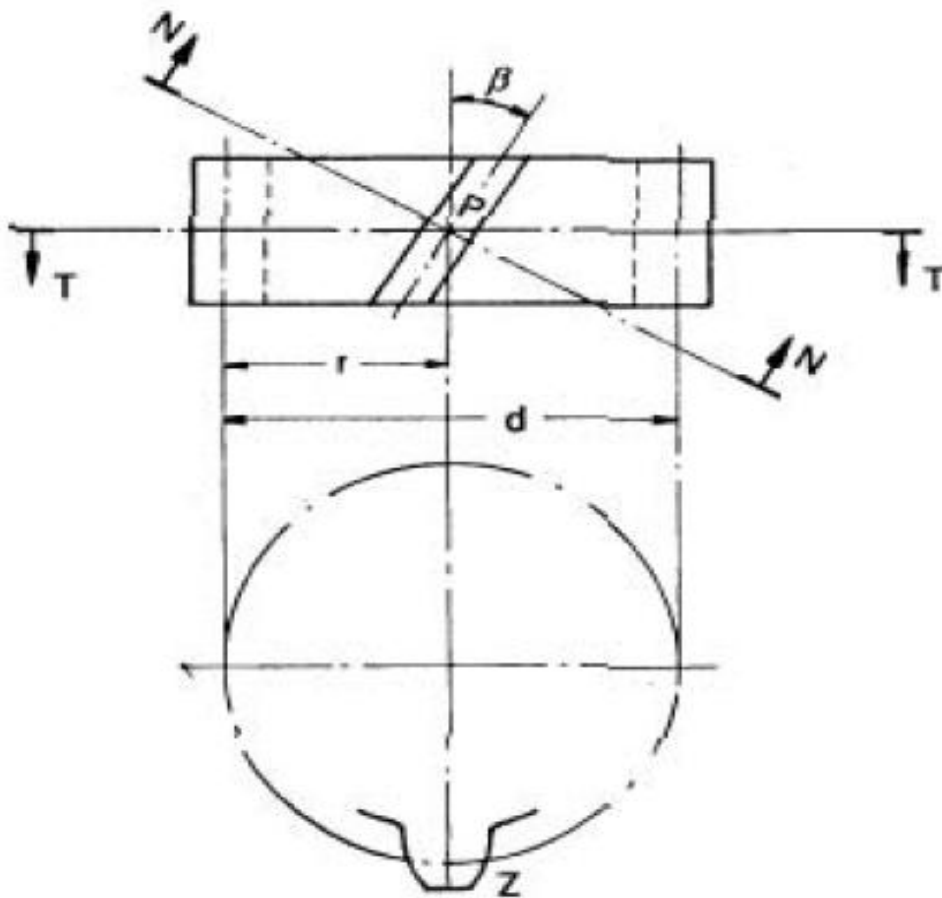


Rozstupová kružnica virtuálneho kolesa – ekvivalent s ozubeným kolesom s rovnými zubami



Normálová rovina

Elipsa



Čelná rovina



Rozmery virtuálneho kolesa

Polomer virtuálneho kolesa:

$$r_v = \frac{r}{\cos^2 \beta}$$

Počet zubov virtuálneho kolesa:

$$r_v = \frac{z_v \cdot m_n}{2} = \frac{z \cdot m_n}{2 \cdot \cos \beta \cdot \cos^2 \beta}$$

$$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$$

Primárna interferencia ozubeného kolesa so šikmými zubami:

$$z_v < z_m$$

$$x = \frac{z_m - z_v}{z_m} = \frac{z_m - \frac{z}{\cos^3 \beta}}{z_m}$$

Napríklad:

$$\beta = 10^\circ$$

$$z_m = 17$$

$$z = z_v \cdot \cos^3 \beta = 17 \cdot \cos^3 10^\circ = 17$$

Napríklad:

$$\beta = 20^\circ$$

$$z_m = 17$$

$$z = z_v \cdot \cos^3 \beta = 17 \cdot \cos^3 20^\circ = 14$$

Trvanie záberu je vyšetrované v dvoch rovinách obr. V čelnej rovine sa vyšetruje trvanie záberu z profilu ε_α a v rovine pohľadu zhora je vyšetrované trvanie záberu z kroku ε_β .

Trvanie záberu čelných ozubených kolies so šikmými zubami:

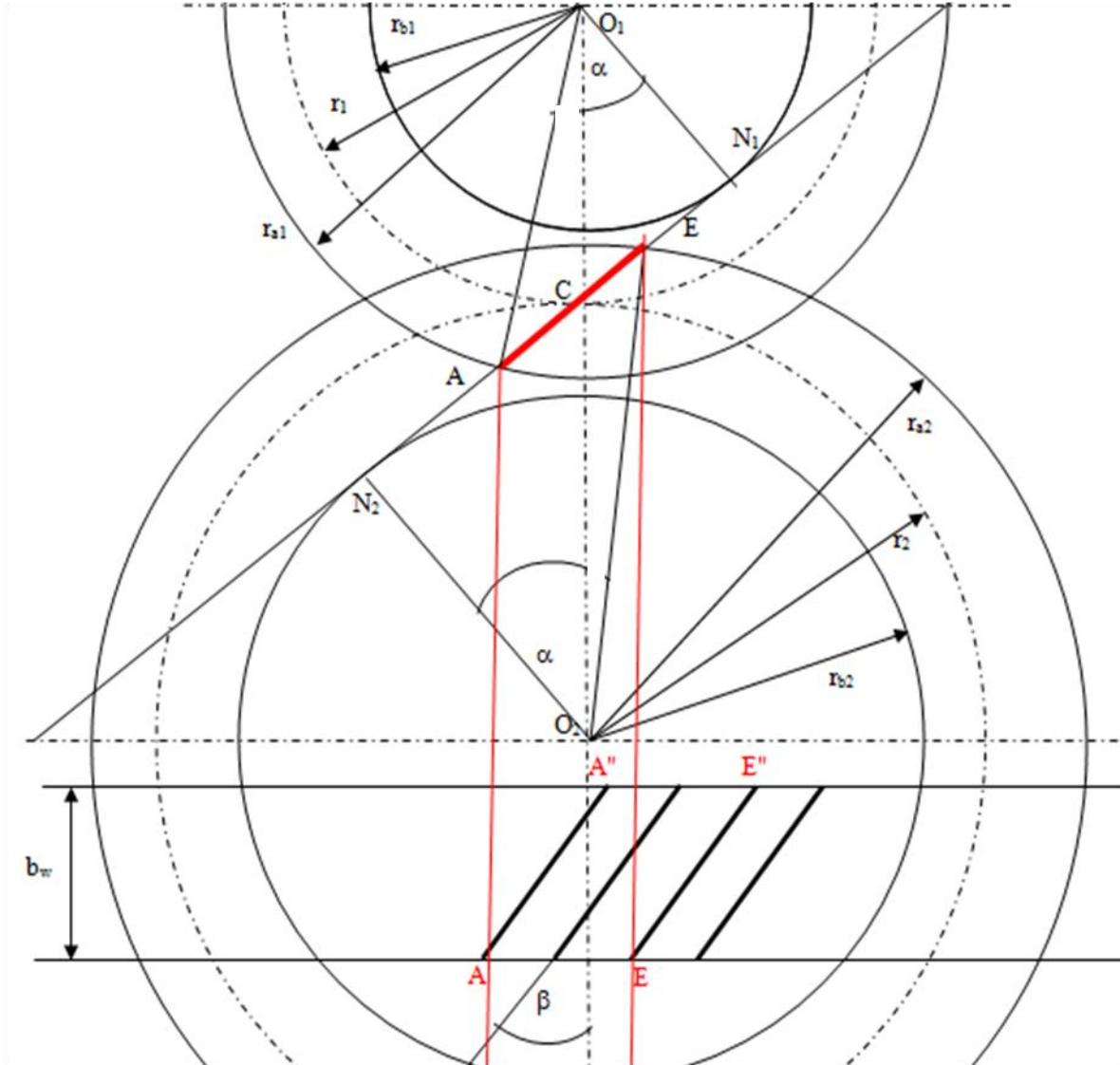
$$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\overline{ACE}}{p_t \cdot \cos \alpha_t}$$

Trvanie záberu z kroku:

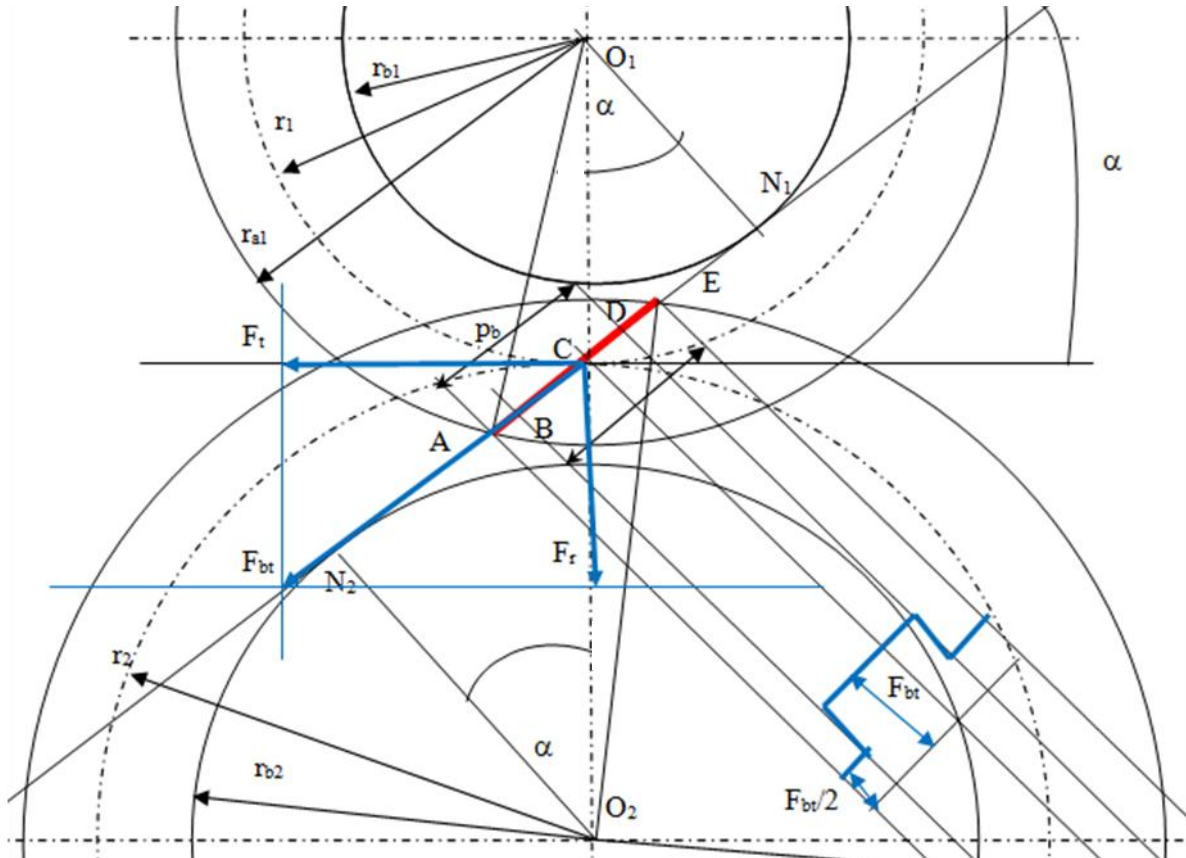


$$\varepsilon_{\beta} = \frac{b_w \cdot \tan \beta}{p_t}$$





Silové pomery čelných ozubených kolies



Krútiaci moment na vstupe:

$$M_{k1} = \frac{P}{\omega_1}$$

Krútiaci moment na výstupe

$$M_{k2} = M_{k1} \cdot i \cdot \eta$$
$$M_{k1} = F_{bt} \cdot r_{b1} = F_{bt} \cdot r_1 \cdot \cos \alpha = F_t \cdot r_1$$

Tangenciálna (obvodová) sila:

$$F_t = \frac{M_{k1}}{r_1} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{d_1}$$

Radiálna sila:

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha$$

Silové pomery v šikmom ozubení

Tangenciálna sila:



$$F_t = \frac{M_{k1}}{r_1} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{d_1}$$

Axiálna sila:

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta$$

$$F_n = \frac{F_t}{\cos \beta}$$

$$F_{bt} = \frac{F_n}{\cos \alpha_n} = \frac{F_t}{\cos \alpha_n \cdot \cos \beta}$$

Radiálna sila:

$$F_r = F_n \cdot \tan \alpha_n = F_t \cdot \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}$$

