

Ozubené kolesá sú strojné súčasti, ktoré majú na svojich pracovných plochách usporiadané zuby, ktoré môžu pri zábere prenášať krútiaci moment alebo otáčavý pohyb z hnacieho na hnaný hriadeľ pri zaručení konštantného prevodového pomeru.

Ak je známy zmysel prenášanej sily označuje sa ozubené koleso od ktorého pohyb vychádza ako hnacie (1) a druhé koleso, ktoré tento pohyb preberá ako hnané (2). Ak sa namiesto jedného kolesa použije ozubený hrebeň mení sa otáčavý pohyb na priamočiary alebo naopak. Koleso a s ním zaberajúce druhé koleso (protikoleso) sa tiež označuje ako pastorok a koleso. Spoluzaberajúce ozubené kolesá tvoria ozubené súkolesie.

Podľa vzájomnej polohy hriadeľov kolies sa rozlišujú valivé a skrutkové súkolesia. Valivé súkolesia sú buď čelné (s rovnobežnými osami kolies) alebo kuželové (s rôznobežnými osami kolies). Podľa zmyslu otáčania a polohy spoluzaberajúcich kolies sa rozoznávajú čelné súkolesia vonkajšie (spoluzaberajúce kolesá majú opačný zmysel otáčania), čelné súkolesia vnútorné (spoluzaberajúce kolesá majú rovnaký zmysel otáčania) a čelné súkolesia hrebeňové (veľké koleso má nekonečný počet zubov a prechádza tak v hrebeň resp. ozubenú tyč).

Podľa tvaru riadiacej krivky zuba t.j. priesečnice boku zuba s povrchom rozstupového valca (priamka, skrutkovica a pod.) môžu mať vonkajšie čelné súkolesia zuby priame, šikmé, šípové atď.

Ozubenie je geometrický a kinematický vzťah zubov (bokov zubov) dvoch spoluzaberajúcich a na seba vzájomne pôsobiacich ozubených kolies súkolesia.

Profil zuba ozubeného kolesa v reze kolmom na jeho os sa nazýva čelným profilom zuba. Pracovná časť bočnej krivky (pravej a ľavej) čelného profilu zuba môže mať tvar evolventy (najrozšírenejší tvar, zuby sa obrábajú odvalovacím spôsobom rýchlo a boky je možné ľahko brúsiť), cykloidy (využívané v jemnej mechanike, hodinárstve) alebo zmiešaný.

Evolventa je krivka, ktorú vytvorí ľubovoľný bod priamky valiacej sa po krivke. Táto priamka sa nazýva tvoriacou priamkou a pri čelných kolesách je krivkou, po ktorej sa valí, kružnica nazývaná základná kružnica k_b (priemer D_b , polomer R_b).

Rozstupová kružnica k (priemer D , polomer R) je myslenou kružnicou na ktorej je definovaný rozstup (delenie) a delí zub (výška h) na dve časti, hlavu (výška h_a) a pätu (výška h_f). Je základom pre meranie ozubených kolies a je totožná s valivou kružnicou.

Hlavová kružnica k_a (priemer D_a , polomer R_a) je kružnica opísaná zo stredu kolesa tak, že obmedzuje vrcholy hláv jeho zubov.

Pätová kružnica k_f (priemer D_f , polomer R_f) je kružnica opísaná zo stredu kolesa tak, že obmedzuje jeho zubové medzery zo strany telesa kolesa.

Záberová priamka u je spoločná dotyčnica k základným kružniciam ozubených kolies súkolesia a je to priamka po ktorej sa pri práci súkolesia pohybuje záberový bod.

Záberový bod C je bod dotyku spoluzaberajúcich profilov dvoch zubov.

Bod valenia V je okamžitým stredom otáčania. Leží na priesečníku strednice a spoločnej kolmice k spoluzaberajúcim profilom v bode ich dotyku. Delí vzdialenosť osí v pomere počtu zubov (z_1, z_2) spoluzaberajúcich kolies (v prevodovom pomere $i_{1,2}$). Leží na záberovej priamke.

Strednica je priamka spájajúca osi dvoch spoluzaberajúcich kolies.

Vzdialenosť osí a je to kolmá vzdialenosť rovnobežných alebo mimobežných osí dvoch spoluzaberajúcich kolies. Je to dĺžka úseku strednice medzi stredmi O_1O_2 .

Začiatok záberu A je bod dotyku päty zuba hnacieho kolesa (pastorka) s hlavou zuba hnaného kolesa, ležiaci na záberovej priamke.

Koniec záberu Z je bod dotyku hlavy zuba hnacieho kolesa (pastorka) s pätou zuba hnaného kolesa, ležiaci na záberovej priamke.

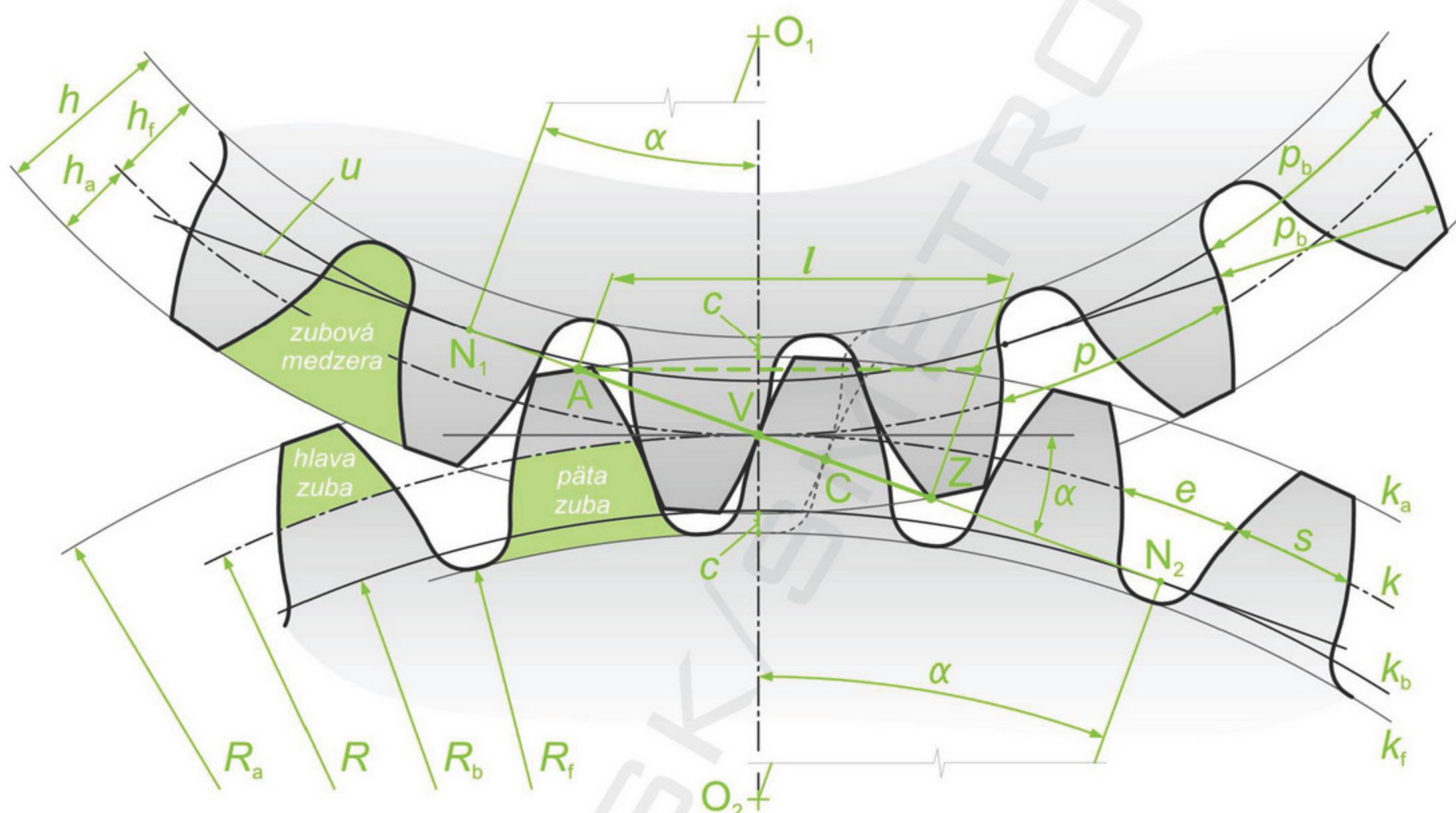
Dĺžka záberovej úsečky l_b je vzdialenosť medzi začiatkom a koncom skutočného dotyku spoluzaberajúcich profilov dvoch kolies čiže je to dĺžka úseku záberovej priamky medzi bodom začiatku a bodom konca záberu AZ.

Dĺžka záberu l je dĺžka záberovej úsečky meraná na priamke kolmej ku strednici.

Uhol záberu α je uhol medzi záberovou priamkou a kolmicou ku strednici v bode V.

Modul m je podiel priemeru rozstupovej kružnice D pripadajúci na jeden zub. (12.1)

Bočná vôľa j_n je najkratšia vzdialenosť medzi nezaťažnými (nepracovnými) bokmi spoluzaberajúcich zubov meraná na záberovej priamke. Pri teoretickom zábere zubov je hodnota bočnej vôle $j_n = 0$, avšak v skutočnosti sa pri konečnom obrábaní ozubení zvyčajne zoslabia zuby oboch spoluzaberajúcich kolies o rovnakú hodnotu (posunutie) a pre skutočnú hrúbku zuba $\hat{s}_s$ platí vzťah (12.13).



Pre jednotlivé parametre čelného súkolesia s priamym zubami s bežným (nekorigovaným) evolventným ozubením bez uvažovania bočnej vôle (Obr.12.1) platia vzťahy

$$a = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{m}{2} \cdot (z_1 + z_2) \quad (12.15)$$

Presnosť a vzájomná zameniteľnosť ozubených kolies má odlišnú náplň ako u iných druhov strojových súčiastok, čo vyplýva z toho, že ozubené koleso netvorí dvojicu s opačne tvarovanou súčiastkou (hriadeľ-diera, skrutka-matica), ale so súčiastkou toho istého tvaru, pričom dvojicu vytvára iba pri pohybe, čiže odvaľovaní.

Funkčnosť ozubených kolies je podmienená dodržaním požadovaných kinematických a tvarových vlastností. Dôležité je tiež dodržanie určitej bočnej vôle medzi nepracovnými bokmi zubov.

Nepresnosti ozubení vznikajú v priebehu výroby ozubení ako prejavy nepresnosti nástroja a jeho ustavenia, nepresnosti stroja a upnutia obrobku na stroji, spôsobu výroby ozubení a na rade technologických faktorov. Podľa týchto hľadísk sú usporiadané tiež normy. V týchto normách sú odchýlky presnosti ozubených kolies a súkolesí rozdelené do skupín

- kinematická presnosť kolesa (súkolesia) popisuje uhlové odchýlky natočenia ozubeného kolesa za celú otáčku (behom úplného cyklu odvalu),
- plynulosť chodu kolesa (súkolesia) popisuje tie zložky celkovej uhlovej odchýlky natočenia ozubeného kolesa, ktoré sa behom jeho jednej otáčky (za jeden úplný cyklus odvalu) mnohokrát opakujú,
- pásma dotyku zubov kolesa (súkolesia) popisuje presnosť vzájomného kontaktu pracovných bokov zubov súkolesia v zamontovanom stave.

Ukazovatele presnosti sú odchýlky funkčných parametrov t.j. kinematickej presnosti, plynulosti chodu, dotyku zubov (komplexné ukazovatele) alebo geometrických elementov (jednotlivých ukazovateľov) kolesa a súkolesia, ktoré môžu byť kontrolované a ktoré sú obmedzované krajnými hodnotami.

Jednotlivá odchýlka je odchýlka ľubovoľného geometrického elementu (parametra) ozubeného kolesa, napr. profilu zuba, rozstupu, hrúbky zuba, sklonu zuba a pod.

Funkčná odchýlka je odchýlka niektorého z funkčných parametrov ozubeného kolesa alebo súkolesia, napr. kinematická odchýlka, cyklická odchýlka, pásma dotyku atď.

Aby nebolo treba merať veľké množstvo odchýlok sú stanovené tzv. komplexy kontroly, ktoré predstavujú výber vždy niekoľkých odchýlok z každej skupiny. Norma pripúšťa, aby jedna z odchýlok v komplexe prevyšovala hraničnú hodnotu, pokiaľ súhrnný vplyv všetkých odchýlok neprevyšuje dovolenú odchýlku.

V rámci kinematickej presnosti sa podľa jedného z komplexov napríklad meria *radiálne hádzanie*, pričom miesto odchýlok radiálneho hádzania je možné kontrolovať *odchýlkou dvojbokého odvalu*, z ktorých záznamu sa dá vyhodnotiť aj odchýlka radiálneho hádzania.

V rámci plynulosti chodu je napríklad v jednom z komplexov *odchýlka profilu* (evolventy), ktorá je súhrnnou odchýlkou profilu zuba a v nej sa prejavuje jednak vlastná chyba profilu proti teoretickému tvaru a jednak *odchýlka uhla záberu*, ktorá zase súvisí s chybou polomeru základnej kružnice.

Podľa požiadaviek kladených na ozubené kolesá sa tieto zaraďujú do jedného z 8 stupňov presnosti (5 až 12) na základe spôsobu výroby, obvodovej rýchlosti a drsnosti povrchu obrobených zubov.

Veľkosť zaručenej bočnej vôle medzi nepracovnými bokmi spoluzaberajúcich zubov zmontovaného súkolesia je charakterizovaná skupinou bočných vôle, ktorej voľba je závislá na stupni presnosti podľa plynulosti chodu a na predpokladaných tepelných pomeroch ozubeného súkolesia v prevádzke. Rozlišuje sa 5 skupín bočných vôle (a až e), ku ktorým sú priradené príslušné tolerancie hrúbky zuba, polohy základného profilu a rozmeru cez zuby.

Tab.12.1 Normalizované moduly podľa STN 01 4611 [62]. Rozmery v mm.

Rad 1	Rad 2	Rad 1	Rad 2	Rad 1	Rad 2	Rad 1	Rad 2	Rad 1	Rad 2
0,05	0,055	0,25	0,28	1,25	1,375	6	7	32	36
0,06	0,07	0,3	0,35	1,5	1,75	8	9	40	45
0,08	0,09	0,4	0,45	2	2,25	10	11	50	55
0,1	0,11	0,5	0,55	2,5	2,75	12	14	60	70
0,12	0,14	0,6	0,7	3	3,5	16	18	80	90
0,15	0,18	0,8	0,9	4	4,5	20	22	100	
0,2	0,22	1	1,125	5	5,5	25	28		

MERANIE ROZMERU CEZ ZUBY

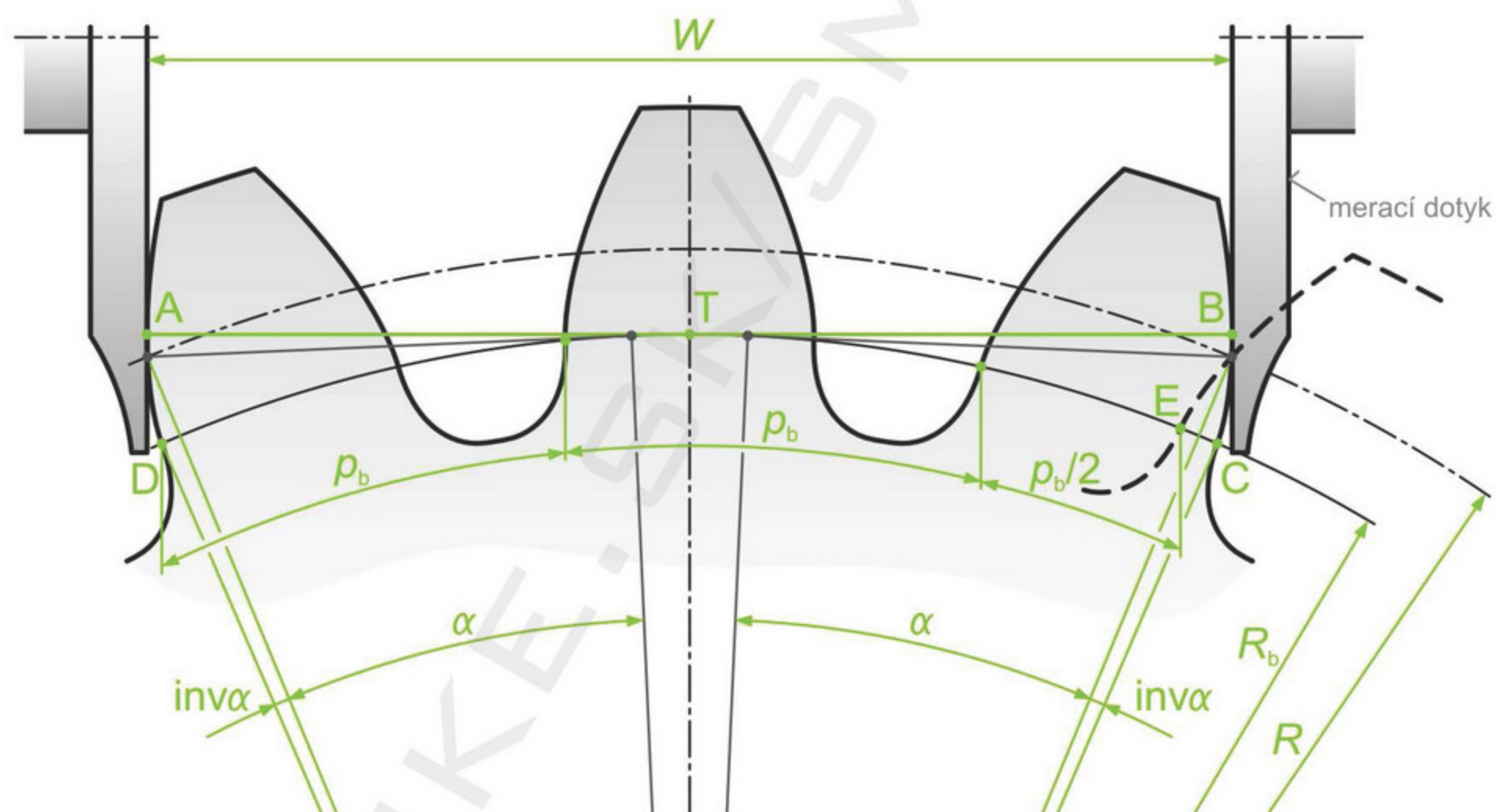
Norma STN 01 4675 [64] stanovuje spôsob zistenia hrúbky zuba čelných kolies s priamymi zubami s evolventným ozubením meraním rozmeru cez niekoľko zubov.

Kontrola evolventného ozubení meraním rozmeru cez niekoľko zubov (najmenej dva) je najčastejším spôsobom kontroly ozubených kolies vo výrobe. Je možné priamo stanoviť bočnú vôľu, pretože rozmer cez zuby je v smere normály k bokom zubov t.j. v smere v ktorom sa meria bočná vôľa a tak odchýlky rozmeru cez zuby priamo určujú bočnú vôľu, ktorá je súčtom odchýlok rozmeru cez zuby oboch spoluzaberajúcich kolies.

Výhodou merania rozmeru cez zuby je

- použitie jednoduchého meradla,
- možnosť merať priamo na stroji pri výrobe ozubenia,
- jednoduché určenie posunutia základného profilu z nameraného rozmeru t.j. hodnoty o ktorú je potrebné posunúť nástroj k dokončeniu obrábania,
- že meranie vychádza od obrobených bokov zubov a nie je závislé na presnosti priemeru hlavovej kružnice kola.

Rozmer cez zuby je vzdialenosť protiľahlých bokov vhodného počtu zubov meraná na priamke, ktorá je dotyčnicou k základnej kružnici meraná v blízkosti rozstupovej kružnice. Táto vzdialenosť ostáva konštantná (Obr.12.2).



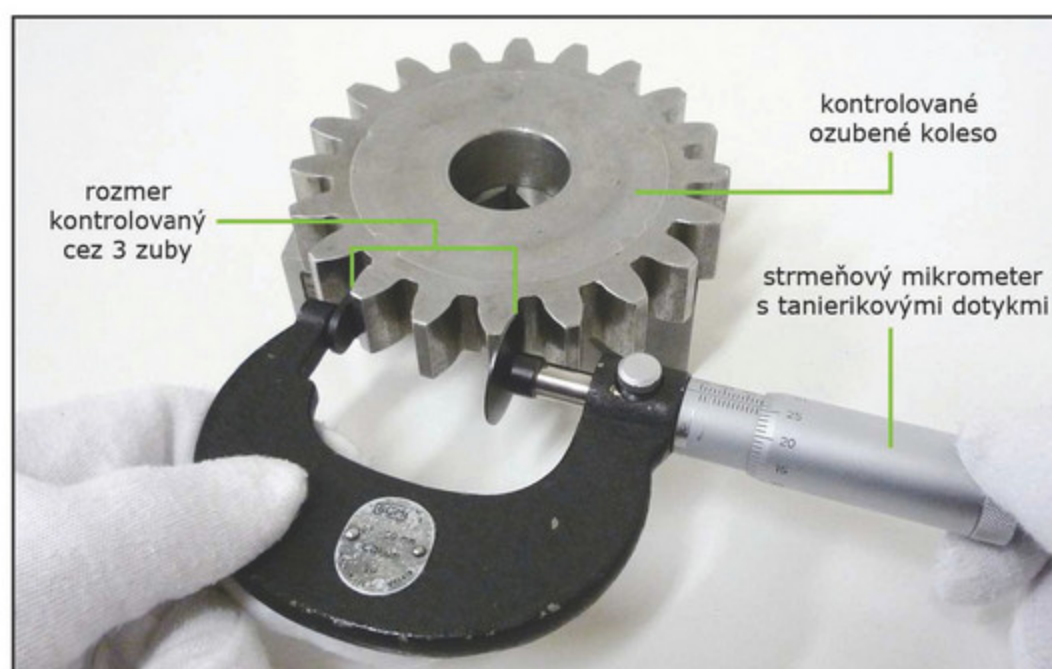
Obr.12.2 Schéma merania rozmeru cez zuby

Menovitý rozmer cez zuby je teda vzdialenosť medzi rovnobežnými rovinami meradla, ktoré sa dotýkajú tangenciálne dvoch protiahlych bokov zubov pričom sa predpokladá ozubenie bez bočnej vôle, t.j. že hrúbka zuba na rozstupovej kružnici sa rovná šírke zubovej medzery na tejto kružnici.

Rozmer cez zuby sa meria napr. tanierikovým mikrometrom (Obr.12.3) alebo v sériovej výrobe hraničnými strmeňovými kalibrami.

Odchýlky rozmeru cez zuby môžu pre vonkajšie ozubenie nadobúdať len záporné hodnoty keďže v skutočnosti sú ozubené kolesá vyrábané s bočnou vôľou potrebnou na kompenzáciu výrobných a montážnych nepresností, kompenzáciu tepelných dilatácií a na mazanie pri prevádzke.

Tak ako pri každej kontrole aj tu platí že nameraná hodnota rozmeru cez zuby musí byť v hraniciach definovaných dovolenými odchýlkami rozmeru cez zuby. Obe dovolené odchýlky (horná aj dolná) sú záporné. Horné odchýlky a tolerancie sú stanovené normou STN 01 4682 [66] na základe modulu, počtu zubov, záberového uhla, stupňa presnosti a skupiny bočnej vôle.



Obr.12.3 Merania rozmeru cez zuby pomocou tanierikového mikrometra

Pre určenie modulu ozubeného kolesa platí

$$\bar{D}_a = m \cdot (z + 2) \Rightarrow m = \frac{\bar{D}_a}{z + 2} \quad (12.16)$$

kde $\bar{D}_a$ je aritmetický priemer nameraných hodnôt priemeru hlavovej kružnice ozubeného kolesa, platí

$$\bar{D}_a = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k D_{aj} \quad (12.17)$$

D_{aj} je nameraná hodnota priemeru hlavovej kružnice ozubeného kolesa,

k je počet meraní priemeru hlavovej kružnice ozubeného kolesa,

z je počet zubov ozubeného kolesa.

Volí sa najbližší normalizovaný modul podľa STN 01 4611 (Tab.12.1).

Pre určenie menovitej hodnoty rozmeru cez zuby (Obr.12.2) platí

$$\begin{aligned} W &= \overline{AB} = \hat{CD} = \hat{DE} + \hat{EC} = (z' - 0,5) \cdot p_b + 2 \cdot R_b \cdot \operatorname{inv} \alpha \\ W &= (z' - 0,5) \cdot \pi \cdot m \cdot \cos \alpha + m \cdot z \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{inv} \alpha \\ W &= m \cdot \cos \alpha \cdot [\pi \cdot (z' - 0,5) + z \cdot \operatorname{inv} \alpha] \end{aligned} \quad (12.18)$$

kde p_b je základný rozstup,

R_b je polomer základnej kružnice,

z' je počet zubov cez ktoré sa bude meranie vykonávať, platí

$$z' = z \cdot \frac{\alpha}{180} + 0,5 \quad (12.19)$$

pričom sa zaokrúhľuje do 0,2 na nižšie a od 0,2 na vyššie číslo,

α je záberový uhol,

$\operatorname{inv} \alpha$ je involuta uhla záberu, pre ktorú platí

$$\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \hat{\alpha} = \operatorname{tg} \alpha - \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \quad (12.20)$$

Pre odchýlku rozmeru cez zuby platí

$$v_{W_i} = W_i - W \quad (12.21)$$

kde W_i je nameraná hodnota rozmeru cez zuby.

Pre aritmetický priemer rozmeru cez zuby platí

$$\bar{W} = W + \bar{v}_W \quad (12.22)$$

kde $\bar{v}_W$ je aritmetický priemer odchýlok rozmeru cez zuby, pre ktorý platí

$$\bar{v}_W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_{Wi} \quad (12.23)$$