

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

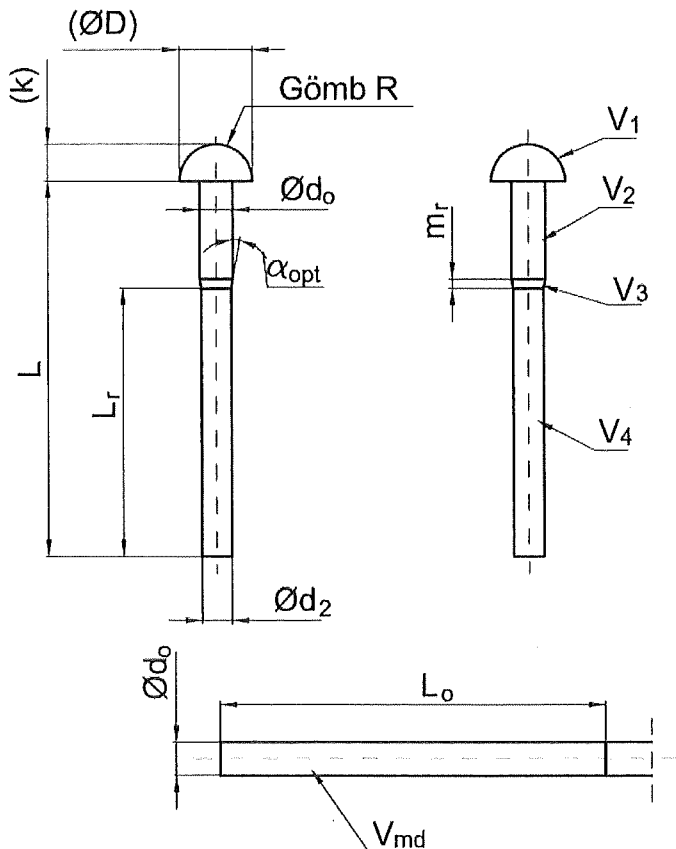
Keményedési együttható: $c := 683.51$ [N/mm²]

Keményedési kitevő: $n := 0.235$

Előgyártmány alakítási szilárdsága: $k_{fo} := 226.6$ [N/mm²]

Rugalmassági modulus: $E := 210000$ [N/mm²]

c./ Coulomb-féle súrlódási tényezők: redukálásnál: $\mu_r := 0.1$ zömítésnél: $\mu_z := 0.1$



Z1.1 ábra.

A./ REDUKÁLÁS TECHNOLÓGIA TERVEZÉSE

1./ Darabolási hossz (L_o) meghatározása: (Z1.1 ábra.)

a./ Összehasonlító alakváltozás redukálásnál:

$$\lambda_{\text{ör}} := 2 \cdot \ln\left(\frac{d_o}{d_2}\right) \quad \lambda_{\text{ör}} = 0.211$$

b./ Redukálás optimális félkúpszöge radiánban:

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

c./ Redukálásnál keletkező csonkakúp magassága:

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

d./ Fejtérfogat:

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

$$V_{\text{fej}} := V_1$$

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

$$w := L - L_r - m_r \quad w = 3.11 \quad [\text{mm}]$$

$$V_2 := \frac{d_o^2 \cdot \pi}{4} \cdot w \quad V_2 = 61.04 \quad [\text{mm}^3]$$

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:

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

i./ Darabolási hossz:

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

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

2./ Redukálhatóság ellenőrzése:

Ellenőrzés zömülésre:

a./ Közepes alakítási szilárdság redukálásnál:

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

b./ Redukálás fajlagos erőszükséglete:

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

c./ Redukálás teljes erőszükséglete:

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

d./ Ellenőrzés zömülésre:

$$k_{fo} = 226.6 \quad [\text{N/mm}^2] \quad p_r = 171.9 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$p_r < k_{fo}$ nincs zömülésveszély!

Ellenőrzés kihajlásra (Z1.2 ábra) (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 $\sigma_e := \frac{\pi^2 \cdot E}{\kappa_e^2} \quad \sigma_e = 181.3 \quad [\text{N/mm}^2]$

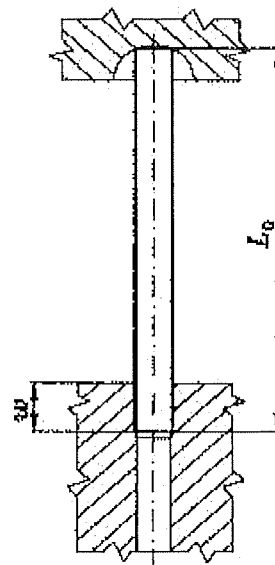
d./ A befalazott hossz (II. eset): $w := L - (L_r + m_r) \quad w = 3.11 \quad [\text{mm}]$

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

f./ A karcsúság (I. és II. eset): $\kappa_I := \sqrt{\frac{l_{oI}^2 \cdot A_o}{I_2}} \quad \kappa_{II} := \sqrt{\frac{l_{oII}^2 \cdot A_o}{I_2}}$
 $\kappa_I = 43.61 \quad \kappa_{II} = 82.25$

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

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



Z1.2 ábra.

A Tetmayer-féle határfeszültség: $\sigma_{tT} := \sigma_F - \frac{\kappa}{\kappa_e} \cdot (\sigma_F - \sigma_e)$ $\sigma_{tT} = 191.74$ [N/mm²]

$p_r = 171.9$ [N/mm²]

$p_r < \sigma_{tT}$ nincs kihajlásveszély!

B./ ZÖMÍTÉS TECHNOLÓGIA TERVEZÉSE:

1./ Alaki jellemzők: (Z1.3 ábra.)

a./ Zömítendő hossz: $l := \frac{V_{fej}}{A_0}$ $l = 17.75$ [mm]

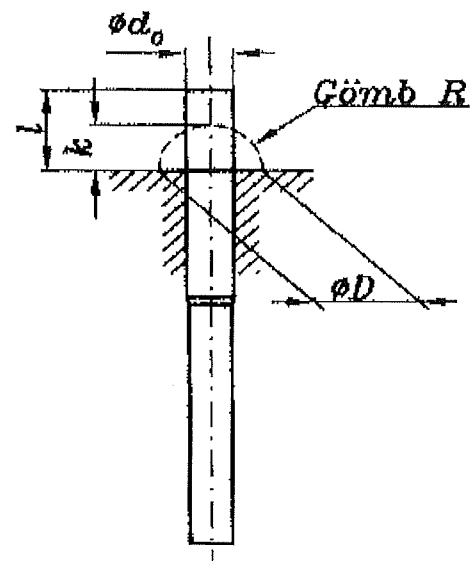
b./ A fej legnagyobb átmérője: $D := 2 \cdot R$ $D = 11$ [mm]

c./ Zömítési viszony: $S := \frac{l}{d_0}$ $S = 3.55$

d./ Átmérőviszony: e./ Alakviszony:

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

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



Z1.3 ábra.

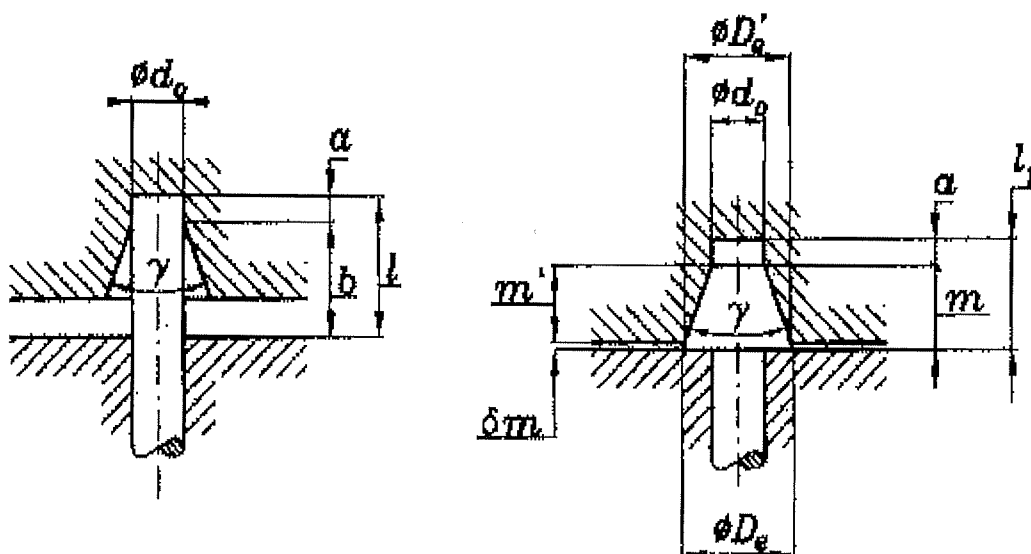
Feltételek:

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

a./ Mivel $2,3 < (l/d_0) \leq 4,5$, ezért a fej **egy elő + egy készrezömítéssel** alakítható ki.

b./ A munkadarab anyagának széntartalma ($C \sim 0,1\%$) ezért: $(D/d_0)_{meg} = 2,7$ és $(D/k)_{meg} = 7,0$, tehát a fej zömítése során repedés képződéstől, valamint a szerszám túlzott felületi terhelésétől nem kell tartani.

2./ Előzömítő méreteinek meghatározása (Z1.4 ábra):



Z1.4 ábra.

a./ Előzőmítő által megfogott hossz: $a := l - 2.6 \cdot d_o$ $a = 4.75$ [mm]

b./ Előzőmítő kúpszögének megválasztása:

$$\frac{l}{d_o} = 3.55 \quad \begin{array}{ll} \text{ha } 2,3 < l/d_o < 4.0 & \gamma = 15 \text{ [fok]}, \\ \text{ha } 4.0 \leq l/d_o \leq 5.0 & \gamma = 20 \text{ [fok]}, \\ \text{ha } 5.0 < l/d_o \leq 8.0 & \gamma = 25 \text{ [fok]}. \end{array}$$

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

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: $\delta_m := 0.2$ [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: $m_{\text{csk}} := \frac{D_e - d_o}{2 \cdot \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$ $m_{\text{csk}} = 8.56$ [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: $l_1 := a + m_{\text{csk}}$ $l_1 = 13.31$ [mm]

3./ Előzőmítés erő- és munkaszükséglete:

a./ Fajlagos hosszváltozás előzőmítéskor: $\varepsilon_e := \frac{m_{\text{csk}}}{l-a} - 1$ $\varepsilon_e = -0.34$

b./ Zömítési viszony előzőmítéskor: $S_e := \frac{l-a}{d_o}$ $S_e = 2.6$

c./ Összehasonlító alakváltozás maximális értéke előzőmítéskor:

$$\lambda_{\text{öe}} := 2 \cdot \ln\left(\frac{D_e}{d_o}\right) \quad \lambda_{\text{öe}} = 0.74$$

d./ Maximális alakítási szilárdság előzőmítéskor:

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

e./ Közepes alakítási szilárdság előzőmítéskor:

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

f./ Maximális fajlagos zömítôerô elôzömítéskor:

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

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

h./ Alakítás hatásfoka elôzömítéskor: $\eta_e := \frac{1}{1 + \frac{\mu_z}{3} \cdot \frac{1}{S_e} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{1 + \varepsilon_e} \right)^3}} \quad \eta_e = 0.98$

i./ Elôzömítés ideális fajlagos munkaszükséglete:

$$w_{\text{ide}} := k_{\text{fke}} \cdot \lambda_{\text{öe}} \quad w_{\text{ide}} = 384.3 \quad [\text{Nmm/mm}^3]$$

j./ Valóságos fajlagos munkaszükséglet elôzömítéskor:

$$w_e := \frac{w_{\text{ide}}}{\eta_e} \quad w_e = 393.5 \quad [\text{Nmm/mm}^3]$$

k./ Valóságos teljes munkaszükséglet elôzömítéskor:

$$V_e := \frac{m_{\text{csk}} \cdot \pi}{12} \cdot (D_e^2 + D_e \cdot d_o + d_o^2)$$

$$W_e := w_e \cdot V_e \quad W_e = 100444 \quad [\text{Nmm}]$$

4./ Készrezömítés erô- és munkaszükséglete:

a./ Elôzömített fej közepes átmérôje:

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

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

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

d./A maximális összehasonlító alakváltozás készrezömítéskor:

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

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

e./A maximális alakítási szilárdság készrezömítéskor:

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

f./A közepes alakítási szilárdság készrezömítéskor:

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

g./Fajlagos erőszükséglete készrezömítés befejezésekor:

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

h./Készrezömítés erőszükséglete:

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

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:

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

k./Valóságos fajlagos munkaszükséglet készrezömítéskor:

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

l./Valóságos tényleges munkaszükséglet készrezömítéskor:

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