

Falredukciós húzás technológia tervezése:

[N=3, l=2]

N - húzások száma,
l - iterációk száma**BA** **Bemenő adatok:**A húzott csésze belső átmérője: $d_b := 60$ [mm]Falvastagság a falvékonyítás előtt: $s_o := 0.45$ [mm]Falvastagság falvékonyítás után: $s_v := 0.14$ [mm]A csésze magasság a falvékonyítás után: $H := 120$ [mm]Folyásgörbe egyenlet paraméterei: Anyagminőség: **AlMgSi1**

$$k_f := c \cdot \lambda_{\ddot{o}}^n$$

Keményedési együttható: $c := 222.89$ [N/mm²]Keményedési kitevő: $n := 0.1420$ Súrlódási tényező a húzógyűrűn: $\mu_1 := 0.08$ Súrlódási tényező a húzóbéllyegen: $\mu_2 := 0.08$ Elvárt biztonsági tényező: $BE := 1.5$ A megengedhető legnagyobb különbség a biztonsági tényezők között: $\Delta BT_{meg} := 0.01$ **Az alakváltozási állapot kezelhető közelítően síkalakváltozásként, vagy nem?****Összehasonlító alakváltozás** a csészepalástban a falredukálás után (**egzakt** meghatározás):

A radiális irányú valódi nyúlás: $\lambda_r := \ln\left(\frac{s_v}{s_o}\right)$ $\lambda_r = -1.168$

A tangenciális irányú valódi nyúlás: $\lambda_t := \ln\left(\frac{d_b + s_v}{d_b + s_o}\right)$ $\lambda_t = -0.005$

Az axiális irányú valódi nyúlás: $\lambda_z := -(\lambda_r + \lambda_t)$ $\lambda_z = 1.173$

$$\lambda_{\ddot{o}} := \sqrt{\frac{2}{3} \cdot (\lambda_r^2 + \lambda_t^2 + \lambda_z^2)}$$
 $\lambda_{\ddot{o}} = 1.3512$

Összehasonlító alakváltozás a csészepalástban a falredukálás után (**közelítő** meghatározás):**Alakváltozási állapottól függő tényező** (β) meghatározása: $T=1\%$ $t := 0.01$

$$\alpha := \frac{\lambda_z}{\lambda_r} \quad \beta := \frac{1 - \alpha}{\sqrt{3 \cdot \alpha^2 + 3 \cdot \alpha + 3}} \quad \beta_{krit} := \frac{2}{\sqrt{3}} - \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1\right) \cdot t$$

$$\alpha = -1.004 \quad \beta = 1.15469 \quad \beta_{krit} = 1.15315$$

$\beta > \beta_{krit}$ értékéből látható, hogy a **feladat közel tiszta síkalakválogatási állapotként kezelhető**.
Ekkor az összehasonlító alakváltozás az alakítás előtti és utáni keresztmetszetekkel is (közelítően) meghatározható.

Csészepalást keresztmetszete a falredukálás előtt: $A_o := (d_b + s_o) \cdot \pi \cdot s_o$

$A_o = 85.5 \quad [\text{mm}^2]$

Csészepalást keresztmetszete a falredukálás után: $A_v := (d_b + s_v) \cdot \pi \cdot s_v$

$A_v = 26.45 \quad [\text{mm}^2]$

$\lambda_{\ddot{o}MAX} := \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \ln\left(\frac{A_o}{A_v}\right) \quad \lambda_{\ddot{o}MAX} = 1.3542 \quad \text{Jó közelítéssel: } \lambda_{\ddot{o}MAX} \sim \lambda_{\ddot{o}}$

SR1 Húzás egy lépésben: $N := 1$

Az egy lépésben végzett húzás technológiai adatainak meghatározása:

Optimális félkúpszög: $\alpha_{opt} := \sqrt{2 \cdot \mu_1 \cdot \lambda_{\ddot{o}MAX}}$

$\alpha_{opt} = 0.465 \text{ rad} \quad \alpha_{opt} = 26.7 \text{ deg}$

A redukált csészefal alakítási szilárdsága: $k_f := c \cdot \lambda_{\ddot{o}MAX}^n$

$k_f = 232.7 \quad [\text{N/mm}^2]$

Közepes alakítási szilárdság a képlékeny zónában: $k_{fk} := \frac{c}{n+1} \cdot \lambda_{\ddot{o}MAX}^n$

$k_{fk} = 203.8 \quad [\text{N/mm}^2]$

A kihúzott **csészefalat terhelő húzófeszültség:**

$\sigma_f := k_{fk} \cdot \left[\left(1 + \frac{2 \cdot \mu_1}{\sin(2 \cdot \alpha_{opt})} - \frac{\mu_2}{\tan(\alpha_{opt})} \right) \cdot \lambda_{\ddot{o}MAX} + \frac{\alpha_{opt}}{2} \right]$

$\sigma_f = 334.4 \quad [\text{N/mm}^2]$

A biztonsági tényező: $BT := \frac{k_f}{\sigma_f}$

$BT = 0.696$

A biztonsági tényező értéke **BT < BE**, ezért a falvékonyítás **N = 1 lépésben nem végezhető el!**

SR2 Húzás $N = N + 1$ lépésben: $N := N + 1$ $N = 2$ $i := 1..N$

SR3 $\lambda_{\text{öMAX}}$ felosztása "N" egyenlő részre:

Összehasonlító alakváltozás az i.-ik húzási fokozatban: $\lambda_{\text{ö}_i} := \frac{\lambda_{\text{öMAX}}}{N}$

$$\lambda_{\text{ö}_i} =$$

0.677
0.677

A teljes összehasonlító alakváltozás az i.-ik húzás után: $\lambda_{\text{öt}_i} := \sum_{i=1}^i \lambda_{\text{ö}_i}$

$$\lambda_{\text{öt}_i} =$$

0.677
1.354

SR4 A húzások technológiai adatainak meghatározása az egyes húzási fokozatokban:

Optimális félkúpszög az i.-ik húzási fokozatban: $\alpha_{\text{opt}_i} := \sqrt{2 \cdot \mu_1 \cdot \lambda_{\text{ö}_i}}$

$\alpha_{\text{opt}_i} =$ <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>0.329</td></tr> <tr><td>0.329</td></tr> </table> [rad]	0.329	0.329	$\alpha_{\text{opt}_i} =$ <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>18.9</td></tr> <tr><td>18.9</td></tr> </table> deg	18.9	18.9
0.329					
0.329					
18.9					
18.9					

A csészepalást alakítási szilárdsága az i.-k húzás után: $k_{f_i} := c \cdot (\lambda_{\text{öt}_i})^n$

$$k_{f_i} =$$

210.9
232.7

 [N/mm²]

Közepes alakítási szilárdság az i.-ik húzási fokozat képlékeny zónájában:

$$k_{fk_i} := \frac{c}{n+1} \cdot \frac{(\lambda_{\text{öt}_i})^{n+1} - (\lambda_{\text{öt}_{i-1}})^{n+1}}{\lambda_{\text{öt}_i} - \lambda_{\text{öt}_{i-1}}}$$

$$k_{fk_i} =$$

184.7
222.9

 [N/mm²]

A kihúzott **csészefalat terhelő húzófeszültség** az i.-ik húzási fokozatban:

$$\sigma_{f_i} := k_{fk_i} \cdot \left[\left(1 + \frac{2 \cdot \mu_1}{\sin(2 \cdot \alpha_{opt_i})} - \frac{\mu_2}{\tan(\alpha_{opt_i})} \right) \cdot \lambda_{\ddot{o}_i} + \frac{\alpha_{opt_i}}{2} \right]$$

$$\sigma_{f_i} =$$

158.8	[N/mm ²]
191.7	

A **biztonsági tényező** i.-ik húzási fokozatban: $BT_i := \frac{k_{f_i}}{\sigma_{f_i}}$

$$BT_i =$$

1.328
1.214

A biztonsági tényezők átlaga: $BT_{\text{átl}} := \frac{\sum_i BT_i}{N}$

$$BT_{\text{átl}} = 1.271$$

N=2 lépésben a húzás nem végezhető el, mivel: $BT_{\text{átl}} < BE$

SR2 Húzás $N = N + 1$ lépésben: $N := N + 1$ $i := 1..N$ $N = 3$

SR3 $\lambda_{\ddot{o}MAX}$ felosztása "N" egyenlő részre:

Összehasonlító alakváltozás az i.-ik húzási fokozatban: $\lambda_{\ddot{o}_i} := \frac{\lambda_{\ddot{o}MAX}}{N}$

$$\lambda_{\ddot{o}_i} =$$

0.451
0.451
0.451

A **teljes** összehasonlító alakváltozás az i.-ik húzásnál: $\lambda_{\ddot{o}t_i} := \sum_{i=1}^i \lambda_{\ddot{o}_i}$

$$\lambda_{\ddot{o}t_i} =$$

0.451
0.903
1.354

SR4 A húzások technológiai adatainak meghatározása az egyes húzási fokozatokban:

Optimális félkúpszög az i.-ik húzási fokozatban:

$$\alpha_{\text{opt}_i} := \sqrt{2 \cdot \mu_1 \cdot \lambda_{\text{ö}_i}}$$

$$\alpha_{\text{opt}_i} =$$

0.269	rad
0.269	
0.269	

$$\alpha_{\text{opt}_i} =$$

15.4	deg
15.4	
15.4	

A csészepalást **alakítási szilárdsága** az i.-ik húzás után:

$$k_{f_i} := c \cdot (\lambda_{\text{öt}_i})^n$$

$$k_{f_i} =$$

199.1	[N/mm ²]
219.7	
232.7	

Közepes alakítási szilárdság az i.-ik húzási fokozat képlékeny zónájában:

$$k_{fk_i} := \frac{c}{n+1} \cdot \frac{(\lambda_{\text{öt}_i})^{n+1} - (\lambda_{\text{öt}_{i-1}})^{n+1}}{\lambda_{\text{öt}_i} - \lambda_{\text{öt}_{i-1}}}$$

$$k_{fk_i} =$$

174.3	[N/mm ²]
210.4	
226.6	

A kihúzott **csészefalat terhelő húzófeszültség** az i.-ik húzási fokozatban:

$$\sigma_{f_i} := k_{fk_i} \cdot \left[\left(1 + \frac{2 \cdot \mu_1}{\sin(2 \cdot \alpha_{\text{opt}_i})} - \frac{\mu_2}{\tan(\alpha_{\text{opt}_i})} \right) \cdot \lambda_{\text{ö}_i} + \frac{\alpha_{\text{opt}_i}}{2} \right]$$

$$\sigma_{f_i} =$$

103.8	[N/mm ²]
125.3	
135	

A biztonsági tényező az i.-ik húzási fokozatban: $BT_i := \frac{k_{f_i}}{\sigma_{f_i}}$

$BT_i =$

1.917
1.753
1.724

A biztonsági tényezők átlaga: $BT_{atl} := \frac{\sum_i BT_i}{N}$

$BT_{atl} = 1.798$

N=3 lépésben a húzás elvégezhető, mivel: $BT_{atl} > BE$ $BE = 1.5$

A maximális és minimális biztonsági tényező közötti **különbség** meghatározása: ("sv" segédváltozó):

$sv := \text{submatrix}(BT, 1, N, 0, 0)$ $BT_{max} := \max(sv)$ $BT_{min} := \min(sv)$

$sv =$

1.917
1.753
1.724

$BT_{max} = 1.917$ $BT_{min} = 1.724$

$\Delta BT_{max} := BT_{max} - BT_{min}$

$\Delta BT_{max} = 0.193$ $\Delta BT_{meg} = 0.01$

A teljes összehasonlító alakváltozás ($\lambda_{\text{öMAX}}$) egyenletes felosztását úgy kell módosítani, hogy a $\Delta BT_{max} \leq \Delta BT_{meg}$ feltétel teljesüljön!

=====

A biztonsági tényezők kiegyenlítése:

SR5 $\lambda_{\text{öMAX}}$ felosztásának módosítása: (első iteráció)

Módosító tényezők a húzási fokozatokhoz: $m_i := \frac{BT_i}{BT_{atl}}$

$m_i =$

1.066
0.975
0.959

Az egyes húzási fokozatok összehasonlító alakváltozásának módosítása: $\lambda'_{\text{ö}_i} := \lambda_{\text{ö}_i} \cdot m_i$

$\lambda'_{\text{ö}_i} =$

0.481
0.44
0.433

A **teljes** összehasonlító alakváltozás az i.-ik húzás után: $\lambda'_{\text{öt}_i} := \sum_{i=1}^i \lambda'_{\text{ö}_i}$

$$\lambda'_{\text{öt}_i} =$$

0.481
0.921
1.354

A korrekciós tényező: $k := \frac{\lambda_{\text{öMAX}}}{\lambda_{\text{öt}_N}}$ $\lambda_{\text{öMAX}} = 1.35417108$ $\lambda_{\text{öt}_N} = 1.35417108$

$$k = 1$$

Mivel $k=1$, **nem kell korrekciót végezni!**

$$\lambda_{\text{ö}_i} := \lambda'_{\text{ö}_i}$$

$$\lambda_{\text{öt}_i} := \lambda'_{\text{öt}_i}$$

SR4 A húzások technológiai adatainak meghatározása az egyes húzási fokozatokban:

Optimális félkúpszög az i.-ik húzási fokozatban: $\alpha_{\text{opt}_i} := \sqrt{2 \cdot \mu_1 \cdot \lambda_{\text{ö}_i}}$

$$\alpha_{\text{opt}_i} =$$

0.277	rad
0.265	
0.263	

$$\alpha_{\text{opt}_i} =$$

15.9	deg
15.2	
15.1	

A csészepalást **alakítási szilárdsága** az i.-ik húzás után: $k_{f_i} := c \cdot (\lambda_{\text{öt}_i})^n$

$$k_{f_i} =$$

200.9	
220.3	[N/mm ²]
232.7	

Közepes alakítási szilárdság az i.-ik húzási fokozat képlékeny zónájában:

$$k_{fk_i} := \frac{c}{n+1} \cdot \frac{(\lambda_{\text{öt}_i})^{n+1} - (\lambda_{\text{öt}_{i-1}})^{n+1}}{\lambda_{\text{öt}_i} - \lambda_{\text{öt}_{i-1}}}$$

$$k_{fk_i} =$$

175.9	
211.5	[N/mm ²]
226.8	

A kihúzott **csészefalat terhelő húzófeszültség** az i.-ik húzási fokozatban:

$$\sigma_{f_i} := k_{fk_i} \cdot \left[\left(1 + \frac{2 \cdot \mu_1}{\sin(2 \cdot \alpha_{opt_i})} - \frac{\mu_2}{\tan(\alpha_{opt_i})} \right) \cdot \lambda_{\ddot{o}_i} + \frac{\alpha_{opt_i}}{2} \right]$$

$$\sigma_{f_i} =$$

111	[N/mm ²]
123.2	
130.2	

A **biztonsági tényező** i.-ik húzási fokozatban:

$$BT_i := \frac{k_{f_i}}{\sigma_{f_i}}$$

$$BT_i =$$

1.81
1.789
1.788

A biztonsági tényezők átlaga: $BT_{atl} := \frac{\sum_i BT_i}{N}$

$$BT_{atl} = 1.796$$

A maximális és minimális biztonsági tényező közötti **különbség** meghatározása:

$$sv := \text{submatrix}(BT, 1, N, 0, 0)$$

$$BT_{max} := \max(sv)$$

$$BT_{min} := \min(sv)$$

$$sv = \begin{pmatrix} 1.81 \\ 1.789 \\ 1.788 \end{pmatrix}$$

$$BT_{max} = 1.81$$

$$BT_{min} = 1.788$$

$$\Delta BT_{max} := BT_{max} - BT_{min}$$

$$\Delta BT_{meg} = 0.01$$

$$\Delta BT_{max} = 0.022$$

$$\Delta BT_{meg} = 0.01$$

A biztonsági tényezők kiegyenlítetttsége **nem megfelelő**, mert: $\Delta BT_{max} > \Delta BT_{meg}$

A teljes összehasonlító alakváltozás ($\lambda_{\ddot{o}MAX}$) felosztását tovább kell módosítani, hogy a $\Delta BT_{max} \leq \Delta BT_{meg}$ feltétel teljesüljön!

SR7 $\lambda_{\text{öMAX}}$ felosztásának módosítása:

(második iteráció)

Módosító tényezők az egyes húzási fokozatokhoz: $m_i := \frac{BT_i}{BT_{at1}}$ $m_i =$

1.008
0.9963
0.9957

Az i.-ik húzási fokozat összehasonlító alakváltozásának módosítása: $\lambda'_{\text{ö}_i} := \lambda_{\text{ö}_i} \cdot m_i$ $\lambda'_{\text{ö}_i} =$

0.485
0.438
0.431

A **teljes** összehasonlító alakváltozások az i.-ik húzási fokozat után: $\lambda'_{\text{öt}_i} := \sum_{i=1}^i \lambda'_{\text{ö}_i}$ $\lambda'_{\text{öt}_i} =$

0.485
0.924
1.355

A korrekciós tényező: $k := \frac{\lambda_{\text{öMAX}}}{\lambda'_{\text{öt}_N}}$ $\lambda_{\text{öMAX}} = 1.35417$ $\lambda'_{\text{öt}_N} = 1.35453$ $k = 0.999735$ **Korrekció szükséges!**A **korrigált** összehasonlító alakváltozás az i.-ik húzási fokozatban: $\lambda''_{\text{ö}_i} := \lambda'_{\text{ö}_i} \cdot k$ $\lambda''_{\text{ö}_i} =$

0.485
0.438
0.431

A **korrigált teljes** összehasonlító alakváltozás az i.-ik húzás után: $\lambda''_{\text{öt}_i} := \sum_{i=1}^i \lambda''_{\text{ö}_i}$ $\lambda''_{\text{öt}_i} =$

0.485
0.923
1.354

 $\lambda''_{\text{öt}_N} = 1.35417$ $\lambda_{\text{ö}_i} := \lambda''_{\text{ö}_i}$ $\lambda_{\text{öt}_i} := \lambda''_{\text{öt}_i}$

SR4 A húzások technológiai adatainak meghatározása az i.-ik húzási fokozatban:

Optimális félkúpszög az i.-ik húzási fokozatban:

$$\alpha_{\text{opt}_i} := \sqrt{2 \cdot \mu_1 \cdot \lambda_{\text{ö}_i}}$$

$$\alpha_{\text{opt}_i} =$$

0.279	rad
0.265	
0.263	

$$\alpha_{\text{opt}_i} =$$

15.96	deg
15.17	
15.04	

A csészepalást **alakítási szilárdsága** az i.-ik húzás után:

$$k_{f_i} := c \cdot (\lambda_{\text{öt}_i})^n$$

$$k_{f_i} =$$

201.1	[N/mm ²]
220.4	
232.7	

Közepes **alakítási szilárdság** az i.-ik húzási fokozat képlékeny zónájában:

$$k_{fk_i} := \frac{c}{n+1} \cdot \frac{(\lambda_{\text{öt}_i})^{n+1} - (\lambda_{\text{öt}_{i-1}})^{n+1}}{\lambda_{\text{öt}_i} - \lambda_{\text{öt}_{i-1}}}$$

$$k_{fk_i} =$$

176.1	[N/mm ²]
211.6	
226.9	

A kihúzott **csészefalat terhelő húzófeszültség** az i.-ik húzási fokozatban:

$$\sigma_{f_i} := k_{fk_i} \cdot \left[\left(1 + \frac{2 \cdot \mu_1}{\sin(2 \cdot \alpha_{\text{opt}_i})} - \frac{\mu_2}{\tan(\alpha_{\text{opt}_i})} \right) \cdot \lambda_{\text{ö}_i} + \frac{\alpha_{\text{opt}_i}}{2} \right]$$

$$\sigma_{f_i} =$$

111.9	[N/mm ²]
122.8	
129.6	

A biztonsági tényező i.-ik húzási fokozatban:

$$BT_i := \frac{k_{f_i}}{\sigma_{f_i}}$$

$BT_i =$

1.7974
1.7947
1.7949

A biztonsági tényezők átlaga: $BT_{atl} := \frac{\sum_i BT_i}{N}$

$$BT_{atl} = 1.796$$

A maximális és minimális biztonsági tényező közötti **különbség** meghatározása:

$$sv := \text{submatrix}(BT, 1, N, 0, 0)$$

$$BT_{max} := \max(sv)$$

$$BT_{min} := \min(sv)$$

$$sv = \begin{pmatrix} 1.7974 \\ 1.7947 \\ 1.7949 \end{pmatrix}$$

$$BT_{max} = 1.7974$$

$$BT_{min} = 1.7947$$

$$\Delta BT_{max} := BT_{max} - BT_{min}$$

$$\Delta BT_{max} = 0.0027$$

$$\Delta BT_{meg} = 0.01$$

A biztonsági tényezők kiegyenlítettége **megfelelő**, mert: $\Delta BT_{max} < \Delta BT_{meg}$, valamint $BT_i > BE$

Ezzel az összehasonlító alakváltozás felosztással számított **technológiai paraméterek elfogadhatók!**

SR6 További technológiai adatok meghatározása:

Csészepalást keresztmetszete az i.-ik húzási fokozat után:

$$A_i := A_0 \cdot e^{-\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \lambda_{\dot{o}_i}\right)}$$

$A_i =$

56.15
38.41
26.45

[mm²]

A húzás erőszükséglete (a bélyegerő) az i.-ik húzási fokozatban:

$$F_{b_i} := k_{fk_i} \cdot A_i \cdot \left[\left(1 + \frac{2 \cdot \mu_1}{\sin(2 \cdot \alpha_{opt_i})} \right) \cdot \lambda_{\dot{o}_i} + \frac{\alpha_{opt_i}}{2} \right]$$

$F_{b_i} =$

7625
5768
4199

[N]

A kihúzott csészefalat terhelő húzóerő az i.-ik húzási fokozatban:

$$F_{f_i} := \sigma_{f_i} \cdot A_i$$

$$F_{f_i} =$$

6283.1	[N]
4717.1	
3429.2	

Az i.-ik fokozatban a csészefalat terhelő húzóerő kritikus értéke:

$$F_{krit_i} := k_{f_i} \cdot A_i$$

$$F_{krit_i} =$$

11293.1	[N]
8465.8	
6155	

Az i.-ik húzások után kialakuló csésze külső átmérője: $d_{k_i} := \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_i + d_b^2}$

$$d_{k_i} =$$

60.593	[mm]
60.406	
60.28	

Falvastagság az i.-ik húzás után: $s_i := \sqrt{\frac{A_i}{\pi} + \left(\frac{d_b}{2}\right)^2} - \frac{d_b}{2}$

$$s_i =$$

0.296	[mm]
0.203	
0.14	

A csészepalást térfogata: $V_p := A_v \cdot H$

$$V_p = 3174.1 \quad [\text{mm}^3]$$

A csészepalást magassága az i.-ik húzás után: $H_i := \frac{V_p}{A_i}$

$$H_i =$$

56.5	[mm]
82.6	
120	

PRN2 Az "N" lépésben végzett húzás technológiai adatainak nyomtatása:

Az optimális félkúpszög az i.-ik húzási fokozatokban: $\alpha_{opt_i} =$

0.279	rad	15.96	deg
0.265		15.17	
0.263		15.04	

A húzott csésze külső átmérője az i.-ik húzási fokozatban: $d_{k_i} =$

60.59	[mm]
60.41	
60.28	

Az i.-ik húzás után a falvastagság: $s_i =$

0.296	[mm]
0.203	
0.14	

Az i.-ik húzás után a csészefal keresztmetszete: $A_i =$

56.2	[mm ²]
38.4	
26.5	

A csészefal alakítási szilárdsága az i.-ik húzási fokozat után: $k_{f_i} =$

201.1	[N/mm ²]
220.4	
232.7	

A húzóerő (**bélyegerő**) az i.-ik húzási fokozatban: $F_{b_i} =$

7625	[N]
5768	
4199	

A csészefalat terhelő kritikus húzóerő az i.-ik húzási fokozatban: $F_{krit_i} =$

11293.1	[N]
8465.8	
6155	

A csészefalat terhelő húzóerő az i.-ik húzási fokozatban:

$$F_{f_i} =$$

6283.1
4717.1
3429.2

[N]

A biztonsági tényező az i.-ik húzási fokozatban:

$$BT_i =$$

1.797
1.795
1.795

Az elvárt biztonsági tényező: $BE = 1.5$

Falredukciós húzás munkaszükségletének meghatározása az egyes húzási fokozatokban:

A csészepalást térfogatában elnyelődő munka:

- 1./ az ideális alakváltozás munkaszükségletének,
 - 2./ a matrica kúpfelületen létrejövő súrlódás munkaszükségletének és az
 - 3./ elemi szálak kettős ajlításához szükséges munkaszükséglet
- összege:

A csészepalástban az i.-ik húzási fokozatban elnyelt **ideális munka**:

$$W_{id_i} := k_{fk_i} \cdot \lambda_{\ddot{o}_i} \cdot V_p$$

$$\frac{W_{id_i}}{1000} =$$

271.1
294.4
310.3

[Nm]

Az i.-ik húzásnál akúpfelületen létrejövő **súrlódás munkaszükséglete**:

$$W_{sk_i} := k_{fk_i} \cdot \lambda_{\ddot{o}_i} \cdot \frac{1}{\sin(2 \cdot \alpha_{opt_i})} \cdot V_p$$

$$\frac{W_{sk_i}}{1000} =$$

512.7
582.8
618.9

[Nm]

Az i.-ik húzásnál az elemi szálak **kettős hajlításának munkaszükséglete**: $W_{h_i} := k_{fk_i} \cdot \alpha_{opt_i} \cdot V_p$

$$\frac{W_{h_i}}{1000} =$$

155.7
177.9
189.1

[Nm]

Az i.-ik fokozat teljes munkaszükséglete:

$$W_i := W_{id_i} + W_{sk_i} + W_{h_i}$$

$$\frac{W_i}{1000} =$$

939.6
1055.1
1118.3

[Nm]

Az "N" számú fokozat együttes munkaszükséglete: $W_{max} := \sum_i W_i$

$$\frac{W_{max}}{1000} = 3113 \quad [Nm]$$

Feltételezve, hogy a sajtó percenkénti löketszáma $n = 150$ löket/perc, (2,5 darab készül el másodpercenként) akkor egy alakítási ciklus időtartama 0,4 sec. Figyelembe véve, hogy az alakítás az alakítási ciklus első felében (nyomószán a hátsó holtponttól a mellső holtpont felé halad) megy végbe, ezért az akítás időtartama közelítőleg:

$$t := 0.2 \quad [s]$$

Az alakítás teljesítményszükséglete: $P_{al} := \frac{W_{max}}{t} \quad \frac{P_{al}}{1000} = 15.6 \quad [kW]$

A falredukciós mélyhúzás hőmérlegének közelítő meghatározása

Az alakított térfogatban elnyelt ideális alakváltozási munka szinte teljes egészében hővé alakul és a húzott csészepalást hőmérsékletét növeli.

A három gyűrűn az áthúzás kb. 0.2 sec alatt megy végbe, mert a $t=0.4$ sec ciklusidő a bélyeg előre és hátrameneti mozgásának időtartamát jelenti.

Tehát az alakítás igen rövid idő alatt megy végbe, így a bélyeg hőelvonó hatása alig érvényesül. Az alakított anyag fajhőjének, a palást tömegének, valamint az elnyelt alakváltozási munka ismeretében a palást hőmérséklet növekedése meghatározható.

A csészepalástban elnyelt ideális alakváltozási munka: $W_{id} := \sum_i W_{id_i}$

$$\frac{W_{id}}{1000} = 875.8 \quad [Nm]$$

Az alakított darab anyagának közepes fajhője: $c_k := 900.21$ [Joule/kg°C]

Az alumínium sűrűsége: $\rho_{Al} := 2700$ [kg/m³]

A csészepalást térfogata: $V_p := \frac{V_p}{10^9}$ $V_p = 3.174 \times 10^{-6}$ [m³]

A csészepalást tömege: $m_p := V_p \cdot \rho_{Al}$ $m_p = 8.57 \times 10^{-3}$ [kg]

A csészepalást hőmérséklet-növekedése a falvékonyító mélyhúzás során: $\Delta T := \frac{W_{id}}{m_p \cdot c_k}$

$\Delta T = 113.5$ [°C]

A számítás során nem vettük figyelembe:

1./ a hagyományos húzással előállított előgyártmány palástjának szilárdságnövekedését,
2./ valamint a húzógyűrűn létrejövő súrlódás hőmérséklet növelő hatását.

A közelítő számítás felhívja a figyelmet arra, hogy az alakítási folyamat stabilitása (alakítási szilárdság állandó értéken tartása, a húzógyűrűk és a bélyeg hőtágulása okozta méretváltozásának elkerülése) érdekében az alakítótér intenzív hűtésével jelentős hőmennyiséget kell elvonni a munkatérből, úgy hogy annak hőmérséklete szűk tűréshatárokon belül maradjon.