

## КОНУСНИ ЗУПЧАСТИ ПАРОВИ

### Основне карактеристике и подела

Конусни зупчасти парови користе се за пренос и трансформацију снаге од погонске до радне машине **када се осе погонског и гоњеног вратила секу**. У поређењу са цилиндричним зупчастим паровима, конусни зупчасти прови су знатно **сложенији у погледу кинематике, геометрије, израде и монтаже**.

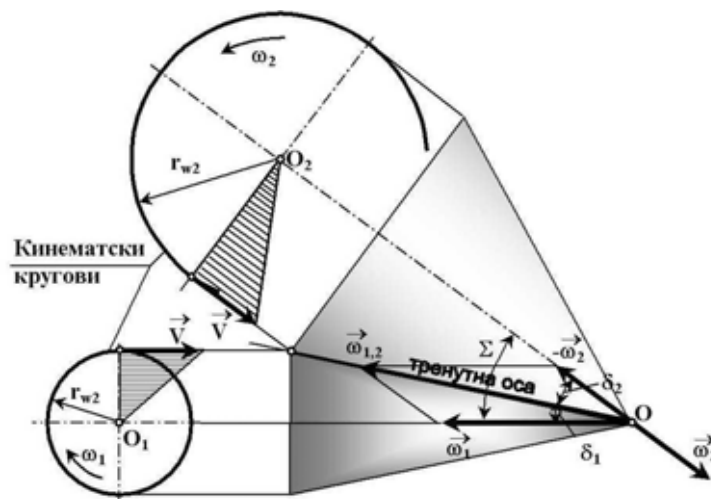
**Кинематске површине** зупчастих парова чије се осе секу (осно растојање једнако нули) су у облику конуса, са врховима у тачки пресека оса обртања спрегнутих зупчаника. Ови конуси одређени су угловима кинематских конуса  $\delta_1$  и  $\delta_2$  и осним углом  $\Sigma$ .

**Углови кинематских конуса** ( $\delta_1$  и  $\delta_2$ ) су углови између осе обртања зупчаника и кинематске осе.

**Осни угао  $\Sigma$**  је угао између вектора угаоних брзина  $\vec{\omega}_1$  и  $-\vec{\omega}_2$ .

Из услова чистог котрљања (без клизања) кинематских површина (конуса), тј. једнакости обимних брзина на кинематским круговима, добијају се изрази за углове кинематских конуса:

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{\sin \Sigma}{u + \cos \Sigma} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{u \cdot \sin \Sigma}{1 + u \cdot \cos \Sigma}$$



Кинематске површине конусних парова

У специјалном случају када је  $\Sigma = \frac{\pi}{2}$ :

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{1}{u} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \delta_2 = u$$

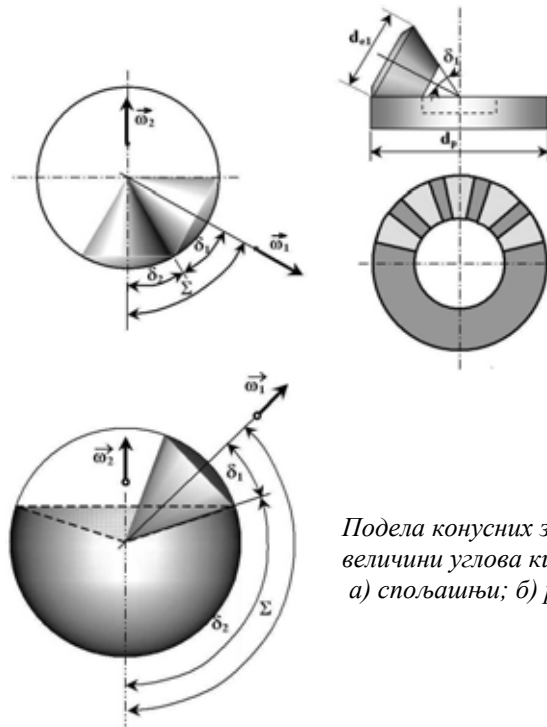
где је:

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} \text{ кинематски преносни однос}$$

У зависности од величине углова кинематских конуса, конусни зупчасти парови могу бити:

- спољашњи,
- равни и
- унутрашњи.

Аналогно основној зупчастој летви цилиндричних зупчастих парова, код конусних зупчастих парова дефинисана је **основна зупчаста плоча**. Она дефинише облик зубаца конусних зупчастих парова.

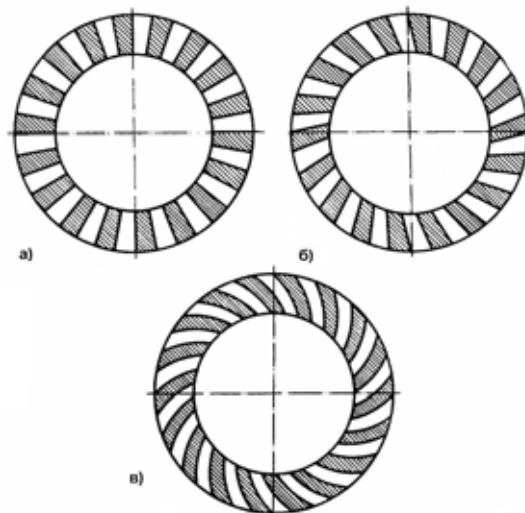


Подела конусних зупчастих парова према величини углова кинематских конуса:  
а) спољашњи; б) равни и в) унутрашњи

Облик зубаца конусних зупчастих парова зависи од:

- облика профила зубаца основне зупчасте плоче
- облика бочне линије зубаца основне зупчасте плоче
- преносног односа и
- осног угла

Према облику бочних линија зубаца основне зупчасте плоче, конусни зупчати парови могу бити са: **правим, косим и лучним зупцима**.



Подела конусних зупчаника према облику бочне линије:

а) прави зупци; б) коси зупци; в) лучни зупци

**Конусни зупчasti парови са правим зупцима** су генератори вибрација и буке због истовременог уласка и изласка из захвата свих тачака профила зубаца. Зато је домен њихове примене ограничен на обимне брзине до 6 m/s. Бочне линије зубаца основне зупчасте плоче су праве линије које пролазе кроз осу обртања плоче.

**Конусни зупчasti парови са косим зупцима** имају бочне линије у облику праве која тангира неки круг чији центар припада оси обртања основне зупчасте плоче. Код ових зупчастих парова смањен је ниво вибрација и буке због постепеног уласка и изласка зубаца из захвата и повећаног степена спрезања. Угао нагиба бочне линије зупца мења се дуж зупца. Ови зупчasti парови покривају велики домен обимних брзина, до 50 m/s.

**Конусни зупчасти парови са лучним зупцима** бочне линије зубаца основне зупчасте плоче су криволинијског - лучног облика. Облик лука бочне линије зупца зависи од примењеног поступка израде: Gleason, Oerlikon, Klingelberg. Код ових зупчастих парова конкавни и конвексни делови спрегнутих бокова зубаца, се налазе у додиру. Зато они имају миран рад и велику носивост.

## Геометријске и кинематске величине

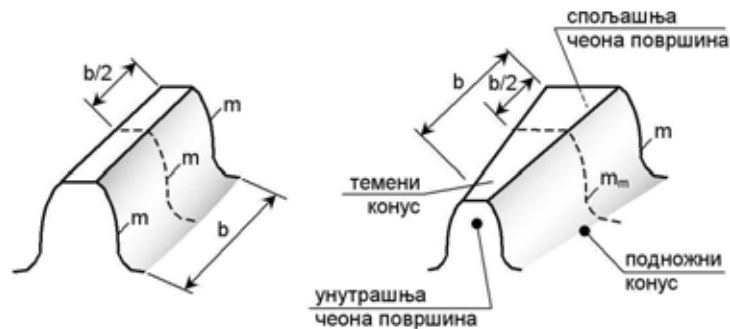
За одређивање геометријских и кинематских величина конусних зупчастих парова неопходно је дефинисати профиле зубаца.

Профили зубаца цилиндричних зупчаника добијају се пресецањем бокова зубаца равни која је управна на осе обртања спрегнутих зупчаника, а код конусних зупчастих парова профили зубаца се формирају пресецањем бокова зубаца сфером са средиштем у пресеку оса обртања спрегнутих зупчаника.

Зупци конусног зупчаника ограничени су по дужини чеоним површинама: **унутрашњом** (која је ближа тачки пресека оса зупчаника) и **спољашњом**, а по висини ограничени су теменим и подножним конусом.

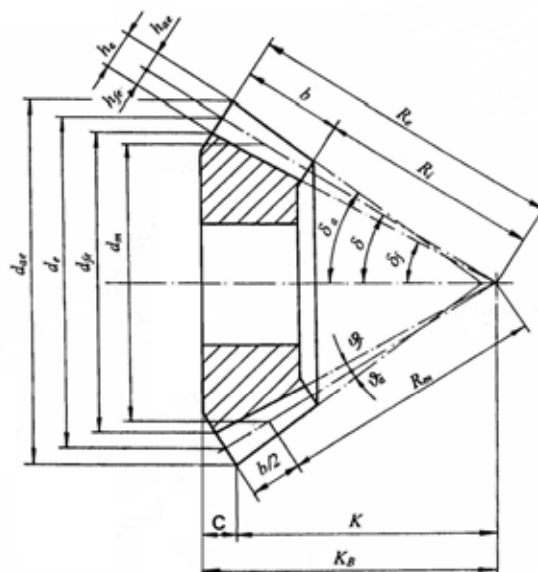
Код цилиндричних зупчаника сви **профили зубаца** су међусобно **исти**, по облику и димензијама, а код конусних зупчаника су **само слични**. **Облик и димензије профила зубаца се мењају по дужини зупца.**

За прорачун геометријских и кинематских величина конусних зупчастих парова меродаван је профил зубаца на спољашњој чеоној површини.



### Зубац цилиндричног и конусног зупчаника

**Модул овог профила ( $m$ )** представља модул конусног зупчастог пара и његове вредности припадају скупу стандардних модула.



### Геометријске величине конусног зупчаника

### Пречници спољашњих кинематских кругова:

$$d_{e1} = mz_1 \quad d_{e2} = mz_2$$

**Спољашње конусно одстојање** представља дужину изводнице кинематског конуса од врха конуса до спољашње чеоне површине:

$$R_e = \frac{d_{e1}}{2\sin\delta_1}.$$

**Ширина зупчаника (дужина зупца)** представља растојање између чеоних површина мерене дуж изводнице кинематског конуса:

$$b \approx (0,25...0,32)R_e.$$

### Пречници средњих кинематских кругова

$$d_{m1} = m_m \cdot z_1 \quad d_{m2} = m_m \cdot z_2$$

где је:

$$m_m = m - \frac{b}{z} \sin\delta - \text{модул профила зубаца на средини ширине зупца.}$$

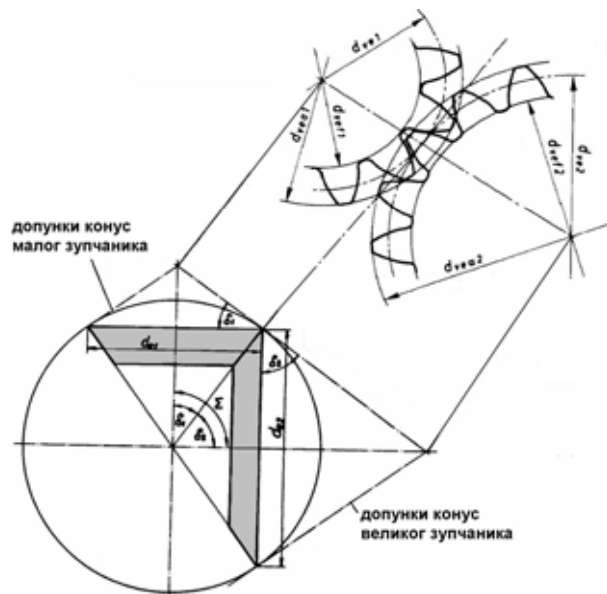
### Растојање чеоне контроле (ослоне) површине од врха кинематског конуса

$$K_B = K + C$$

где су:

$$K = R_e \cos\delta - h_{ae} \sin\delta$$

$C$  - конструкциона величина



Допунски конуси и еквивалентни цилиндрични пар

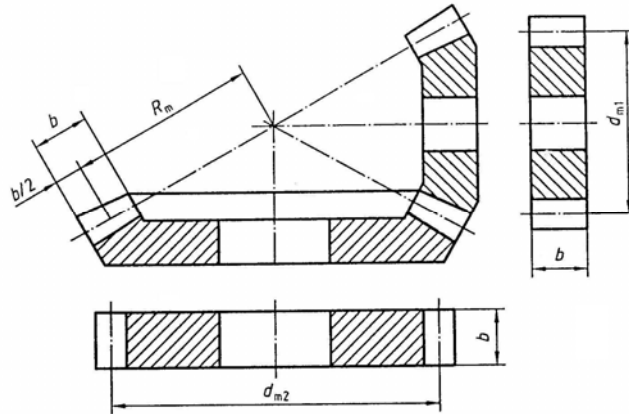
### Чврстоћа подножја зубаца

#### Радни напони

Радни напони на боковима и у подножју зубаца конусних зупчастих парова одређују се на основу **еквивалентног цилиндричног зупчастог пара**.

Да би се просторни проблем за дефинисање облика и димензија профила зубаца конусних зупчастих парова пренео у раван (као код цилиндричних зупчаника), разматра се еквивалентни цилиндрични зупчасти пар. Његови профили настају пресецањем зубаца конусних зупчаника

тзв. **допунским конусима**. Ови конуси управни су на кинематске конусе и додирују сферу чије се средиште налази у пресеку оса конусног зупчастог пара. Развијањем површине омотача допунских конуса у раван добијају се профили зубаца еквивалентног цилиндричног зупчастог пара.



Конусни и еквивалентни цилиндрични зупчасти пар

Напони у подножју зубаца конусног зупчастог пара

$$\sigma_F = \sigma_{F0} \cdot K_{F\alpha} \cdot Y_{FA} \cdot Y_{SA} \cdot Y_\varepsilon$$

$$\sigma_{F0} = K \frac{F_t}{b \cdot m_m}$$

где је:

$K = K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta}$  - фактори меродавног оптерећења

$$F_t = \frac{2T}{d_m}, \quad d_m = m_m \cdot z$$

**Критични напони у подножју зубаца конусног зупчастог пара:**

$$[\sigma_F] = \sigma_{F\lim} \cdot Y_x \cdot Y_R \cdot Y_S$$

где су:

$Y_x$  - фактор величине зубаца;

$Y_R$  - фактор промене радног напона:

(једносмерна промена  $Y_R = 1$ , наизменична промена  $Y_R = 0,7$ );

$Y_S$  - фактор концентрације напона,  $Y_S = 2,0$ ;

$\sigma_{F\lim}$  - трајна динамичка чврстоћа подножја зубаца за еталон зупчасти пар.

**Степен сигурности подножја зубаца**

$$S_F = \frac{[\sigma_F]}{\sigma_F} > S_{F\min} \quad S_{F\min} \geq 1,5$$

### Чврстоћа бокова зубаца

#### Радни напони

**Радни напони на боковима зубаца** конусног зупчастог пара са правим зупцима одређују се сагласно изразу:

$$\sigma_{H1}^2 = \sigma_{H2}^2 = \sigma_H^2 = Z^2 \sigma_{H0}^2 K$$

где су:

$Z^2 = Z_H^2 \cdot Z_E^2 \cdot Z_K^2 Z_\varepsilon^2$  - фактори контактнoг напона,

$K = K_A \cdot K_v \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta}$  - фактори меродавног оптерећења,

$$\sigma_{H0}^2 = \frac{F_t}{d_{m1} \cdot b} \cdot \frac{\sqrt{1+u^2}}{u}$$

$Z_K \approx 0,8$  - фактор који узима у обзир разлику у оптерећењу конусних и цилиндричних зупчастих парова

#### Критични напони на боковима зубаца конусног зупчастог пара

$$[\sigma_H] = \sigma_{Hlim} \cdot Z_x \cdot \dots$$

где су:

$\sigma_{Hlim}$  - трајна динамичка чврстоћа бокова зубаца за еталон зупчастог пара,

$Z_x$  - утицај величине зупца на динамичку чврстоћу бокова зубаца.

#### Степен сигурности бокова зубаца

$$S_H = \frac{[\sigma]_{H1}}{\sigma_H} \geq S_{Hmin} \quad S_{Hmin} \geq 1,5$$