

Félgömbfejű csap redukálása, zömítése

Kiinduló adatok:

a./ Geometriai méretek [mm]-ben:

A félgömb alakú fej sugára: $R := 5.5$

A zömített fej magassága: $k := R$

A redukálatlan szár átmérője: $d_0 := 5$

A redukált szár átmérője: $d_2 := 4.5$

A munkadarab hossza: $L := 44.5$

A redukált szár hossza: $L_r := 40$

A redukálás félkúpszöge: $\alpha := \alpha_{opt}$

b./ Anyagjellemzők:

Anyag minőség: C10 MSZEN 10277/2-2000

Keményedési együttható:

$c := 683.51$ [N/mm²]

Keményedési kitevő:

$n := 0.235$

Előgyártmány alakítási szilárdsága:

$k_{f0} := 226.6$ [N/mm²]

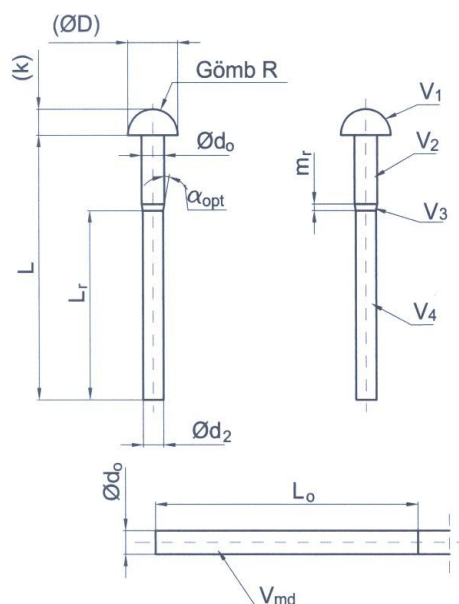
Rugalmassági modulus:

$E := 210000$ [N/mm²]

c./ Coulomb-féle súrlódási tényezők:

redukálásnál: $\mu_r := 0.1$

zömítésnél: $\mu_z := 0.1$



1./ Darabolási hossz (L_o) meghatározása:

a./ Összehasonlító alakváltozás redukálásnál:

$$\lambda_{\ddot{o}r} := 2 \cdot \ln\left(\frac{d_o}{d_2}\right) \quad \lambda_{\ddot{o}r} = 0.211$$

b./ Redukálás optimális félkúpszöge radiánban:

$$\alpha_{opt} := \sqrt{\frac{3}{2} \cdot \mu_r \cdot \lambda_{\ddot{o}r}} \quad \alpha_{opt} = 0.18 \quad [\text{rad}] \quad \text{fokban: } \alpha_{opt} = 10.19 \text{deg}$$

c./ Redukálásnál keletkező csonkakúp magassága:

$$m_r := \frac{d_o - d_2}{2 \cdot \tan(\alpha_{opt})} \quad m_r = 1.39 \quad [\text{mm}]$$

d./ Fejtérfogat:

$$V_1 := \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot k^2 \cdot (3 \cdot R - k) \quad V_1 = 348.5 \quad [\text{mm}^3]$$

$$V_{fej} := V_1$$

e./ A (d_o) átmérőjű rész hossza és térfogata:

$$V_2 := \frac{d_o^2 \cdot \pi}{4} \cdot (L - L_r - m_r) \quad V_2 = 61.04 \quad [\text{mm}^3]$$

f./ A redukálásnál keletkező csonkakúp térfogata:

$$V_3 := \frac{m_r \cdot \pi}{12} \cdot (d_o^2 + d_o \cdot d_2 + d_2^2) \quad V_3 = 24.68 \quad [\text{mm}^3]$$

g./ A redukált rész térfogata:

$$V_4 := d_2^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L_r \quad V_4 = 636.2 \quad [\text{mm}^3]$$

h./ A munkadarab térfogata:

$$V_{md} := V_{fej} + V_2 + V_3 + V_4 \quad V_{md} = 1070.3 \quad [\text{mm}^3]$$

i./ Darabolási hossz:

$$\text{Az előgyártmány keresztmetszete: } A_o := d_o^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad A_o = 19.63 \quad [\text{mm}^2]$$

$$L_o := \frac{V_{md}}{A_o} \quad L_o = 54.51 \quad [\text{mm}]$$

2./ Redukálhatóság ellenőrzése:

Ellenőrzés zömülésre:

a./ Közepes alakítási szilárdság redukálásnál:

$$k_{fkr} := \frac{C}{n+1} \cdot \lambda_{\ddot{o}r}^n \quad k_{fkr} = 383.8 \quad [\text{N/mm}^2]$$

b./ Redukálás fajlagos erőszükséglete:

$$p_r := k_{fkr} \cdot \lambda_{\ddot{o}r} \cdot \left(1 + \frac{\mu_r}{\alpha_{opt}} + \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha_{opt}}{\lambda_{\ddot{o}r}} \right) \quad p_r = 171.9 \quad [\text{N/mm}^2]$$

c./ Redukálás teljes erőszükséglete:

$$F_{red} := A_0 \cdot p_r \quad F_{red} = 3374.7 \quad [\text{N}]$$

d./ Ellenőrzés zömülésre: $k_{fo} = 226.6 \quad [\text{N/mm}^2]$ $p_r = 171.9 \quad [\text{N/mm}^2]$

$p_r < k_{fo}$ nincs zömülésveszély!

Ellenőrzés kihajlásra (megfogási mód, I. és II. eset):

a./ A keresztmetszet másodrendű nyomatéka:

$$I_2 := \frac{d_o^4 \cdot \pi}{64} \quad I_2 = 30.68 \quad [\text{mm}^4] \quad \sigma_F := k_{fo} \quad \sigma_F = 226.6 \quad [\text{N/mm}^2]$$

b./ A rugalmas és a rugalmas-képlékeny kihajlás határához tartozó karcsúság:

$$\kappa_e := \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{0.8 \cdot k_{fo}}} \quad \kappa_e = 106.93$$

c./ κ_e -hez tartozó σ_e határfeszültség $\sigma_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\kappa_e^2} \quad \sigma_e = 181.3 \quad [\text{N/mm}^2]$

d./ A befalazott hossz (II. eset): $w := L - (L_r + m_r) \quad w = 3.11 \quad [\text{mm}]$

e./ A kihajlásban résztvevő hossz (I. és II. eset): $l_{oI} := L_0 \quad l_{oII} := 2 \cdot (L - w)$

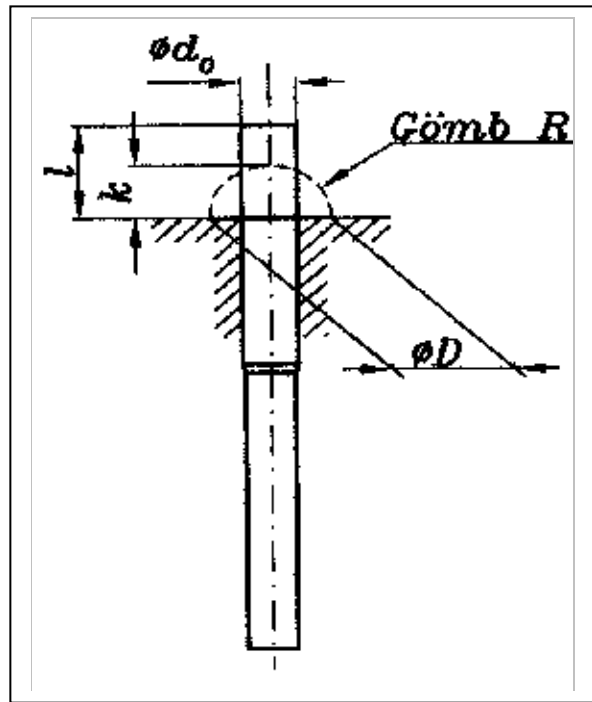
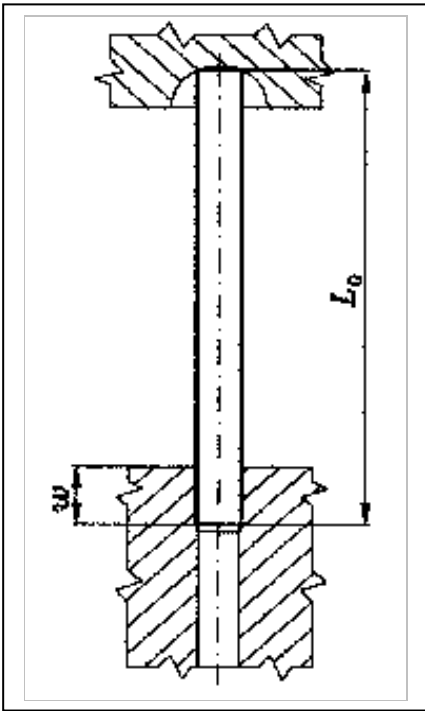
f./ A karcsúság (I. és II. eset) $\kappa_I := \sqrt{\frac{l_{oI}^2 \cdot A_0}{I_2}} \quad \kappa_{II} := \sqrt{\frac{l_{oII}^2 \cdot A_0}{I_2}}$
 $\kappa_I = 43.61 \quad \kappa_{II} = 66.23$

g./ Mivel: $\kappa_{II} > \kappa_I$, és $\kappa_{II} < \kappa_e$, ezért a $\kappa = \kappa_{II}$ és a Tetmayer egyenes szolgáltatja a határfeszültséget:

$$\kappa := \kappa_{II}$$

A Tetmayer-féle határfeszültség: $\sigma_{tT} := \sigma_F - \frac{\kappa}{\kappa_e} \cdot (\sigma_F - \sigma_e) \quad \sigma_{tT} = 198.53 \quad [\text{N/mm}^2]$

$p_r = 171.9 \quad [\text{N/mm}^2]$ **$p_r < \sigma_{tT}$ nincs kihajlásveszély!**



3./ Alaki jellemzők:

a./ Zömítendő hossz:

$$l := \frac{V_{fej}}{A_0} \quad l = 17.75 \quad [\text{mm}]$$

b./ A fej legnagyobb átmérője:

$$D := 2 \cdot R \quad D = 11 \quad [\text{mm}]$$

c./ Zömítési viszony:

$$S := \frac{l}{d_0} \quad S = 3.55$$

d./ Átmérőviszony:

$$\frac{D}{d_0} = 2.2$$

e./ Alakviszony:

$$\frac{D}{k} = 2$$

Feltételek:

- 1./ Ha $l/d_0 < 2,3$, a fej előzőmítés nélkül készre alakítható.
- 2./ Ha $2,3 < (l/d_0) < 4,5$, egy elő + egy készre zömítéssel készíthető el a fej.
- 3./ Ha $4,5 < (l/d_0) < 8$, két elő + egy készre zömítéssel készíthető el a fej.
- 4./ Ha $(D/d) > (D/d)_{meg}$, közbenső lágyítás nélkül nem alakítható készre a daral
- 5./ Ha $(D/k) > (D/k)_{meg}$, a számszám nagy felületi terhelése miatt élettartama rövid. Megvizsgálandó a megalakítás lehetősége.

4./ Előzőmítő méreteinek meghatározása:

a./ Előzőmítő által megfogott hossz

$$a := l - 2.6 \cdot d_o \quad a = 4.75 \quad [\text{mm}]$$

b./ Előzőmítő kúpszögének megválasztása:

$$\frac{l}{d_o} = 3.55 \quad \begin{array}{l} \text{ha } l/d_o < 4.0 \quad \gamma = 15 \text{ [fok]}, \\ \text{ha } 4.0 \geq l/d_o \leq 4.5 \quad \gamma = 20 \text{ [fok]}, \\ \text{ha } l/d_o > 5.0 \quad \gamma = 25 \text{ [fok]}. \end{array}$$

$$\gamma := 15 \cdot \text{deg} \quad \gamma = 0.26 \text{ rad}$$

c./ Az előzőmített darab maximális átmérője:

$$D_e := d_o \cdot \sqrt[3]{6 \cdot \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \cdot \frac{(l-a)}{d_o} + 1} \quad D_e = 7.25 \quad [\text{mm}]$$

d./ Az előzőmítő belépő átmérője: $\delta_m := 0.2 \quad [\text{mm}]$

$$D'_e := D_e - 2 \cdot \delta_m \cdot \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad D'_e = 7.2 \quad [\text{mm}]$$

e./ A zömített csonkakúp magassága:

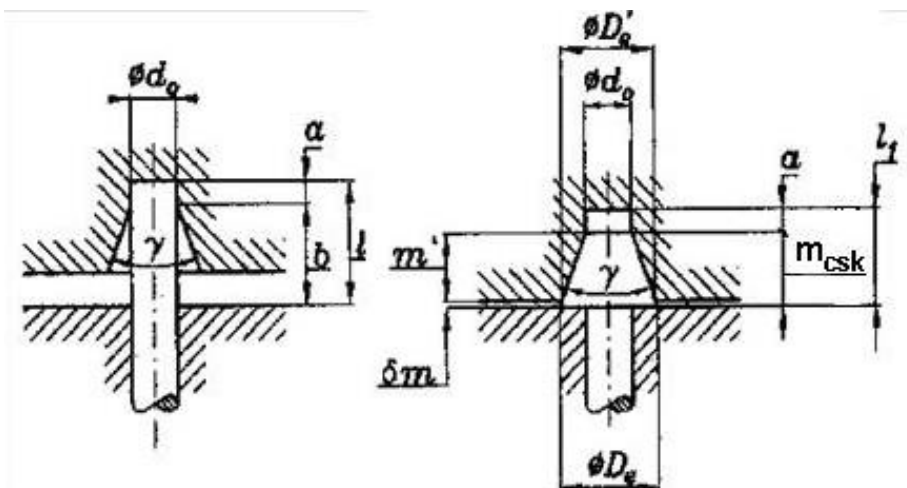
$$m_{\text{csk}} := \frac{D_e - d_o}{2 \cdot \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)} \quad m_{\text{csk}} = 8.56 \quad [\text{mm}]$$

f./ Az előzőmítő csonkakúp alakú üregének magassági mérete:

$$m' := m_{\text{csk}} - \delta_m \quad m' = 8.36 \quad [\text{mm}]$$

g./ Előzőmített darab magassági mérete:

$$l_1 := a + m_{\text{csk}} \quad l_1 = 13.31 \quad [\text{mm}]$$



5./ Előzömítés erő- és munkaszüksége:

a./ Fajlagos hosszváltozás előzömítéskor:

$$\varepsilon_e := \frac{m_{csk}}{l-a} - 1 \quad \varepsilon_e = -0.34$$

b./ Zömítési viszony előzömítéskor:

$$S_e := \frac{l-a}{d_o} \quad S_e = 2.6$$

c./ Összehasonlító alakváltozás maximális értéke előzömítéskor:

$$\lambda_{\ddot{o}e} := 2 \cdot \ln\left(\frac{D_e}{d_o}\right) \quad \lambda_{\ddot{o}e} = 0.74$$

d./ Maximális alakítási szilárdság előzömítéskor:

$$k_{fe} := c \cdot \lambda_{\ddot{o}e}^n \quad k_{fe} = 637.7 \quad [\text{N/mm}^2]$$

e./ Közepes alakítási szilárdság előzömítéskor:

$$k_{fke} := \frac{c}{n+1} \cdot \lambda_{\ddot{o}e}^n \quad k_{fke} = 516.3 \quad [\text{N/mm}^2]$$

f./ Maximális fajlagos zömítôerő előzömítéskor:

$$p_{\text{emax}} := k_{fe} \cdot \left[1 + \frac{\mu_z}{3} \cdot \frac{1}{S_e} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{1+\varepsilon_e}\right)^3} \right] \quad p_{\text{emax}} = 653 \quad [\text{N/mm}^2]$$

g./ Maximális előzömítôerő:

$$F_{\text{emax}} := p_{\text{emax}} \cdot \frac{D_e^2 \cdot \pi}{4} \quad F_{\text{emax}} = 26987 \quad [\text{N}]$$

h./ Alakítás hatásfoka előzömítéskor:

$$\eta_e := \frac{1}{1 + \frac{\mu_z}{3} \cdot \frac{1}{S_e} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{1+\varepsilon_e}\right)^3}} \quad \eta_e = 0.98$$

i./ Előzömítés ideális fajlagos munkaszüksége:

$$w_{\text{ide}} := k_{fke} \cdot \lambda_{\ddot{o}e} \quad w_{\text{ide}} = 384.3 \quad [\text{Nmm/mm}^2]$$

j./ Valóságos fajlagos munkaszükséglet előzőmítéskor:

$$w_e := \frac{w_{ide}}{\eta_e} \quad w_e = 393.5 \quad [\text{Nmm/mm}^2]$$

k./ Valóságos teljes munkaszükséglet előzőmítéskor:

$$V_e := \frac{m_{csk} \cdot \pi}{12} \cdot (D_e^2 + D_e \cdot d_o + d_o^2)$$
$$W_e := w_e \cdot V_e \quad W_e = 100444 \quad [\text{Nmm}]$$

6./ Készrezömítés erő- és munkaszükséglete:

a./ Előzőmített fej közepes átmérője:

$$d_{ek} := \sqrt{\frac{4 \cdot V_{fej}}{\pi \cdot l_1}} \quad d_{ek} = 5.77 \quad [\text{mm}]$$

b./ Fajlagos hosszváltozás készrezömítéskor: $\varepsilon_k := \frac{k}{l_1} - 1 \quad \varepsilon_k = -0.59$

c./ Zömítési viszony készrezömítéskor: $S_k := \frac{l_1}{d_{ek}} \quad S_k = 2.3$

d./ A maximális összehasonlító alakváltozás készrezömítéskor:

$$\lambda_{ökmax} := 2 \cdot \ln\left(\frac{D}{D_e}\right) \quad \lambda_{ökmax} = 0.83$$

Ellenőrzés: $2 \cdot \ln\left(\frac{D}{d_o}\right) = 1.58 \quad \lambda_{öe} + \lambda_{ökmax} = 1.58$

e./ A maximális alakítási szilárdság készrezömítéskor:

$$k_f := c \cdot (\lambda_{öe} + \lambda_{ökmax})^n \quad k_f = 760.7 \quad [\text{N/mm}^2]$$

f./ A közepes alakítási szilárdság készrezömítéskor:

$$k_{fkk} := \frac{c}{n+1} \cdot \frac{(\lambda_{öe} + \lambda_{ökmax})^{n+1} - \lambda_{öe}^{n+1}}{\lambda_{ökmax}} \quad k_{fkk} = 705 \quad [\text{N/mm}^2]$$

g./ Fajlagos erős zükséglete készrezömítés befejezésekor:

$$\rho_{\max} := k_f \cdot \left[1 + \frac{\mu_z}{3} \cdot \frac{1}{S_k} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{1 + \varepsilon_k} \right)^3} \right] \quad \rho_{\max} = 802.1 \quad [\text{N/mm}^2]$$

h./ Készrezömítés erős zükséglete:

$$F_{k\max} := \rho_{\max} \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \quad F_{k\max} = 76230 \quad [\text{N}]$$

i./ Zömítés hatásfoka készrezömítéskor:

$$\eta_k := \frac{1}{1 + \frac{\mu_z}{3} \cdot \frac{1}{S_k} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{1 + \varepsilon_k} \right)^3}} \quad \eta_k = 0.95$$

j./ Ideális fajlagos munkaszükséglet készrezömítéskor:

$$w_{idk} := k_{fkk} \cdot \lambda_{ök\max} \quad w_{idk} = 587.1 \quad [\text{Nmm/mm}^3]$$

k./ Valóságos fajlagos munkaszükséglet készrezömítéskor:

$$w_k := \frac{w_{idk}}{\eta_k} \quad w_k = 619 \quad [\text{Nmm/mm}^3]$$

l./ Valóságos tényleges munkaszükséglet készrezömítéskor:

$$W_k := w_k \cdot V_{fej} \quad W_k = 215697 \quad [\text{Nmm}]$$