

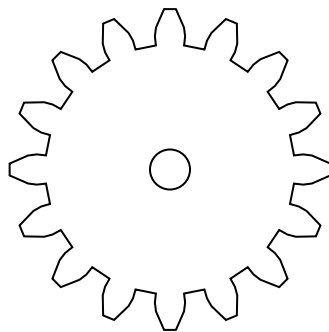
---

# Gépelemek mechatronikai mérnököknek

Gyakorlati jegyzet

---

Réda Vince



Gép- és terméktervezés tanszék

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

2020. október 15.

## 1. Igénybevételek típusai (befogott rúdra)

- $R_{eh}$  – folyáshatár

- $\sigma_N = \frac{F}{A} \leq \sigma_{meg} = \frac{R_{eh}}{n}$

- húzó-nyomó

- $\Delta L = \frac{FL}{AE}$

- $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$

- $\epsilon_{kereszt} = \nu \epsilon_{hossz}$

- Hooke törvény:  $\sigma = E\epsilon$

- nyírás

- $\tau_v = \frac{4}{3} \frac{SF}{I_x s} \approx \frac{F}{A}$

- hajlítás

- $\sigma_H = \frac{M_H}{I} e$

- lehajlás:  $f = \frac{FL^3}{3IE}$

- téglalap alapú hasábra  $I_{xy} = \frac{ab^3}{12}$

- kör alapú hasábra  $I_{xy} = \frac{d^4 \pi}{64}$

- csavarás

- $\tau_t = \frac{M_t}{I_p} e$

- elcsavarodás:  $\varphi = \frac{M_t L}{I_p G}$

- kör alapú hasábra  $I_p = I_x + I_y = \frac{d^4 \pi}{32}$

- felületi nyomás

- $p = \frac{F}{A_{\perp}} \leq p_{meg}$

- összetett igénybevétel

- HMM:  $\sigma_{egy} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma_{meg}$

- Mohr  $\sigma_{egy} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_{meg}$

- húzás vagy hajlítás esetén  $\sigma = \sigma_N + \sigma_H$

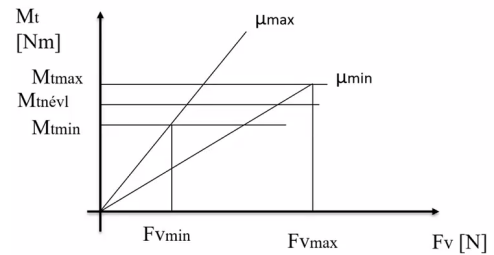
- nyírás vagy csavarás esetén csak a domináns igénybevétellel számolunk

## 2. Csavarkötések

### 2.1. Előfeszítő erő meghatározása

- adatok

- M10, metrikus anyát nyomatékkulccsal húzunk meg
- előírt meghúzási nyomaték 35 Nm
- nyomatékkulcs hibája  $\pm 5\%$
- a súrlódási tényező  $\mu \in [0.08, 0.12]$
- a menet magátmérője 7.19 mm, közepes átmérője 9.03 mm, menetemelkedése 1.5 mm
- az anya laptávolsága 16 mm
- az átmenő furat átmérője 11 mm
- Mekkora az előfeszítő erő minimális és maximális értéke?



1. ábra. Klein-diagram

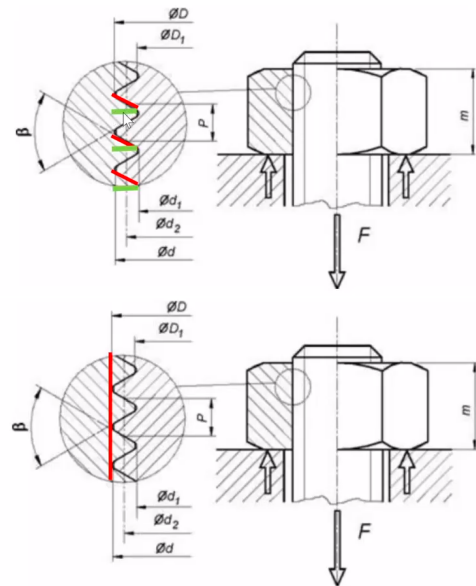
- megoldás

- $M_t = M_v + M_a$
- meneteken ébredő súrlódásból eredő nyomaték:  $M_v = F_k \frac{d_2}{2} = F_v \tan(\alpha + \rho') \frac{d_2}{2}$
- homlokfelületen fellépő súrlódásból eredő nyomaték:  $M_a = F_v \frac{d_a}{2} \mu_a$
- menetemelkedési szög:  $\alpha = \arctan \frac{P}{d_2 \pi}$
- látszólagos súrlódási félkúpszög:  $\rho' = \arctan \frac{\mu}{\cos \beta}$
- $\beta = \begin{cases} 60^\circ - \text{metrikus menet} \\ 55^\circ - \text{Whitworth/csőmenet} \\ 30^\circ - \text{trapézmenet} \end{cases}$
- $d_a = \frac{D+s}{2} = 13.5 \text{ mm}$  (  $s$  az anya laptávolsága)
- $\alpha = 3.027^\circ$
- $\rho'_{\min} = 5.28^\circ$
- csavarkötés akkor önzáró, ha  $\rho' > \alpha$
- $F_{v \min} = 19783 \text{ N}$
- $F_{v \max} = 30649 \text{ N}$

## 2.2. Anya magasság számítása

- adatok
  - M20-as csavarkötés
  - $F_v = 60000 \text{ N}$
  - a megengedhető felületi nyomás  $p_{\text{meg}} = 80 \text{ MPa}$
  - a maximális csúsztatófeszültség  $\tau_{\text{meg}} = 190 \text{ MPa}$
  - $d_2 = 18.376 \text{ mm}$ ,  $d_3 = 16.933 \text{ mm}$ ,  $P = 2.5 \text{ mm}$
  - Mekkora legyen az anya magassága?

- megoldás
  - $p = \frac{F}{A_p} \leq p_{\text{meg}}$
  - $A_p = \left( \frac{d^2 \pi}{4} - \frac{d_3^2 \pi}{4} \right) i = 750 \text{ mm}^2$
  - $i_p = 8.4 \text{ menet}$
  - $A_\tau = d \pi p i$
  - $\tau_{\text{meg}} = \frac{F}{A_\tau} \rightarrow A_\tau = 315.8 \text{ mm}^2$
  - $i_\tau = 2 \text{ menet}$
  - $\text{ceil}[\max(i_p, i_\tau)] = 9 \text{ menet}$



2. ábra. Nyomott és nyírt terület

## 2.3. Csavar méretezése megnyúlásra

- adatok
  - M16-os magragyengített csavar
  - $L$  hosszon a csavarszár átmérője  $d_5$ -re csökken
  - Mekkora nyomatékkal kell meghúzni hogy a megnyúlás  $\Delta L = 0.075 \text{ mm}$ -es legyen?
  - Mekkora a csavar minimális szakítószilárdsága?

- megoldás
  - $\Delta L = \frac{F_v L}{AE} \rightarrow F_v = AE \frac{\Delta L}{L}$
  - $A = \frac{d_5^2 \pi}{4} = 113.1 \text{ mm}^2$
  - $F_v = 18176 \text{ N}$
  - A 2.1-es alszakasz alapján  $M_t = 38844 \text{ Nmm}$
  - $\sigma = \frac{F}{A} = 160.7 \text{ MPa}$

- $\tau = \frac{M_t a_u}{I_p} e = 114.5 \text{ MPa}$
- itt vagy a tömör ( $d_3$ ), vagy a névleges ( $d_2$ ) átmérővel számolunk
- $\sigma_{\text{HMH}} = 255.3 \text{ MPa}$

### 3. Alakkal záró kötések

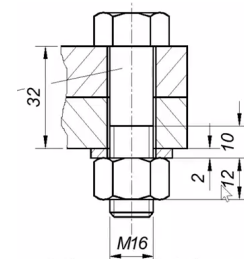
#### 3.1. Előfeszítési háromszög

- adatok

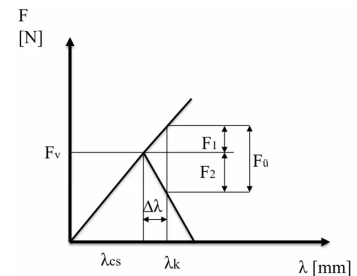
- $F_{\max} = 6000 \text{ N}$
- $\mu = 0.14$
- a közrefogott elemeket egy csőnek tekintjük,  $d_{\text{cs}} = 18 \text{ mm}$ ,  
 $D_{\text{cs}} = 45 \text{ mm}$  méretekkel
- $d_2 = 14.701 \text{ mm}$
- a kritikus lazító erő az üzemi erő kétszerese
- Mekkora a beállított előfeszítő erő?
- Mekkora lesz a csavarban ébredő legnagyobb erő?

- megoldás

- $F_{\text{ü}} = \frac{2F}{n} = 3000 \text{ N}$  (egy csavarra)
- $F_{\text{krit}} = 2F_{\text{ü}} = 6000 \text{ N}$
- $F_1 = \frac{s_{\text{cs}}}{s_{\text{cs}} + s_{\text{k}}} F_{\text{ü}}$
- $F_2 = \frac{s_{\text{k}}}{s_{\text{cs}} + s_{\text{k}}} F_{\text{ü}}$
- $s_{\text{cs}}$  és  $s_{\text{k}}$  a csavar és a közrefogott elemek rugómerevsége
- csavar rugómerevsége
  - \*  $s_{\text{cs}} = \frac{F_v}{\lambda_{\text{cs}}} = \frac{E}{\sum \frac{l_i}{A_i}}$
  - \* menetes rész
    - $A_{\text{m}} = \frac{d_2^2 \pi}{4} = 169.74 \text{ mm}^2$
    - $l_{\text{m}} = 14 \text{ mm}$
  - \* menet nélküli rész
    - $A_{\text{nm}} = \frac{d^2 \pi}{4} = 201.06 \text{ mm}^2$
    - $l_{\text{nm}} = 24 \text{ mm}$
  - \*  $s_{\text{cs}} = 1.02 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$
- közrefogott elemek rugómerevsége
  - \*  $s_{\text{k}} = \frac{A_{\text{k}} E}{l_{\text{k}}}$
  - \*  $A_{\text{k}} = 1336 \text{ mm}^2$
  - \*  $s_{\text{k}} = 8.77 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$
- $F_v = 5375 \text{ N}$



(a) Csavarkötés



(b) Előfeszítési háromszög

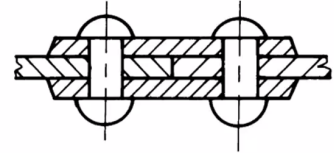
3. ábra. Csavarkötés méretezése

- $F_1 = 312 \text{ N}$
- $F_{1\max} = F_v + F_1 = 5687 \text{ N}$

### 3.2. Szegecskötés

- adatok

- a lemez vastagsága  $v = 20 \text{ mm}$
- $d_{\text{szegecs}} = 5 \text{ mm}$
- $\tau_{\max} = 70 \text{ MPa}$
- $p_{\max} = 140 \text{ MPa}$
- $\sigma_{\max} = 190 \text{ MPa}$
- a lemez szélessége  $l = 60 \text{ mm}$
- Mekkora a maximális húzóerő?



4. ábra. Hevederes szegecskötés

- megoldás (átlapolt szegecskötés, járulékos hajlítás nélkül)

- nyíró igénybevétel

$$\begin{aligned} * \tau &= \frac{T_\tau}{A_\tau} \\ * A_\tau &= \frac{d^2 \pi}{4} z = 78.5 \text{ mm}^2 \\ * F_\tau^{\max} &= \tau_{\text{meg}} A_\tau = 5495 \text{ N} \end{aligned}$$

- felületi nyomás

$$\begin{aligned} * p &= \frac{F_p}{A_p} \\ * A_p &= dvz = 400 \text{ mm}^2 \\ * F_p^{\max} &= p_{\text{meg}} A_p = 56000 \text{ N} \end{aligned}$$

- különlegességek: szállítófeszültség

$$\begin{aligned} * \text{lemez felület: } A_\sigma &= v(l - zd) = 1800 \text{ mm}^2 \\ * F_\sigma &= \sigma_{\text{meg}} A_\sigma = 152000 \text{ N} \end{aligned}$$

- $F_{\text{meg}} = \min(F_i) = F_\tau = 5495 \text{ N}$

- megoldás (hevederes szegecskötés)

- átlapoló lemezek vastagsága  $v_2 = 6 \text{ mm}$

- nyíró igénybevétel

$$\begin{aligned} * A_\tau &= 157 \text{ mm}^2 \\ * F_\tau^{\max} &= 10990 \text{ N} \end{aligned}$$

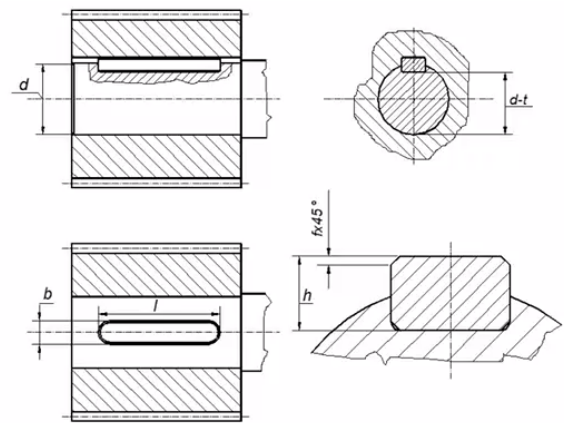
- felületi nyomás

- \*  $A_{p1} = dvz = 400 \text{ mm}^2$
- \*  $A_{p2} = 2dv_2z = 240 \text{ mm}^2$
- \*  $F_p^{\max} = p_{\text{meg}} A_p^{\min} = 31600 \text{ N}$
- különlegességek: szállítófeszültség
  - \* lemez felület:  $A_{\sigma 1} = v(l - zd) = 800 \text{ mm}^2$
  - \* lemez felület az átlapolásban:  $A_{\sigma 2} = 2v_2(l - zd) = 480 \text{ mm}^2$
  - \*  $F_{\sigma 1} = 342000 \text{ N}$
  - \*  $F_{\sigma 2} = 91200 \text{ N}$
- $F_{\text{meg}} = \min(F_i) = F_{\tau} = 10990 \text{ N}$

### 3.3. Reteszkötés

- adatok

- $d = 60 \text{ mm}$
- $l = 140 \text{ mm}$
- $b = 18 \text{ mm}$
- $h = 11 \text{ mm}$
- $t = 6 \text{ mm}$
- $f = 0.6 \text{ mm}$
- átvitt nyomaték:  $T = 1400 \text{ Nm}$
- Mekkora a kötés igénybevételei?



5. ábra. Reteszkötés méretei

- megoldás

- felületi nyomás
  - \*  $F = \frac{2T}{d} = 46667 \text{ N}$
  - \*  $A_p = (h - t - f)(l - h) = 537 \text{ mm}^2$
  - \*  $p = \frac{F}{A_p} = 86.9 \text{ MPa}$
- nyírás
  - \*  $A_{\tau} = bl = 2520 \text{ mm}^2$
  - \*  $\tau = \frac{F}{A_{\tau}} = 18.5 \text{ MPa}$
- különlegességek elemzése
  - \* a tengelyben ébredő feszültség:  $\tau = \frac{T}{I_p} \frac{d}{2} = 33 \text{ MPa}$
  - \*  $I_p = \frac{d^4 \pi}{32} = 1272.345 \text{ mm}^4$  (bevágás elhanyagolva)