

LGB_AJ011_1 - Lemezalakítás

SEGÉDLET

2. Konzultáció

Ez a segédlet csak kiegészítés az órai anyaghoz és a kötelező irodalmakhoz. Tartalma a konzultációk anyagaival egyezik meg. Az anyag nem mentesíti a hallgatót a kötelező irodalom ismerete alól!

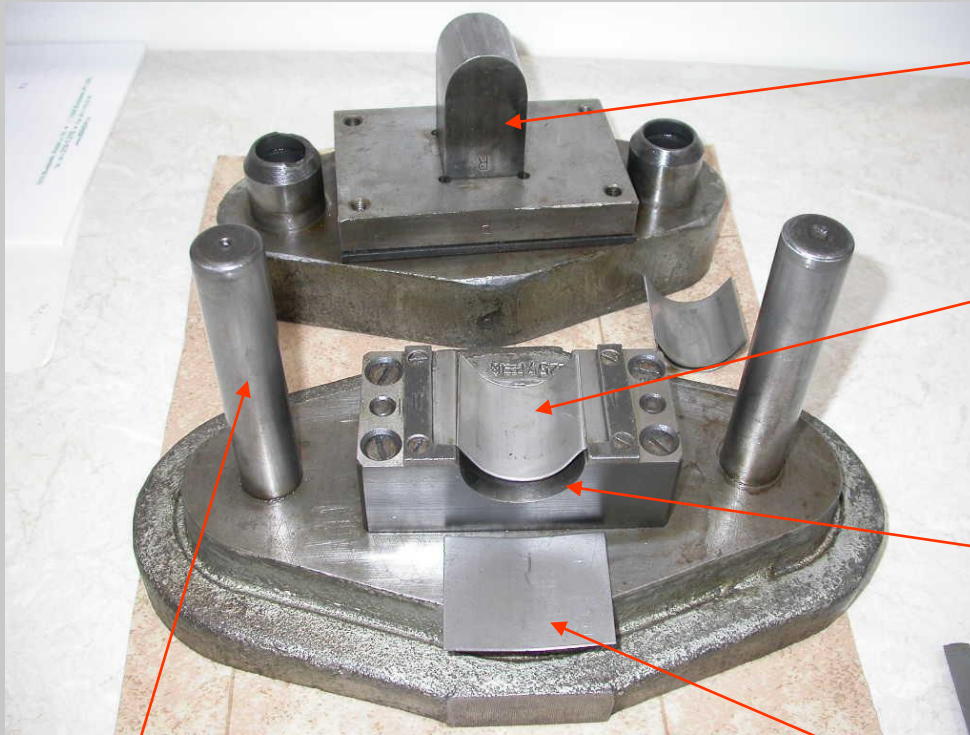


Hajlítás feszültségi és alakváltozási állapota. A hajlítás erő és munkaszükséglete. Visszarugózás. Hajlító szerszámok. Göngyölítés, korckötés.

Anyagszétválasztás nélküli lemezalakító eljárások

Sok olyan lemezalakító eljárás ismert, amelyeknél a megmunkálandó lemezt nem választjuk szét, hanem a síkbeli elhelyezkedésből eltérítjük, ezáltal egy térbeli alakzatot hozunk létre. Leggyakoribb ilyen eljárások az alábbiak:

- hajlítás,
- mélyhúzás,
- göngyölítés,
- fémnyomás,
- domborítás,
- egyéb eljárások
 - szájbehúzás,
 - tágítás
 - dombornyomás / bordázás



Hajlító bélyeg

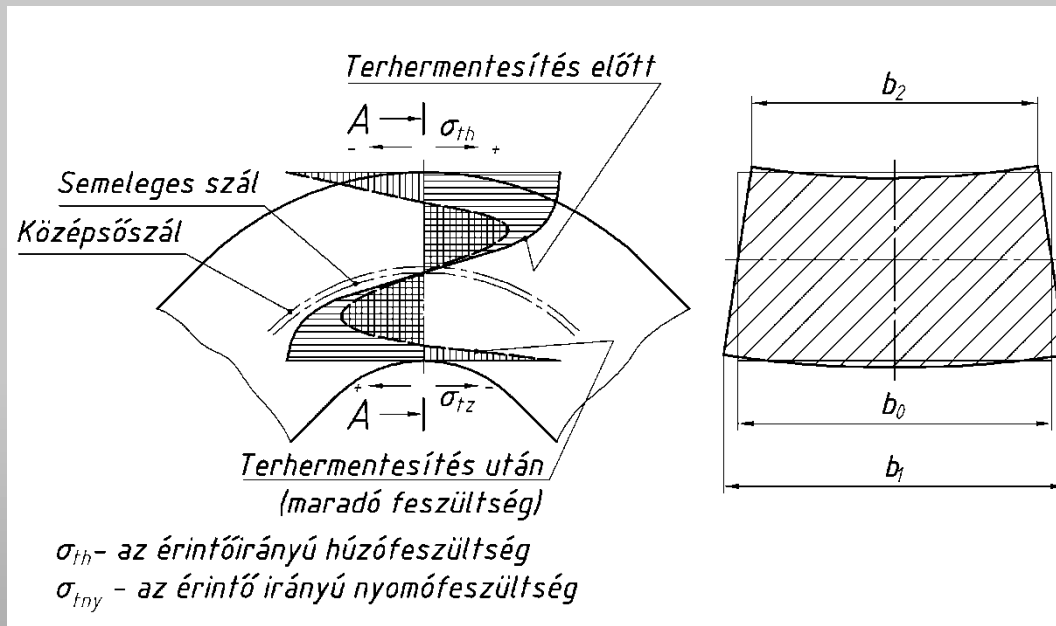
Munkadarab

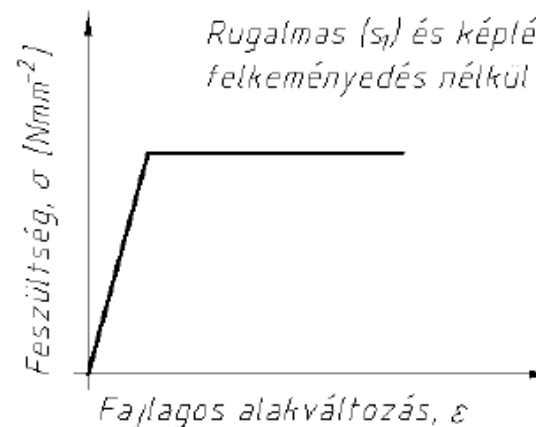
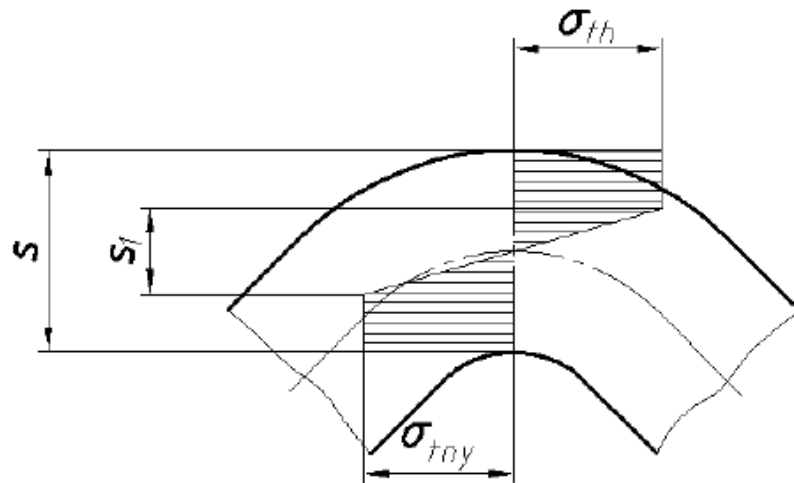
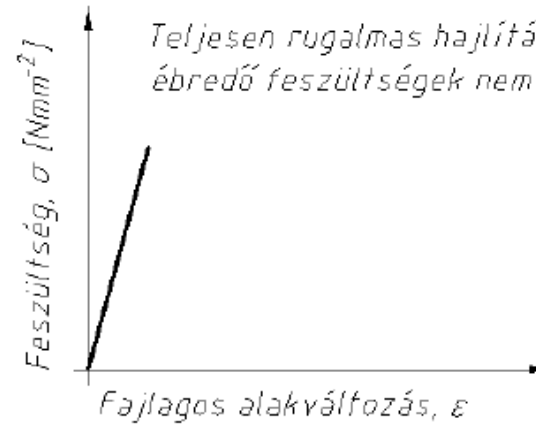
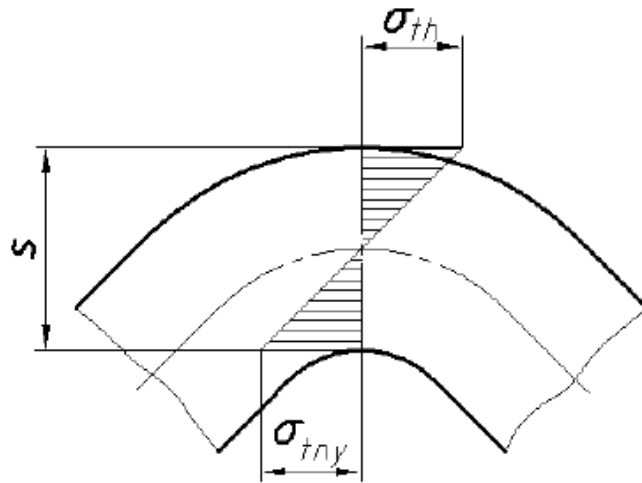
Hajlító szerszám
(alsó rész)

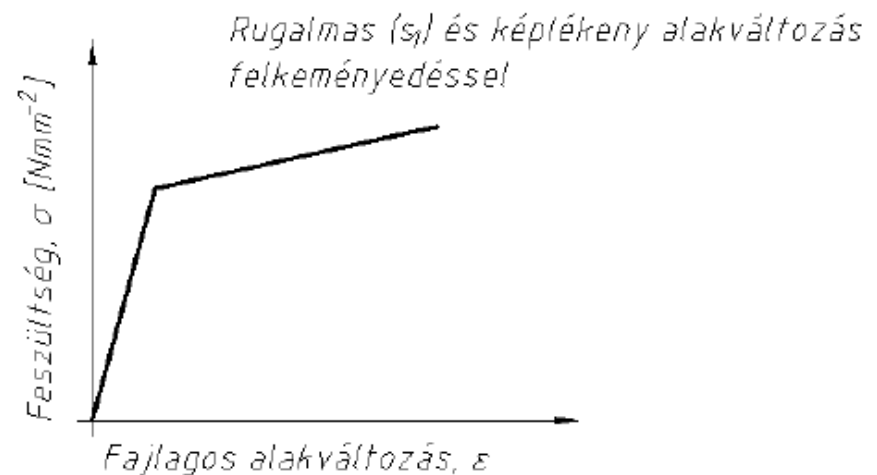
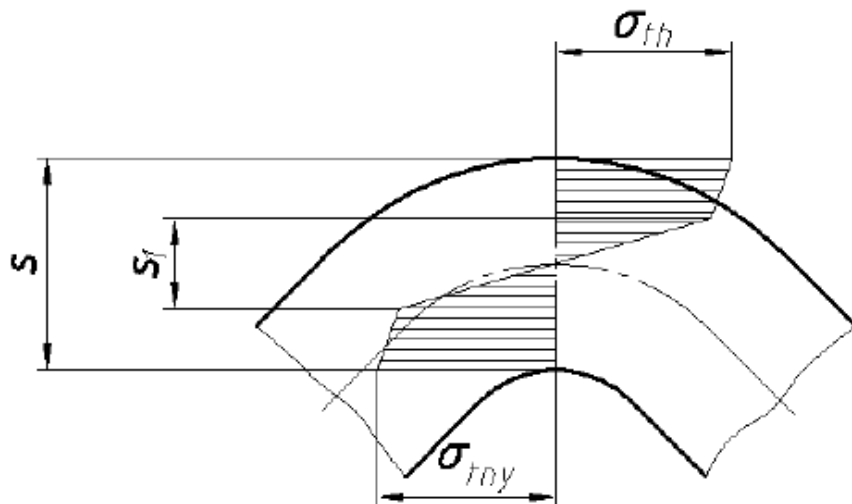
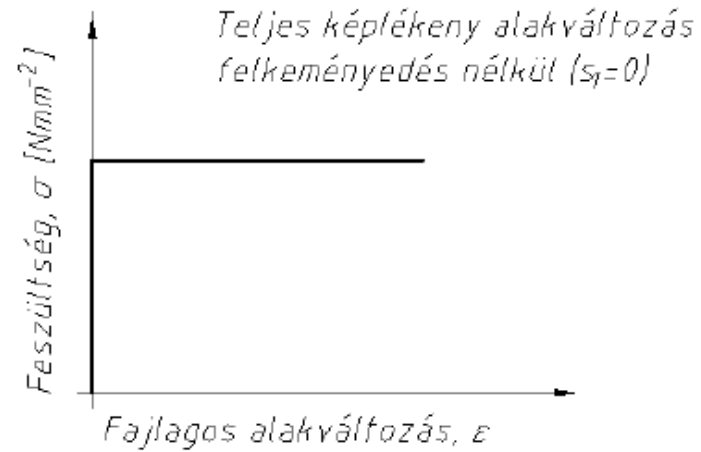
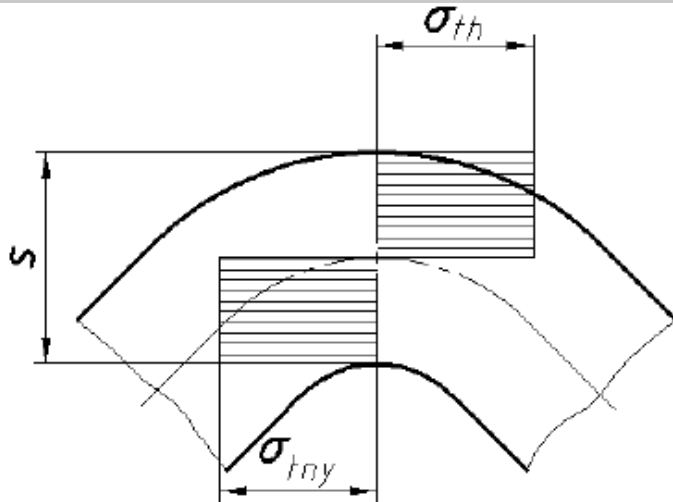
Vezető oszlop

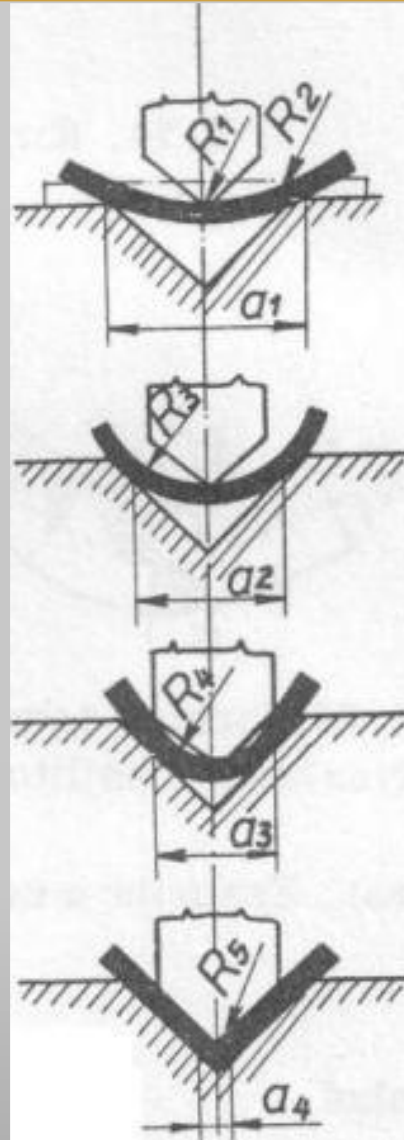
Előgyártmány

Hajlítás: Anyagszétválasztás nélküli lemezalakító (lemezalkatrész-gyártó) művelet, melynek során sík lemez egy részét adott (kívánt) szög alatt alakítjuk a többi részéhez képest. A hajlításnál a külső erők által létrehozott hajlítónyomaték hozza létre a képlékeny alakváltozást. A hajlítás helyén a lemezben húzó és nyomó feszültség ébred, amelyet a semleges szál választ el. Az ábra a lemez feszültségi állapotát terhelés alatt és a terhelés megszűnte után is ábrázolja. Látható, hogy a terhelés megszűnte után jelentős feszültségek maradnak vissza a hajlított lemezben, amely a lemez visszarugózását okozza. A semleges szálban nem ébred feszültség.

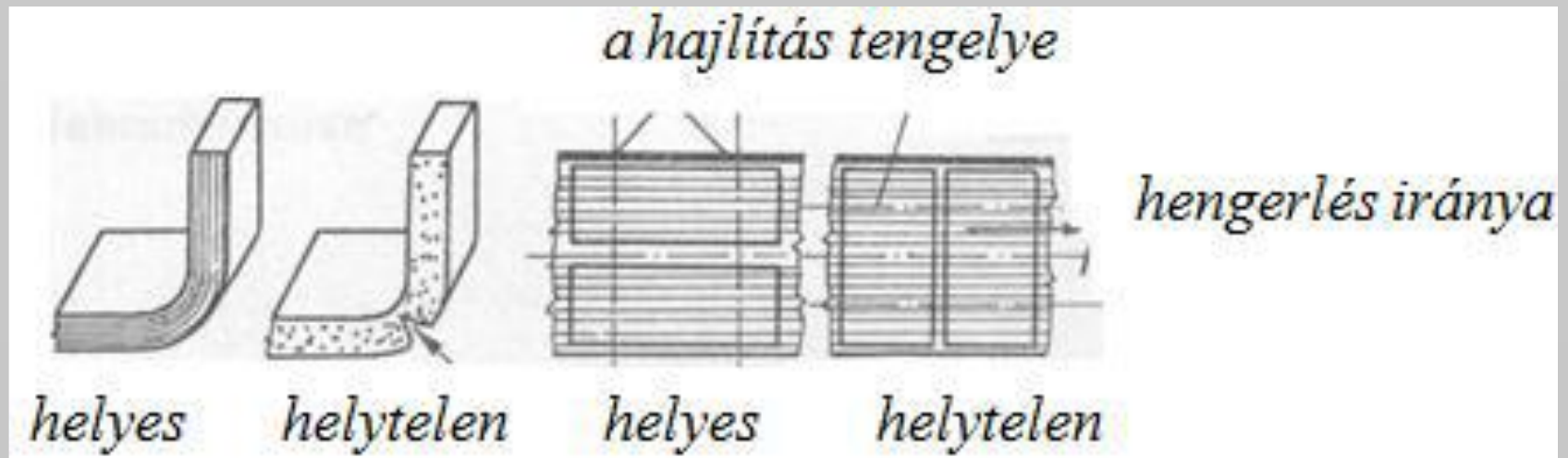






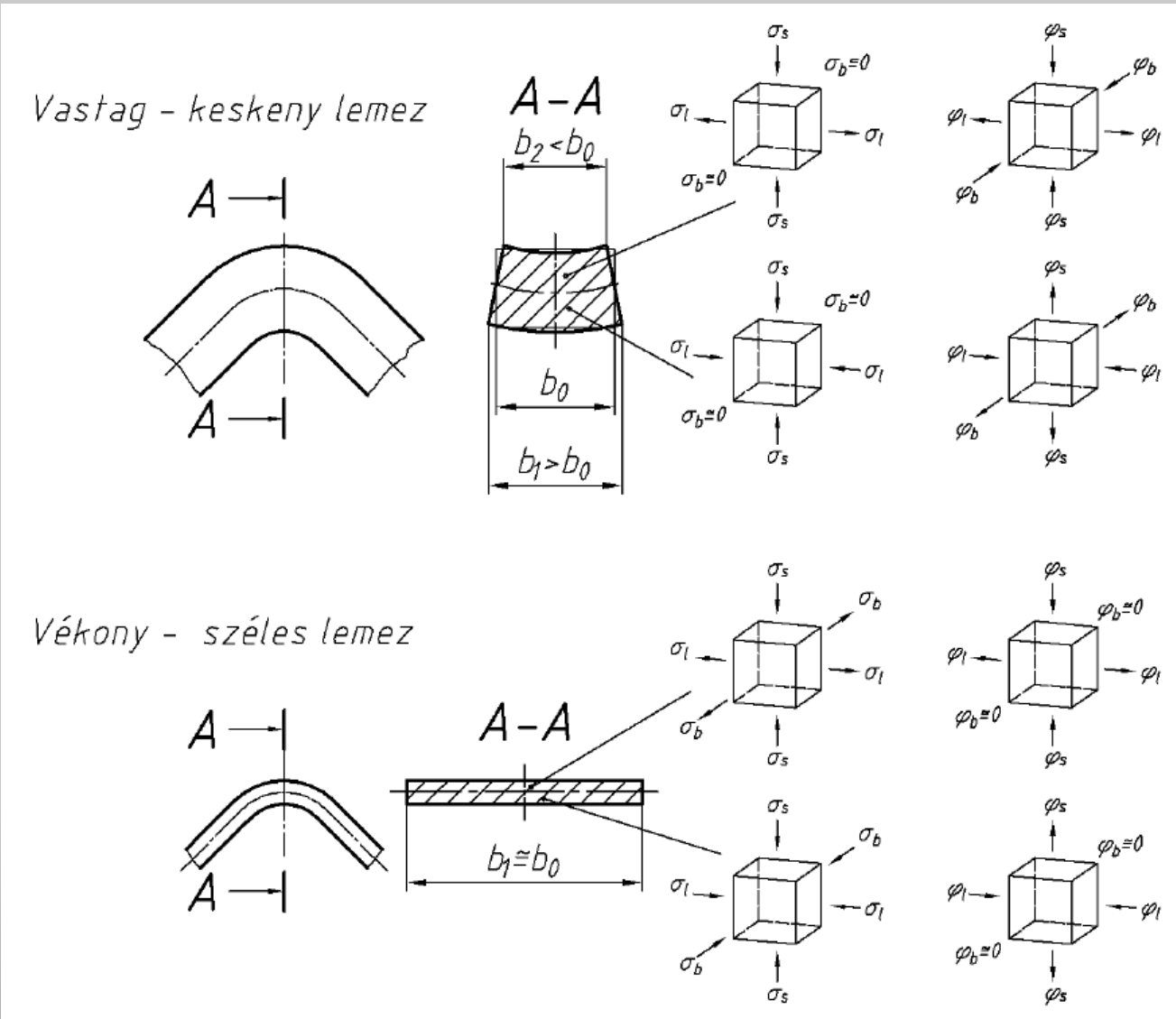


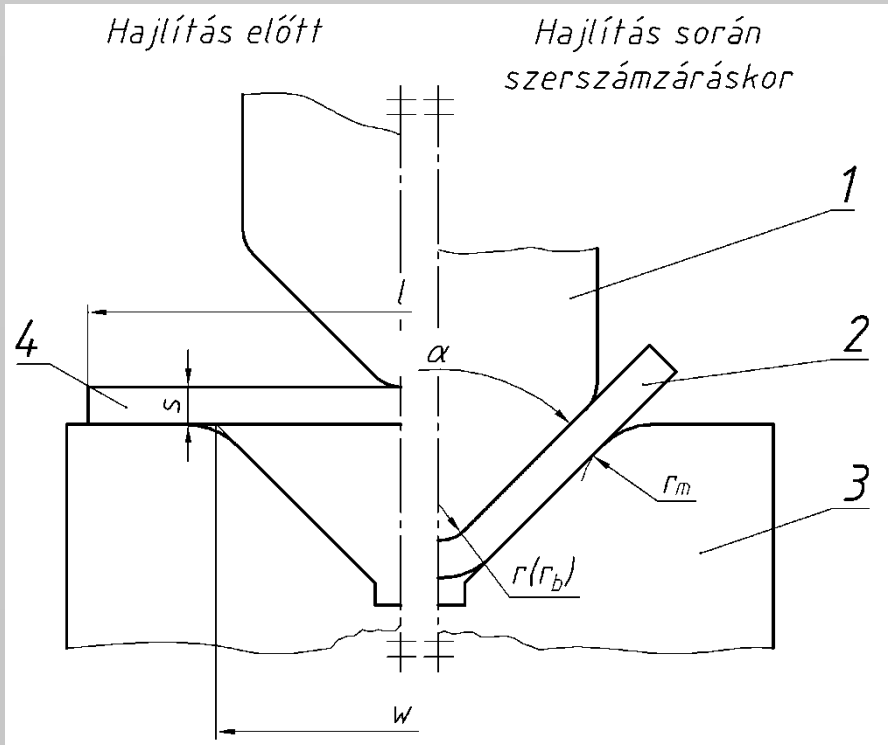
A húzott részen fellépő nagy feszültség miatt arra kell törekedni, hogy a hajítás tengelye a lemez hengerlési irányára merőleges legyen, vagy azzal legalább 45° -os szöget zárjon be. (A lemez nyúlása mindig a hengerlési irányra a legnagyobb.) Ellenkező esetben a húzott réteg könnyen elszakad. Az ábrán szemléltetjük a hengerlési irány hatását a húzott rétegre.



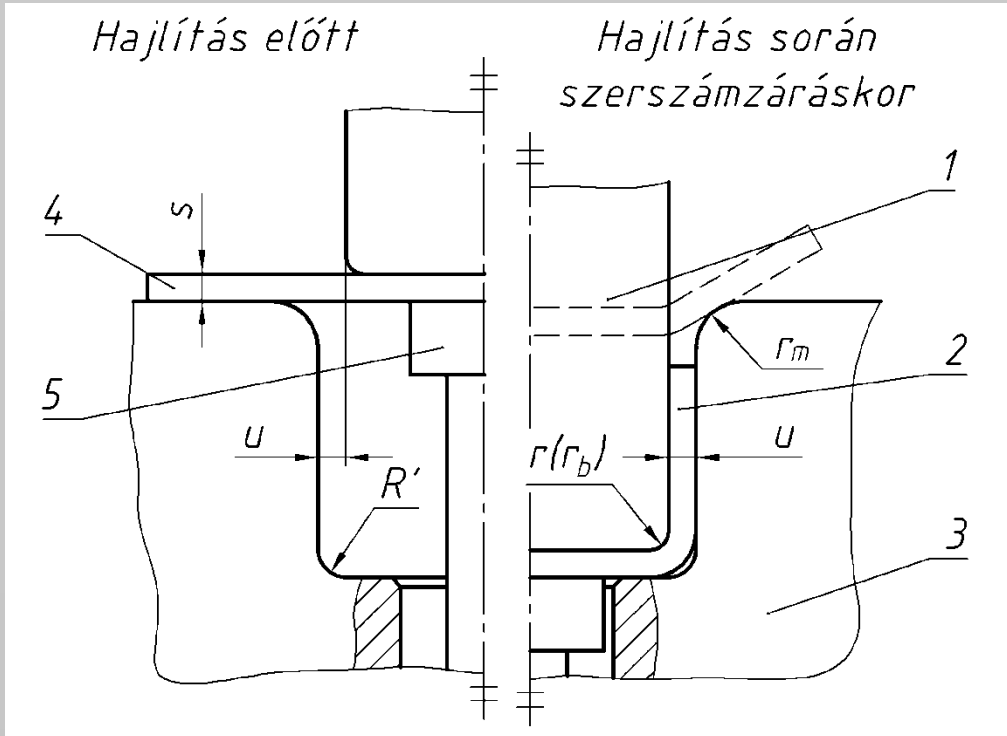
Hajlításkor nem csak a jelzett érintő irányú feszültségek (σ_{th} . és σ_{tny} .) ébrednek a lemezben. A hajlítás helyén ébredő sugárirányú feszültség az ún. nyomott és húzó részekben is mindig nyomófeszültség. A szélességéhez képest viszonylag vastag lemez keresztmetszete a hajlítás helyén jelentősen deformálódik. A lemezben szélességirányban feszültségek (σ_b) nem ébrednek. (Síkbeli feszültségi állapot.)

A vékony lemez keresztmetszetre szélesség irányában a hajlítás helyén nem változik. Az alakváltozás tehát síkbeli. A lemez geometriája miatt nem csökken a húzott és nem növekszik a nyomott rész szélessége, a húzott szálban húzó a nyomott szálban nyomó feszültség ébred szélesség irányban is.





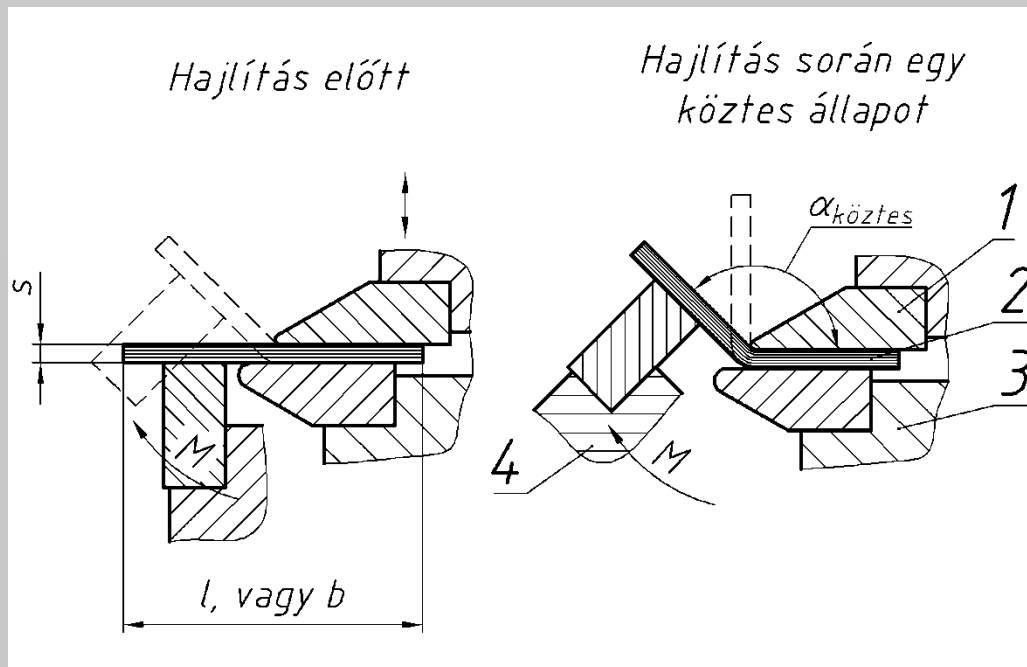
- 1 – Hajlító bélyeg
- 2 – mdb a szerszám zárásának pillanatában
- 3 – Hajlító matrica
- 4 – Lemezalkatrész terítéke a hajlítás előtt
- s – lemezvastagság
- l – lemezteríték hossza
- w – hajlító matrica nyílása
- α – hajlítás szöge
- r – hajlítás sugara
- r_m – hajlító matrica lekerekítése



- 1 – Hajlító bélyeg
 - 2 – mdb a szerszám zárásának pillanatában
 - 3 – Hajlító matrica
 - 4 – Lemezalkatrész terítéke a hajlítás előtt
 - 5 – Ellentartós kilökő
- s – lemezvastagság
r – hajlítás sugara
r_m – hajlító matrica lekerekítése

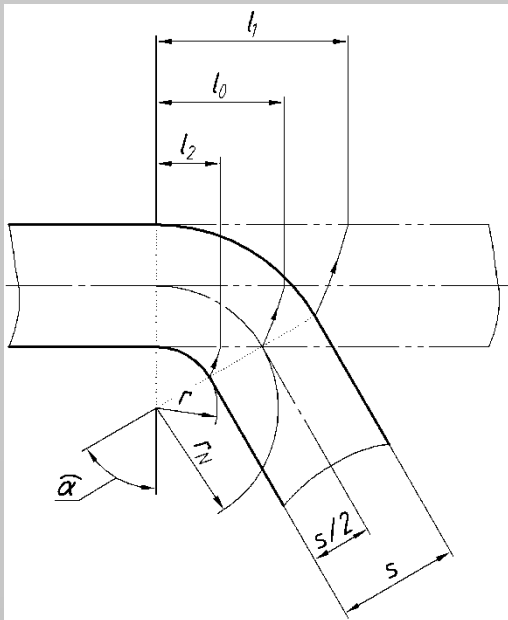
$$R' \leq r + s$$

$$u \cong (1,1 \dots 1,2) \cdot s$$



- 1 – Felső megfogó
 - 2 – Lemez hajlítás közben
 - 3 – Alsó megfogó
 - 4 – Hajlító betét
- s – lemezvastagság
 l, b – lemezteríték hossza,
 vagy szélessége
 $\alpha_{\text{köztes}}$ – köztes hajlítási szöge

Hajlításnál az alakváltozást mérnöki alakváltozási mérőszámmal jellemezzük. A húzott szál alakváltozását határozzuk meg, mert a húzott szálban következhet be a túlzott nyúlás miatti szakadás. Eredetileg a húzott szélső rész hossza megegyezik a lemez középvonal hosszával, ezért ez a semleges szál hossza (l_0). Ehhez képest a húzott rész megnyúlik és l_1 méretű lesz. Ezzel a fajlagos mérnöki nyúlás (ε):



$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \\ &= \frac{(r + s) \cdot \hat{\alpha} - \left(r + \frac{s}{2}\right) \cdot \hat{\alpha}}{\left(r + \frac{s}{2}\right) \cdot \hat{\alpha}} = \\ &= \frac{r \cdot \hat{\alpha} + s \cdot \hat{\alpha} - r \cdot \hat{\alpha} - \frac{s}{2} \cdot \hat{\alpha}}{r \cdot \hat{\alpha} + \frac{s}{2} \cdot \hat{\alpha}} = \\ &= \frac{\frac{s}{2} \cdot \hat{\alpha}}{r \cdot \hat{\alpha} + \frac{s}{2} \cdot \hat{\alpha}} = \frac{\frac{s}{2}}{r + \frac{s}{2}} = \frac{1}{2 \cdot \left(\frac{r}{s}\right) + 1} \end{aligned}$$

Látható ebből az összefüggésből is, hogy hajlításnál az r/s hányadosnak fontos szerepe van. Ahhoz, hogy a hajlítás az adott r/s esetén elvégezhető legyen $\varepsilon < A_{80}$ feltétel kell, hogy teljesüljön. Látható, hogy az alakváltozás mértéke annál nagyobb, minél kisebb az r/s viszony, azaz minél kisebb az r . A lemezanyag alakíthatósága viszont korlátozott. Ezért a hajlítás sugara nem lehet bármilyen kicsi, azaz létezik az ún. minimális hajlítási sugár, amely mértéke a lemezvastagságtól függ.

A lemez alakváltozása függ az r/s viszonytól. Minél kisebb ez a hányados, minél kisebb a hajlítási sugara, annál nagyobb az alakváltozás – és így a húzott szál nyúlásának – mértéke. Ebből az következik, hogy a hajlítási sugara nem lehet akármilyen kicsi. A minimális hajlítási sugár minimális értéke a gyakorlat számára meghatározható az alábbi összefüggéssel:

$$r_{min.} = c \cdot s \quad [mm]$$

Ahol: c – a lemez anyagminőségétől függő tényező,
 s – a lemez vastagsága

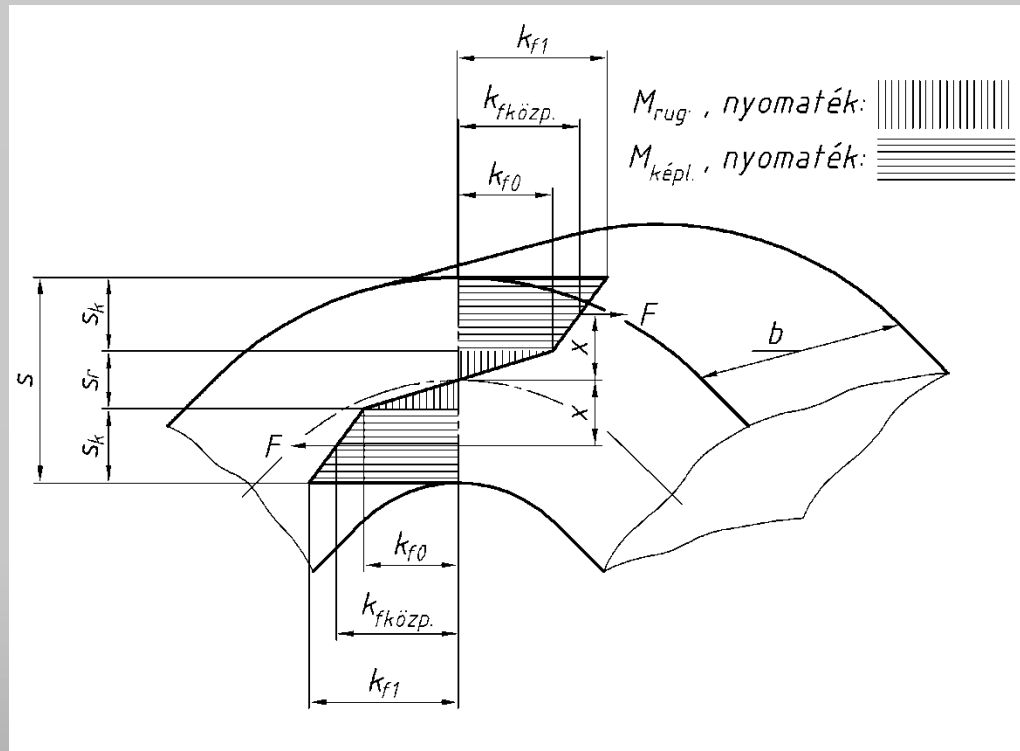
c – tényező				
Lemez anyaga	Hengerlési állapot – lágy		Hengerlési állapot – kemény	
	Hajlítás tengelye			
	Hengerlési irányra		Hengerlési irányra	
	merőlege	megegyező	merőlege	megegyező
Alumínium	0,01	0,3	0,3	0,8
Vörösréz			1,0	2
Sárgaréz CuZn37			0,4	0,8
Karbondtartalom, C [%]	Ötvözetlen acélok			
0,2	0,1	0,5	0,5	1,0
0,3	0,2	0,6	0,6	1,2
0,4	0,3	0,8	0,8	1,5
0,5	0,5	1,0	1,0	1,7
0,6	0,7	1,3	1,3	2,0
Alumínium ötvözetek				
Al95Cu4Mg1 lágyított	1,0	1,5	1,5	2,5
Al95Cu4Mg1 kiválósan keményítve	2,0	3,0	3,0	7,0

Minimális hajlítási sugár r_{min} . $\alpha < 120^\circ$ – os hajlítási szögig									
A lemez szakítószilárdsága $R_m, \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	A lemez hengerlési iránya	A legkisebb hajlítási sugár r_{min} . a hajlítandó lemez vastagságának függvényében [mm]							
		>1	1...1,5	1,5...2, 5	2,5...3	3...4	4...5	5...6	6..7
>390	Keresztirányban	1	1,6	2,5	3	5	6	8	10
	Hosszirányban					6	8	10	12
390...490	Keresztirányban	1,2	2	3	4	5	8	10	12
	Hosszirányban					6	10	12	16
490...640	Keresztirányban	1,6	2,5	4	5	6	8	10	12
	Hosszirányban					8	10	12	16
A lemez szakítószilárdsága $R_m, \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	A lemez hengerlési iránya	A legkisebb hajlítási sugár r_{min} . a hajlítandó lemez vastagságának függvényében [mm]							
		7...8	8...10	10...12	12...14	14...16	16...18	18...20	
>390	Keresztirányban	12	16	20	25	28	36	40	
	Hosszirányban	16	20	25	28	32	40	45	
390...490	Keresztirányban	16	20	25	28	32	40	45	
	Hosszirányban	20	25	32	36	40	45	50	
490...640	Keresztirányban	16	20	25	32	36	45	50	
	Hosszirányban	20	25	32	36	40	50	63	

A c tényező értékét meghatározhatjuk a szakítóvizsgálat során meghatározott q kontrakció mértékével is.

$$c = \frac{1 - 2 \cdot q + q^2}{2 \cdot q + q^2}$$

A lemez feszültségi állapota és alakváltozása hajlítás közben bonyolult, két vagy háromtengelyű. Bonyolítja a kérdést az is, hogy a valóságban lemeznek a semleges réteget körülvevő húzott és nyomott részei – együttesen s_r vastagságban – csak rugalmasan, a semleges rétegtől távolabbi részei képlékenyen alakváltoznak. Ezért a hajlítás nyomatéka két nyomaték összegeként is számítható:



$$M = M_{rug.} + M_{képl.} = \underbrace{k_{fo} \cdot \frac{s_r^2 \cdot b}{6}}_{M_{rug.}} + \underbrace{2 \cdot F \cdot x}_{M_{képl.}} =$$

$$k_{fo} \cdot \frac{s_r^2 \cdot b}{6} + \underbrace{k_{fközp.} \cdot b \cdot s_k}_F \cdot 2 \cdot \underbrace{\left(\frac{s_r + s_k}{2}\right)}_x =$$

$$k_{fo} \cdot \frac{s_r^2 \cdot b}{6} + k_{fközp.} \cdot b \cdot \underbrace{\frac{s - s_r}{2}}_{s_k} \cdot 2 \cdot \underbrace{\left(\frac{2 \cdot s_r + s - s_r}{4}\right)}_x =$$

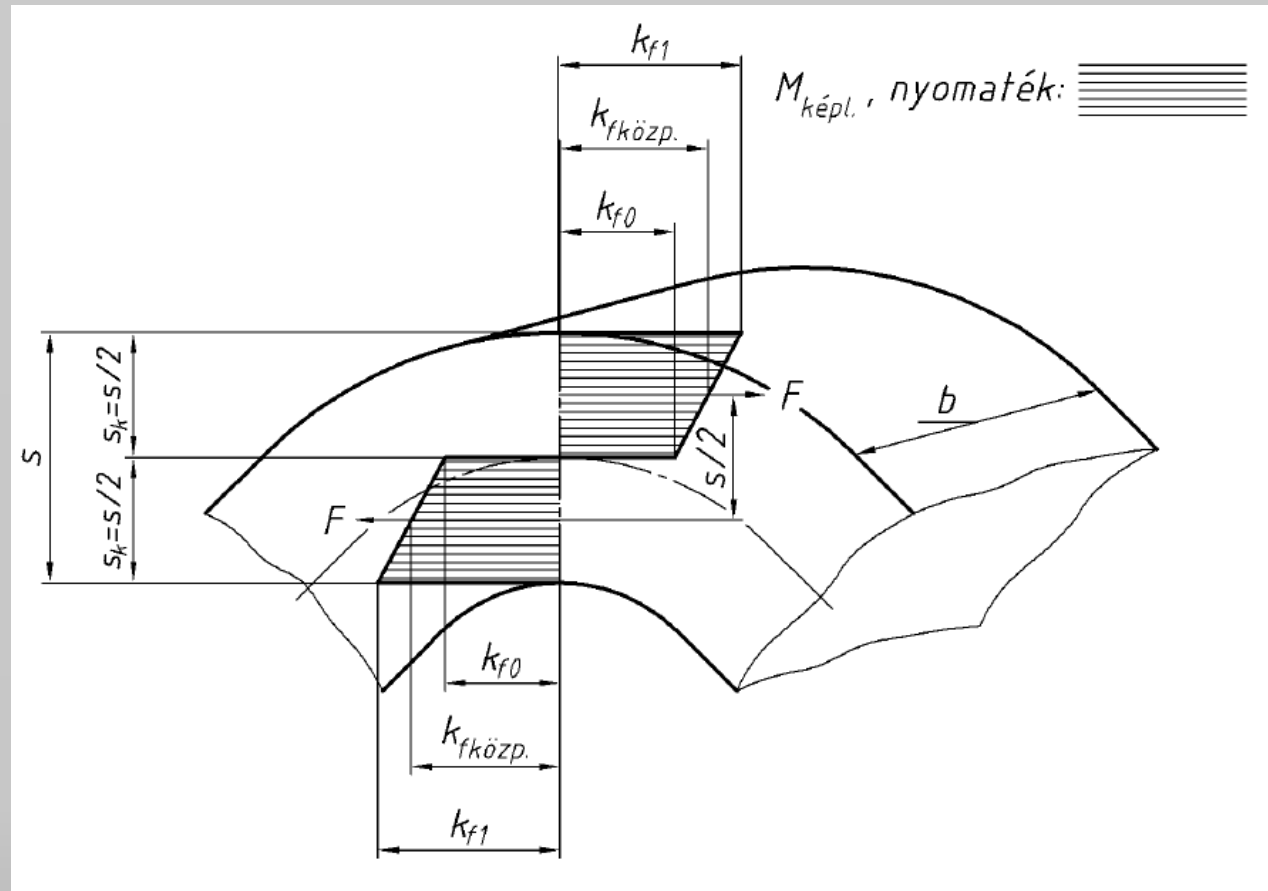
$$k_{fo} \cdot \frac{s_r^2 \cdot b}{6} + k_{fközp.} \cdot b \cdot \frac{s - s_r}{2} \cdot 2 \cdot \frac{s + s_r}{2} =$$

$$k_{fo} \cdot \frac{s_r^2 \cdot b}{6} + k_{fközp.} \cdot b \cdot 2 \cdot \frac{s^2 - s_r^2}{8} =$$

$$k_{fo} \cdot \frac{s_r^2 \cdot b}{6} + k_{fközp.} \cdot b \cdot \frac{s^2 - s_r^2}{4}$$

Ha feltételezzük, hogy $s_r=0$

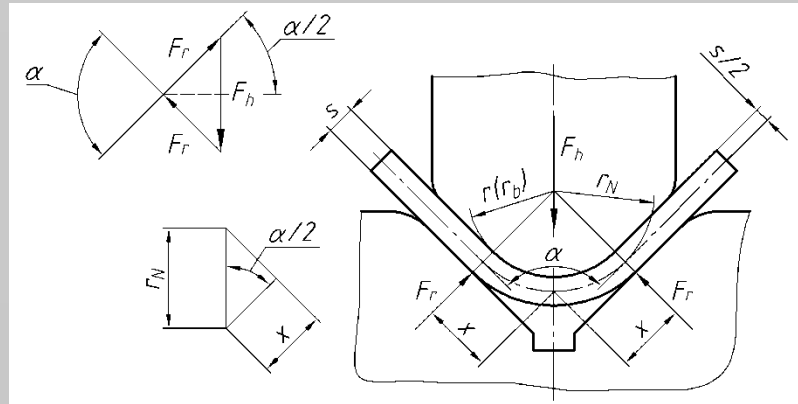
$$M \cong k_{fközp.} \cdot b \cdot \frac{s^2}{4}$$



$$F = k_{fközp.} \cdot b \cdot \frac{s}{2}$$

$$M = F \cdot \frac{s}{2} = k_{fközp.} \cdot b \cdot \frac{s^2}{4}$$

A V alakú hajlítás esetén (ha a hajlítás koncentrált erővel történik) a hajlító erővel szemben fellépő (F_r) erők karja (x) a szerszám zárásának pillanatában a legkisebb. Ezért az F_r erők ekkor a legnagyobbak.



$$F_h = 2 \cdot F_r \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}]$$

Ahol: $\frac{\alpha}{2}$ – hajlítási szög fele

$$F_r = \frac{M}{x} = \frac{k_{\text{köz.}} \cdot b \cdot s^2}{4 \cdot r_N \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} \quad [\text{N}]$$

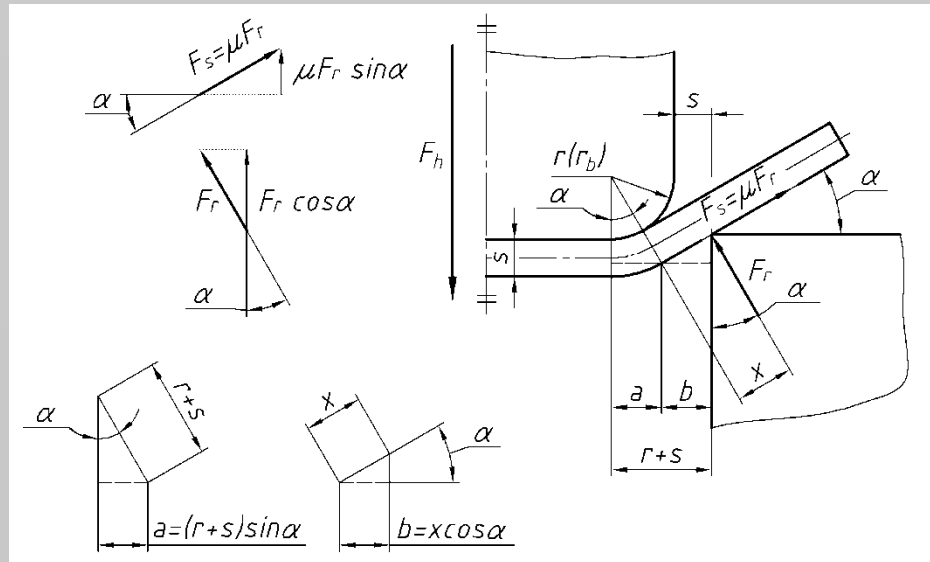
$x = r_N \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$ – a hajlítás karja

$$F_h = 2 \cdot \frac{k_{\text{köz.}} \cdot b \cdot s^2}{4 \cdot r_N} \cdot \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{k_{\text{köz.}} \cdot b \cdot s^2}{2 \cdot r_N} \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}]$$

A leggyakrabban alkalmazott derékszögű hajlítás esetén:

$$F_{h90^\circ} = \frac{k_{\text{köz.}} \cdot b \cdot s^2}{2 \cdot r_N} \quad [\text{N}]$$

U alakú hajlításnál a hajlító erőnek az alábbi vázlat szerint fellépő reakció erők és a matrica élén fellépő súrlódó erők függőleges összetevői kell legyőzni.



x – az F_r reakció erő karja a közbenső geometriai összefüggésből határozható meg

$$a + b = r + s$$

$$(r + s) \cdot \sin \alpha + x \cdot \cos \alpha = r + s$$

$$x = \frac{(r + s) - (r + s) \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{(r + s) \cdot (1 - \sin \alpha)}{\cos \alpha}$$

itt is a reakció erő a hajlító nyomatékból határozható meg:

$$F_r = \frac{M}{x} = \frac{k_{\text{fközp.}} \cdot b \cdot s^2}{4} \cdot \frac{\cos \alpha}{(r+s) \cdot (1-\sin \alpha)}$$

Az erők egyensúlya pedig:

$$F_h = 2 \cdot F_r \cdot \cos \alpha + 2 \cdot \mu \cdot F_r \cdot \sin \alpha$$

Behelyettesítés után:

$$F_h = 2 \cdot \frac{k_{\text{fközp.}} \cdot b \cdot s^2 \cdot \cos^2 \alpha}{4 \cdot (r+s) \cdot (1-\sin \alpha)} + 2 \cdot \mu \cdot \frac{k_{\text{fközp.}} \cdot b \cdot s^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{4 \cdot (r+s) \cdot (1-\sin \alpha)}$$

A trigonometrikus kifejezések határ értékei, ha $\alpha \longrightarrow 90^\circ$ -hoz

$$\frac{\cos^2 \alpha}{1-\sin \alpha} = \frac{\overbrace{1-\sin^2 \alpha}^{a^2-b^2=(a-b)(a+b)}}{1-\sin \alpha} = \frac{(1+\sin \alpha) \cdot (1-\sin \alpha)}{(1-\sin \alpha)} = 1+\sin \alpha \longrightarrow 2 \quad \text{és} \quad \frac{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}{1-\sin \alpha} \longrightarrow \infty$$

de ez utóbbi valószínűségi statisztikai alapon a legnagyobb gyakoriságot figyelembe alapján 14-nek vehető. Ezzel a gyakran alkalmazott 90° -os U alakú hajlítás erőszükséglete:

$$F_{h90^\circ, u} = \frac{k_{\text{fközp.}} \cdot b \cdot s^2}{(r+s)} \cdot (1+7 \cdot \mu)$$

A hajlított lemezalkatrész kiterített hosszának meghatározásához a semleges réteg sugara (r_N) ismerete szükséges. A r_N a gyakorlat számára elegendő pontossággal az alábbi összefüggés és táblázat segítségével határozható meg:

$$r_N = r + x \cdot s$$

Ahol: x korrekciós tényező – az r/s -től függ, értéke táblázatból vehető.

A hajlításnál fellépő feszültségek analíziséből a r_N mértani középarányos a húzott és nyomott szélső szálak nyomai között. Azaz a semleges réteg sugara a következő képlettel is meghatározható.

$$r_N = \sqrt{r \cdot R}$$

Ahol: r – a hajlítás belső sugara
 R – a hajlítás külső sugara ($R=r+s$)

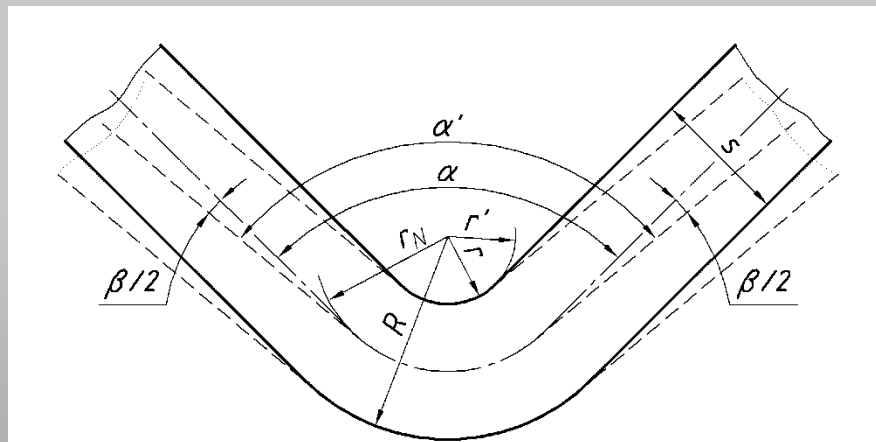
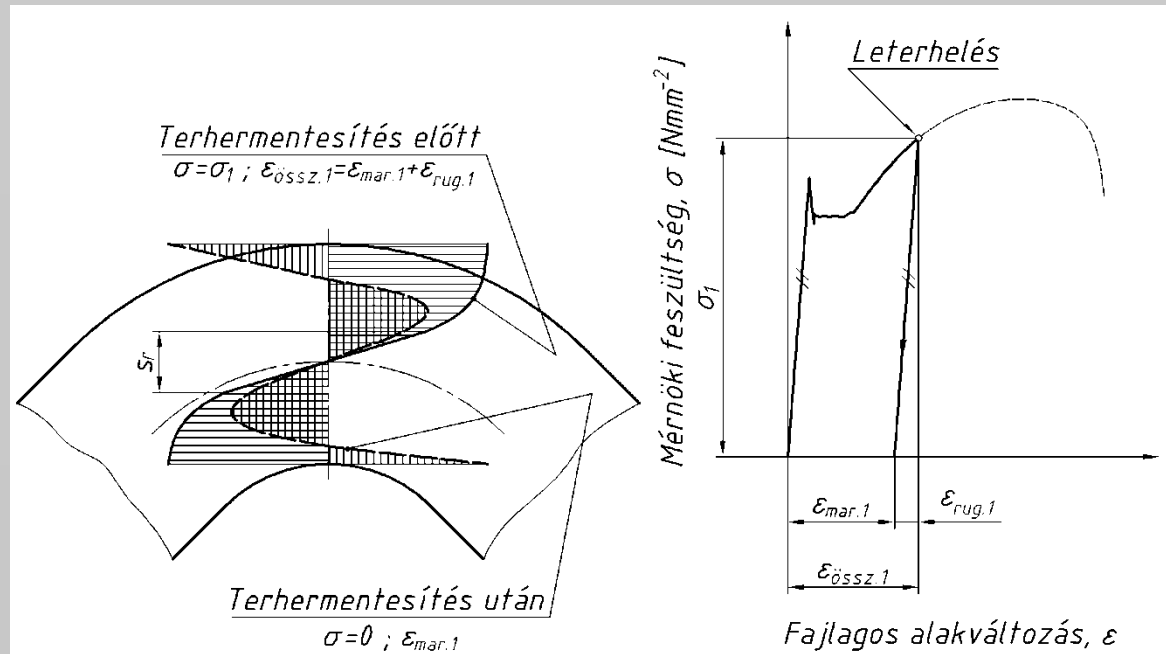
r/s	0,5	0,8	1,2	2	3	4	5
x	0,25	0,3	0,35	0,4	0,44	0,47	0,49

A visszarusugózás a hajlított munkadarab méret és alak pontosságát, minőségét befolyásolja. A hajlítás után a hajlítóerő megszűnésével a hajlított darab kinyílik, hajlítási szöge megváltozik. Mértékének meghatározásához és kiküszöbölésének csökkentésének megoldásához ismernünk kell az okát is.

A visszarusugózás okai:

1. A hajlított lemezdarabban a semleges réteg két oldalán (összesen s_r vastagságú) rétegben az alakváltozás csak rugalmas. Ez az s_r vastagságú rugalmasan deformálódott réteg képvisel egy nyomatékot $M_r = k_{f0} \cdot K$ (, ahol $K = \frac{s_r^2 \cdot b}{6}$ keresztmetszeti tényező). Ez a nyomaték a hajlító erő, vagy nyomaték megszűnte után rugalmasan „kinyitja” az α szögben meghajlított darabot.
2. A lemez képlékenyen hajlított külső és belső húzott és nyomott rétegeinek összalakváltozása rugalmas és képlékeny alakváltozások összege. (Lásd a szakítódiagramban az egyenletes nyúlás szakaszát.) A hajlítás befejezésekor a rugalmas deformáció megszűnik, azaz az α szögre hajlított darab kinyílik.

A visszarugózás oka, mértéke és kiküszöbölési módjai

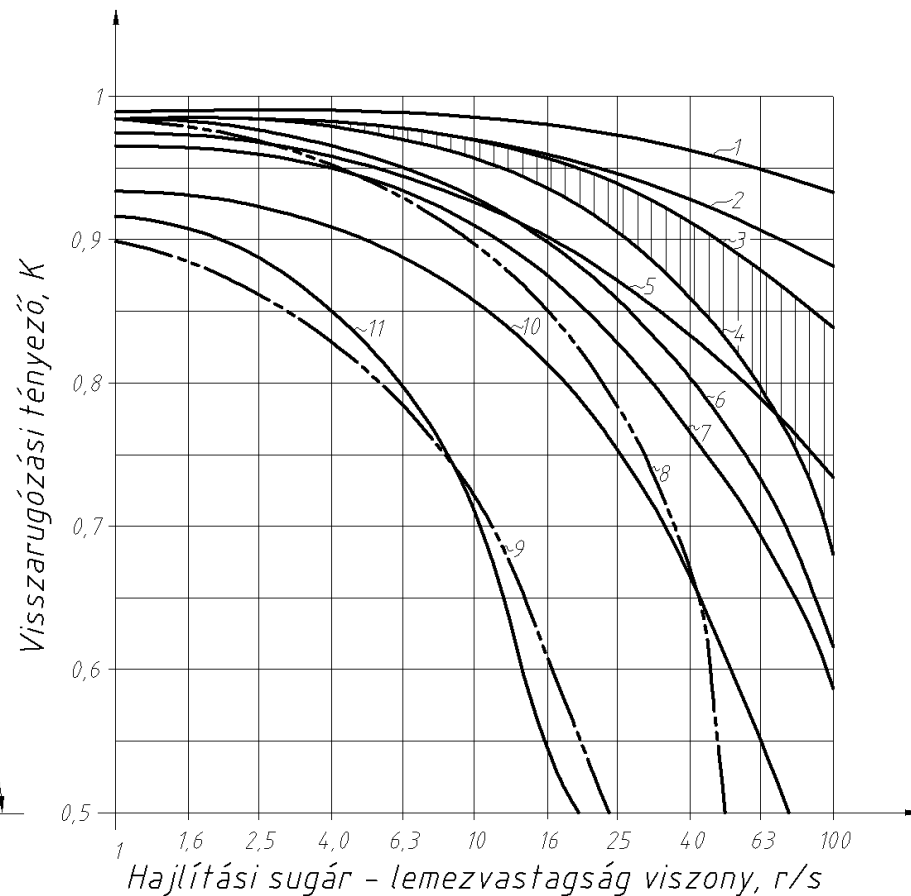
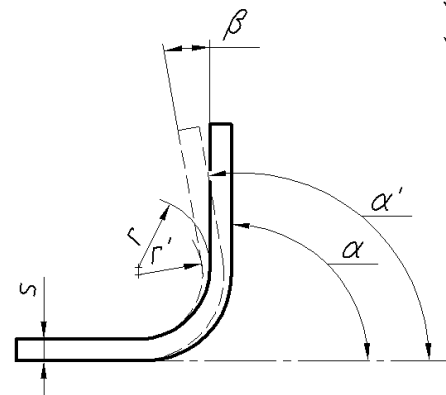


- r – a hajlítás sugara
- r_N – a semleges réteg sugara
- R – a húzott szélő szál sugara
- s – lemezvastagság
- α – hajlítás szöge
- α' – a hajlítás szöge a visszarugózás után
- $\beta = \alpha' - \alpha$ a visszarugózási szög.
- r' – a hajlítás sugara a visszarugózás után

A visszarugózás mértéke

A visszarugózás mértékét (β) a gyakorlat számára elegendő pontossággal az alábbi összefüggésekből határozhatjuk meg:

- 1 - Al99,5l
- 2 - AlCuMg, AlZnCuMg lágy
- 3 - DC01, DC03
- 4 - S185
- 5 - CuZn37 lágy
- 6 - Cu99,8 negyedkemény
- 7 - AlMgSi
- 8 - X10CrNi18 8 lágy
- 9 - X10CrNi18 8 rögzített állapot
- 10 - AlZnCuMg kiválásosan keményítve
- 11 - AlCuMg kiválásosan keményítve



$$K = \frac{r' + 0,5 \cdot s}{r + 0,5 \cdot s} = \frac{\alpha}{\alpha'}$$

1. V alakú hajlításnál:

$$\tan \beta_V = 0,375 \cdot \frac{w}{K \cdot s} \cdot \frac{R_m}{E}$$

Ahol: w – a szerszám nyílása

K – visszarugózási tényező; $K=1-x$, ahol az x az r/s viszonytól függő tényező

2. U alakú hajlításnál:

$$\tan \beta_U = 0,75 \cdot \frac{w}{K \cdot s} \cdot \frac{R_m}{E}$$

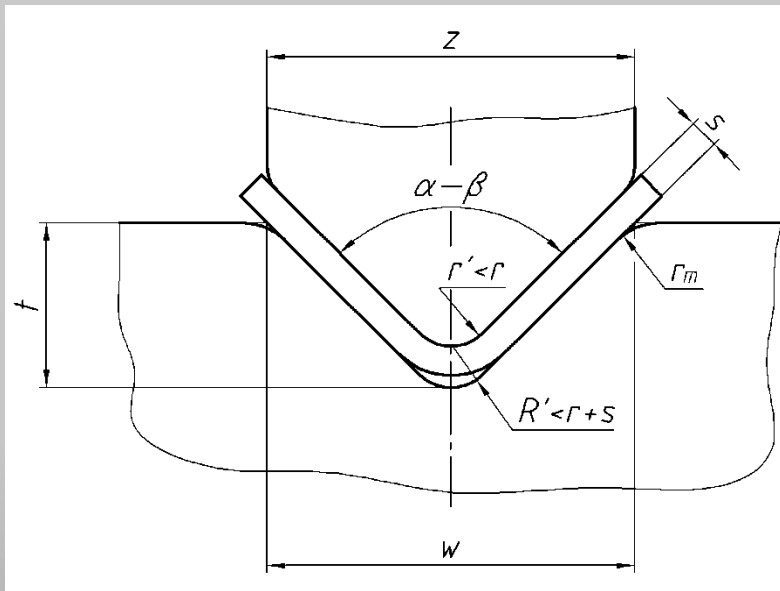
A visszarugózás szöge a következő összefüggésből is meghatározható:

$$\beta = \frac{3 \cdot k_{f\text{közp.}}}{E} \cdot \left(\frac{r}{s} + 1 \right) \cdot \alpha$$

A visszarugózás mértéke sokszor csak ellenőrző kísérletekkel (hajlító próbákkal) határozható meg. A fenti összefüggések és további tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a visszarugózás mértékét az alábbi tényezők befolyásolják:

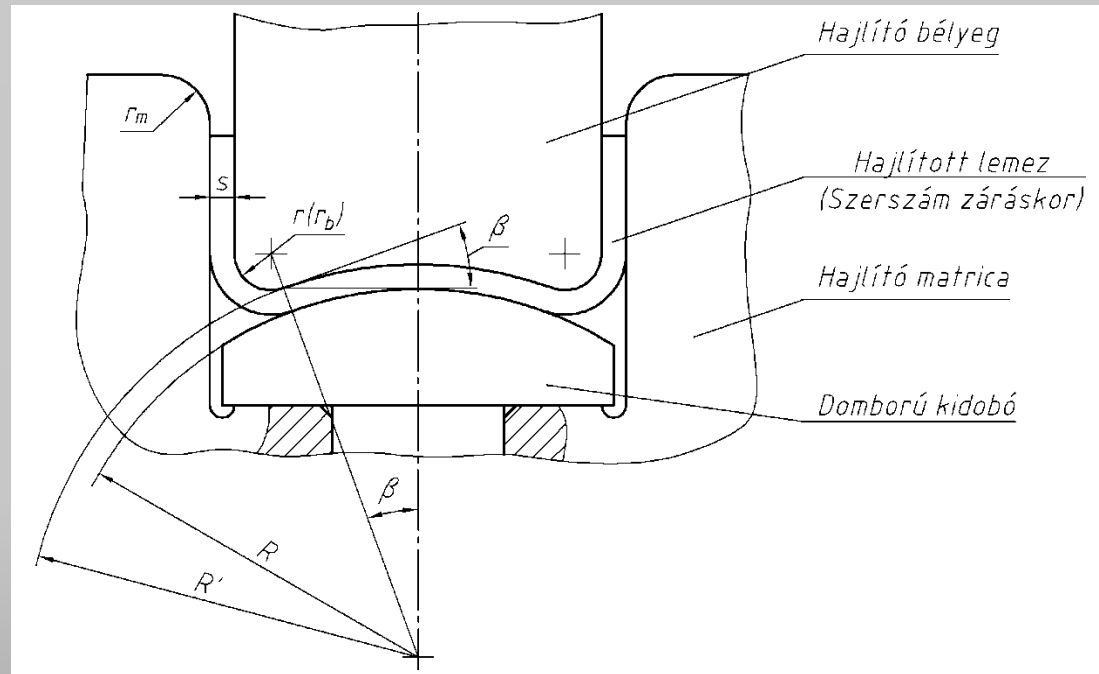
- az anyag minősége (acél, alumínium, réz, stb.)
- az anyag állapota (lágy, negyed-, félkemény, stb.)
- a hajlítás szöge (α)
- az r/s viszony (minél nagyobb az r/s , annál nagyobb a β)
- a hajlítás sebessége (a gyakorlatban ez azt is jelentheti, hogy excenterpréssén v. hidraulikus préssén dolgozik-e a hajlítószerszám.)

A lemezhajlításnál cél a pontos szögben történő hajlítás. A hajlításnál jelentkező visszarugózást korigálni kell. A visszarugózás kiküszöbölésére (mérésclésére) a legkézenfekvőbb az ún. túlhajlítás. Ez azt jelenti, hogy a lemezalkatrészre előírt α szögnél a darabot kisebb, $\alpha - \beta$ szögűre hajlítjuk. Ez egyszögű (pl. V alakú) hajlításnál egyszerűen megoldható. Legfeljebb a visszarugózási szög mértékének bizonytalansága vagy lemezanyag adagonkénti változása okoz gondot.

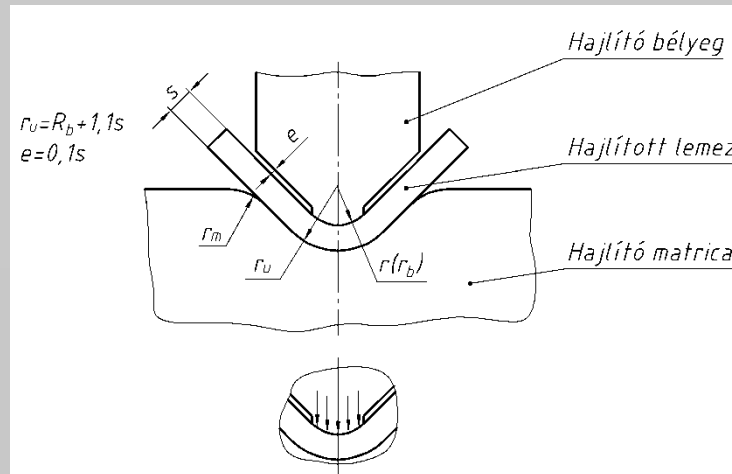


- α – a lemezalkatrészt jellemző szög
- $\alpha - \beta$ – a szerszámok jellemző szöge
- β – a visszarugózási szög
- r' – a visszarugózás miatt a hajlítási módosított sugár

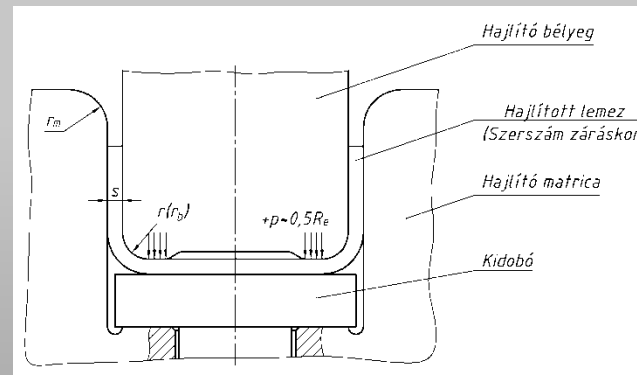
A túlhajlítás U alakú hajlításnál mozgó szerszámelem nélkül is megoldható a hajlítóbélyeg megfelelő kialakításával. Az „U” alakú hajlításnál az eredetileg egyenes fenékrészt egy domború szerszámmal a visszarugózás mértékének megfelelően β szöggel túlhajlítjuk. A szerszámból kivéve a munkadarabot a fenékrész visszarugózva kiegyenesedik és a két szart visszahúzza párhuzamos helyzetbe.



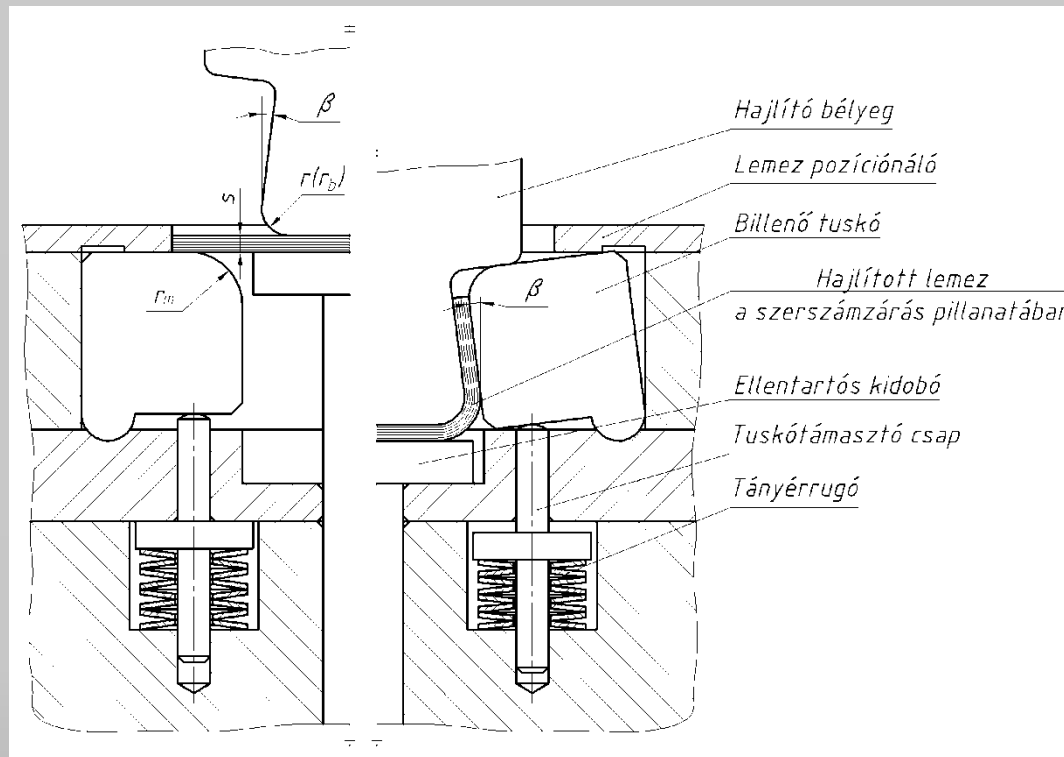
Vastag, ill. lágyabb lemezek esetén a visszaruhozás kiküszöbölhető vasalással is. V alakú hajlításnál, ha a szerszám zárása pillanatán túl kb. $(0,3 \dots 0,5) \cdot R_e$ túlnyomást gyakorolunk a munkadarabra, csökken a visszaruhozás mértéke. Igaz ez alakhibát okozhat a munkadarabon.



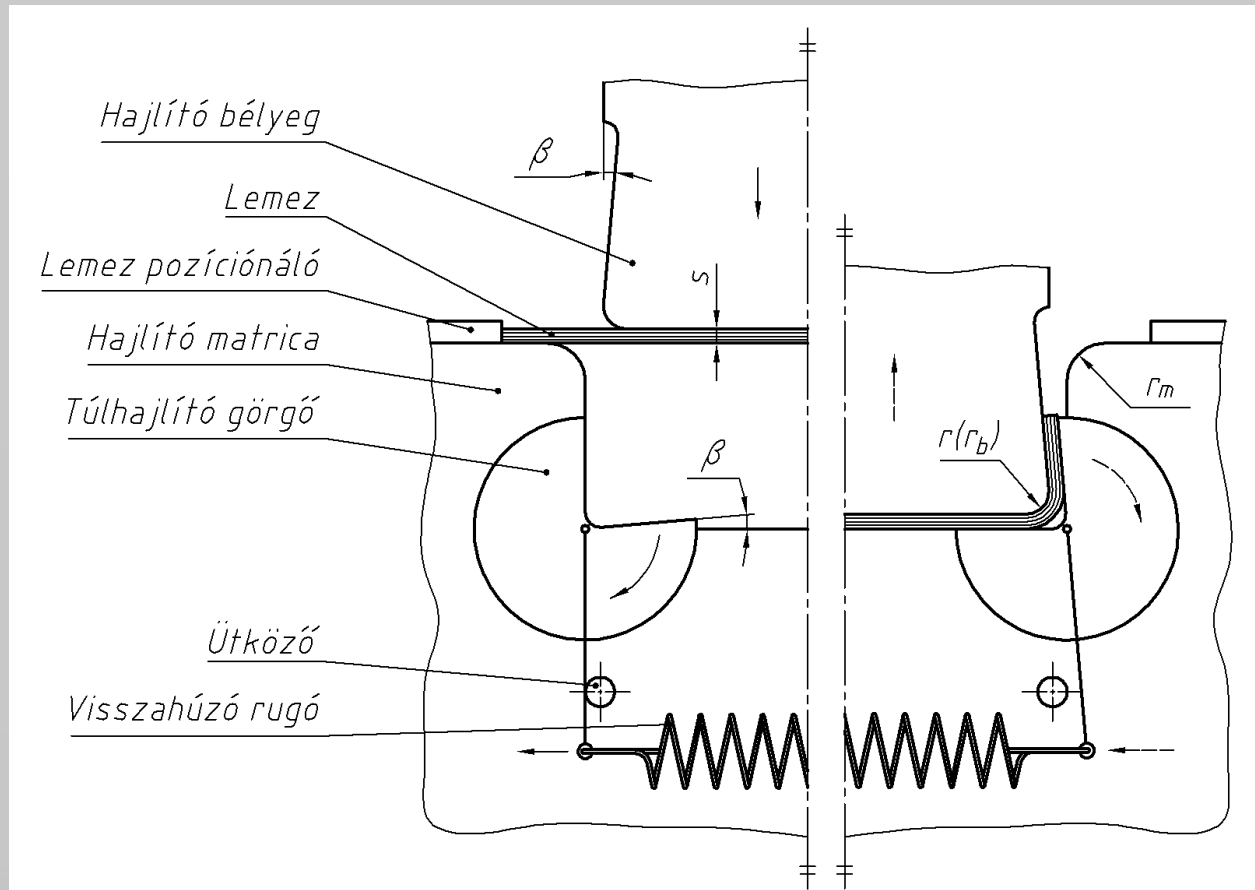
U alakú hajlításnál a vasalóerő csökkentése érdekében a hajlított lemezeknek csak egy részét vasaljuk meg



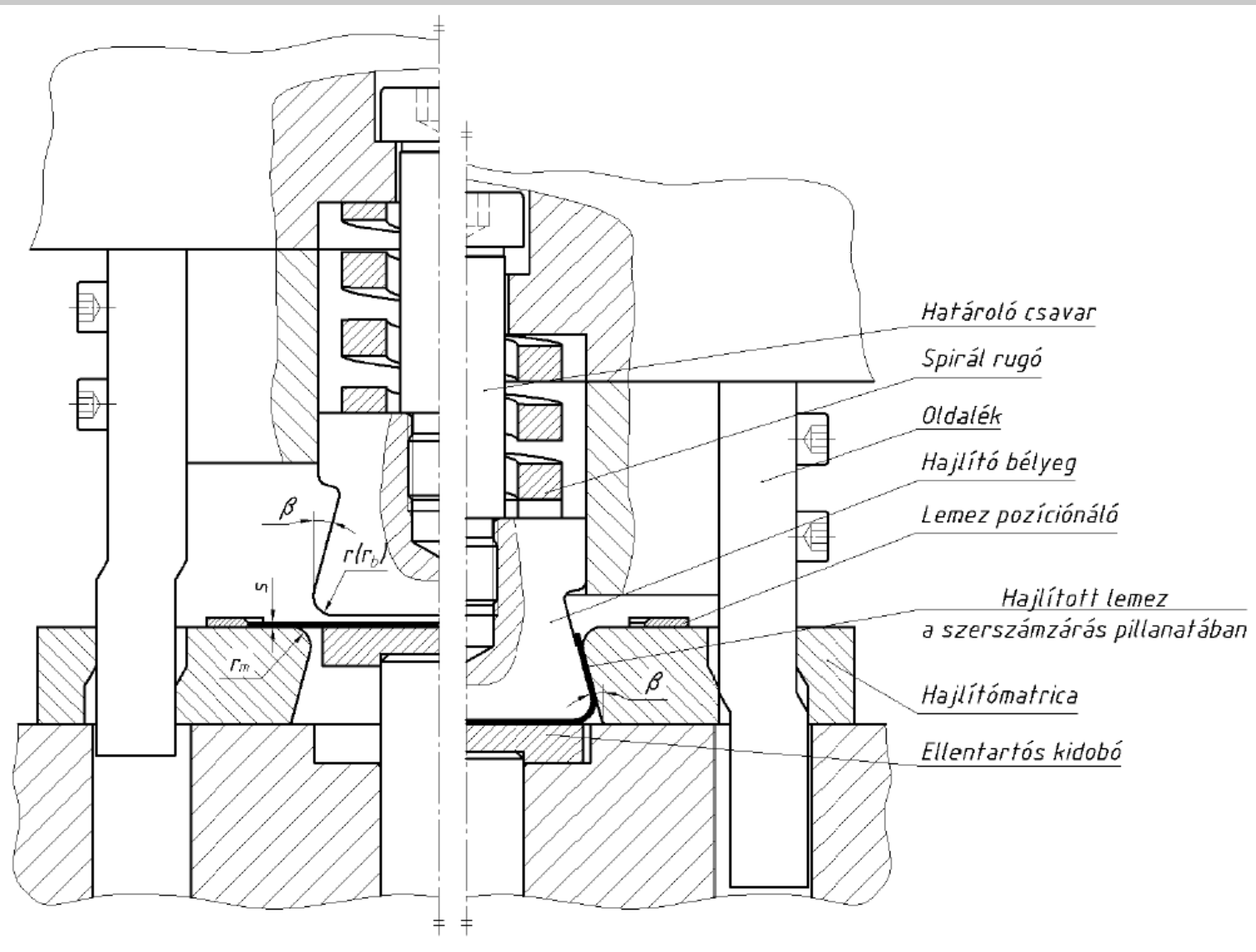
Többszögű (pl. U alakú) hajlításnál a túlhajlítás rendszerint valamilyen pótlólagos mozgással valósítható meg. Ilyen megoldások a billenőtuskós, vagy a forgó görgős szerzőmokban történő hajlítás.



Billenő tuskós túlhajlítás

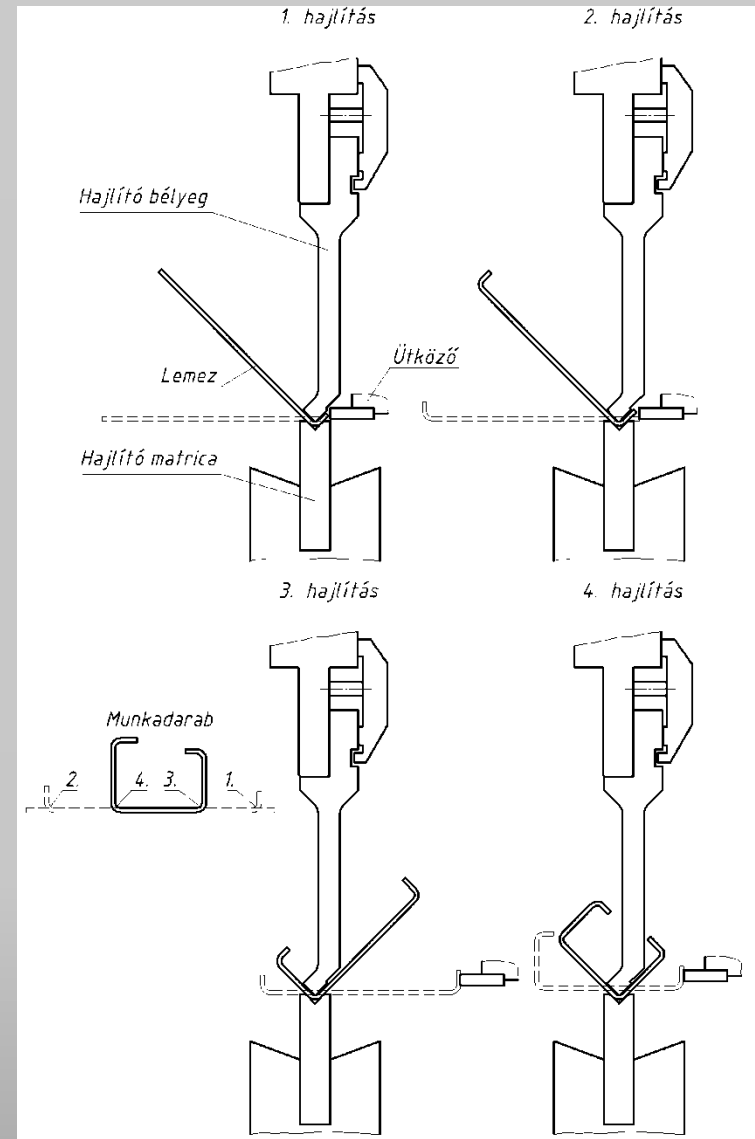


Forgógörgős túlhajlítás

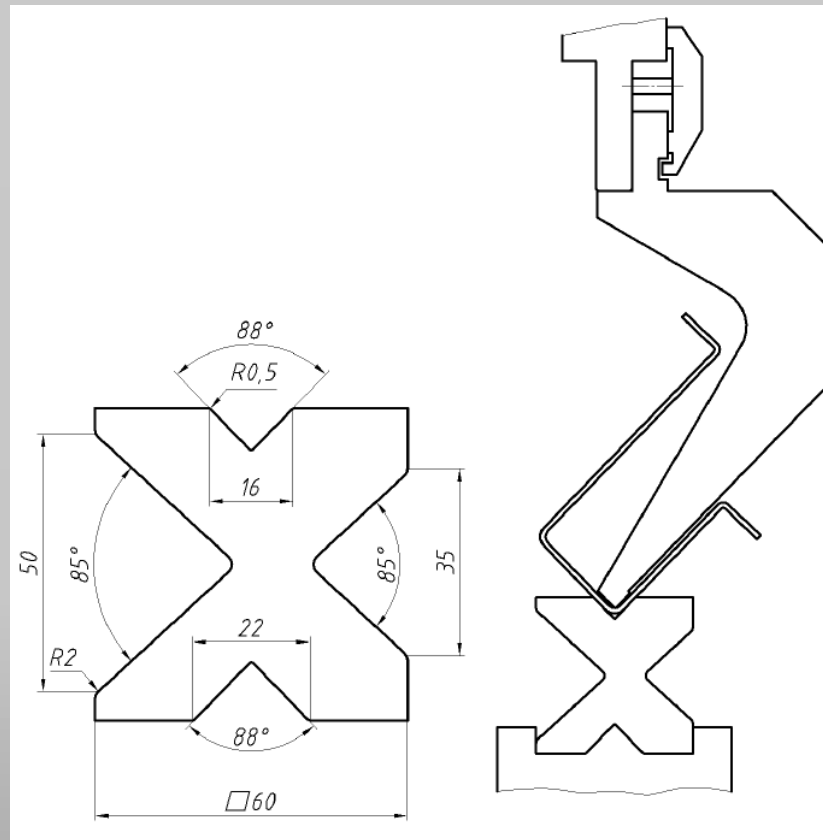


A több hajlítási szöggel bíró hosszú darabok hajlítása élhajlító gépeken történik. A hajlított darab egyes méreteit ütközővel biztosítjuk. Fontos a hajlító műveletek sorrendjének meghatározása. Különösen több szögű munkadarabok esetén. Általános elvként elfogadható, hogy a hajlító műveletek közül mindig a teríték végein lévő hajlításokat kell először elvégezni. A következő ábra egy hajlítási sorrendet mutat be.

Ha a 3-as és 4-es sarkokkal kezdtük volna a hajlítást, a hozzáférhetőség hiánya miatt az 1-es és 2-es sarkok nem lennének meghajlíthatók.



Bonyolult, többszögű hajlításkor ugyancsak a hozzáférhetőség érdekében – igen bonyolult keresztmetszetű bélyegek kellene. Mivel a bélyegek is igen hosszúak lehetnek, ezeket a gyakorlatban hajlító pengéknek is nevezik. A hosszú hajlító matricákat úgy alakítják ki, hogy többféle hajlító műveletre is alkalmasak legyenek



Képek:

Hajlító él
és hajlító matrica
elrendezése

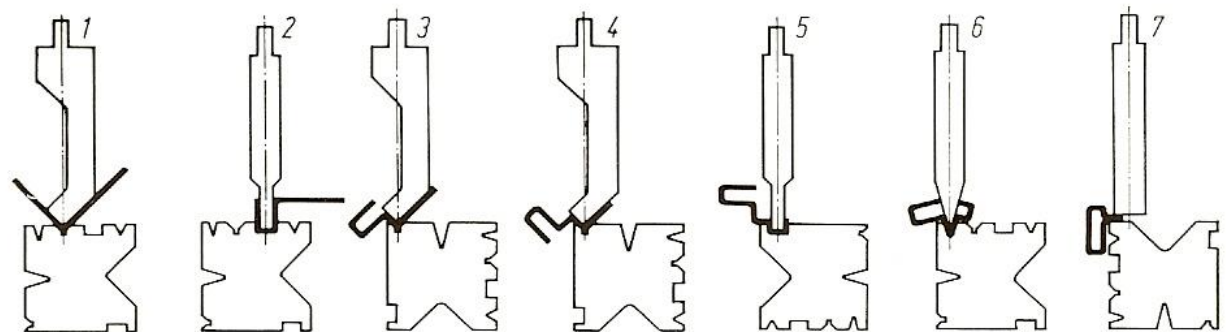
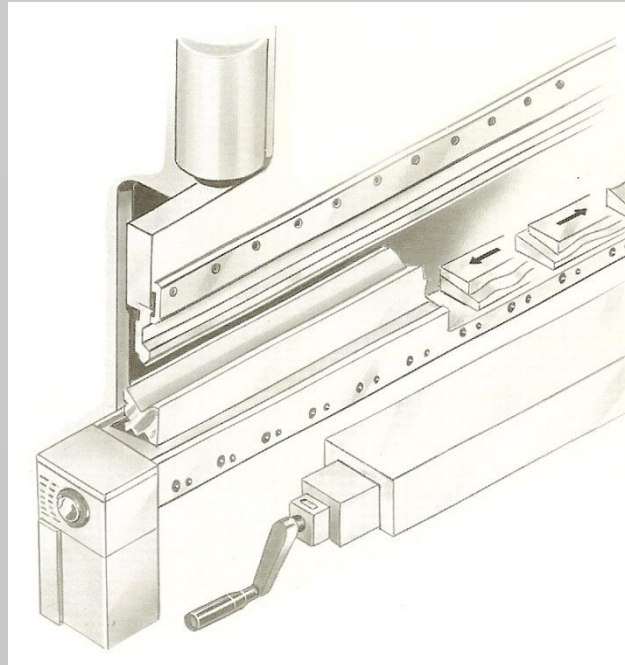
Élhajlító gép

Hajlítási sorrend
(példa)

A hajlító él és matrica
cserélhető a gépen

A lemez előtolást és a
hajlító él mozgását
vezérelni lehet

Kézi mozgatással
bonyolult alakú
dobozok, szerelő
panelek is készíthetők

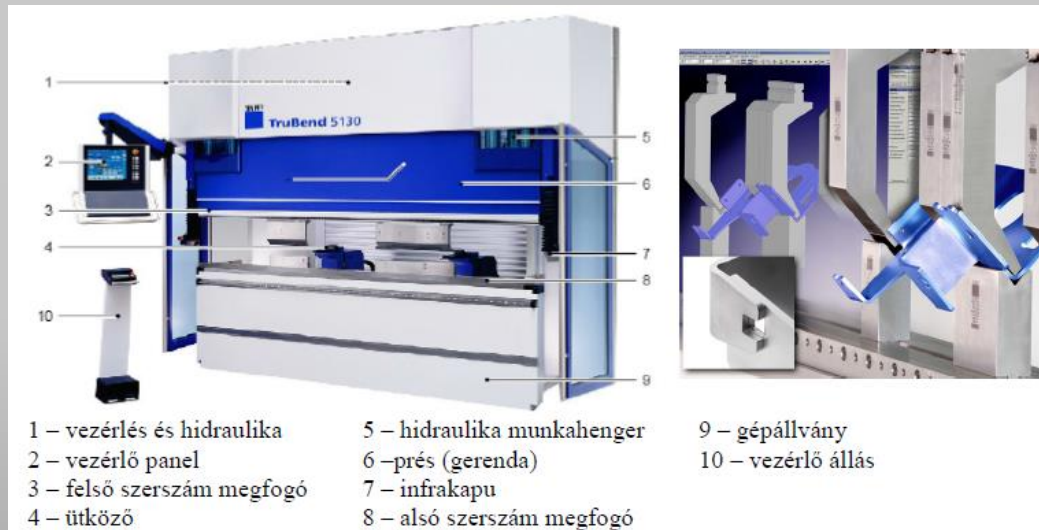


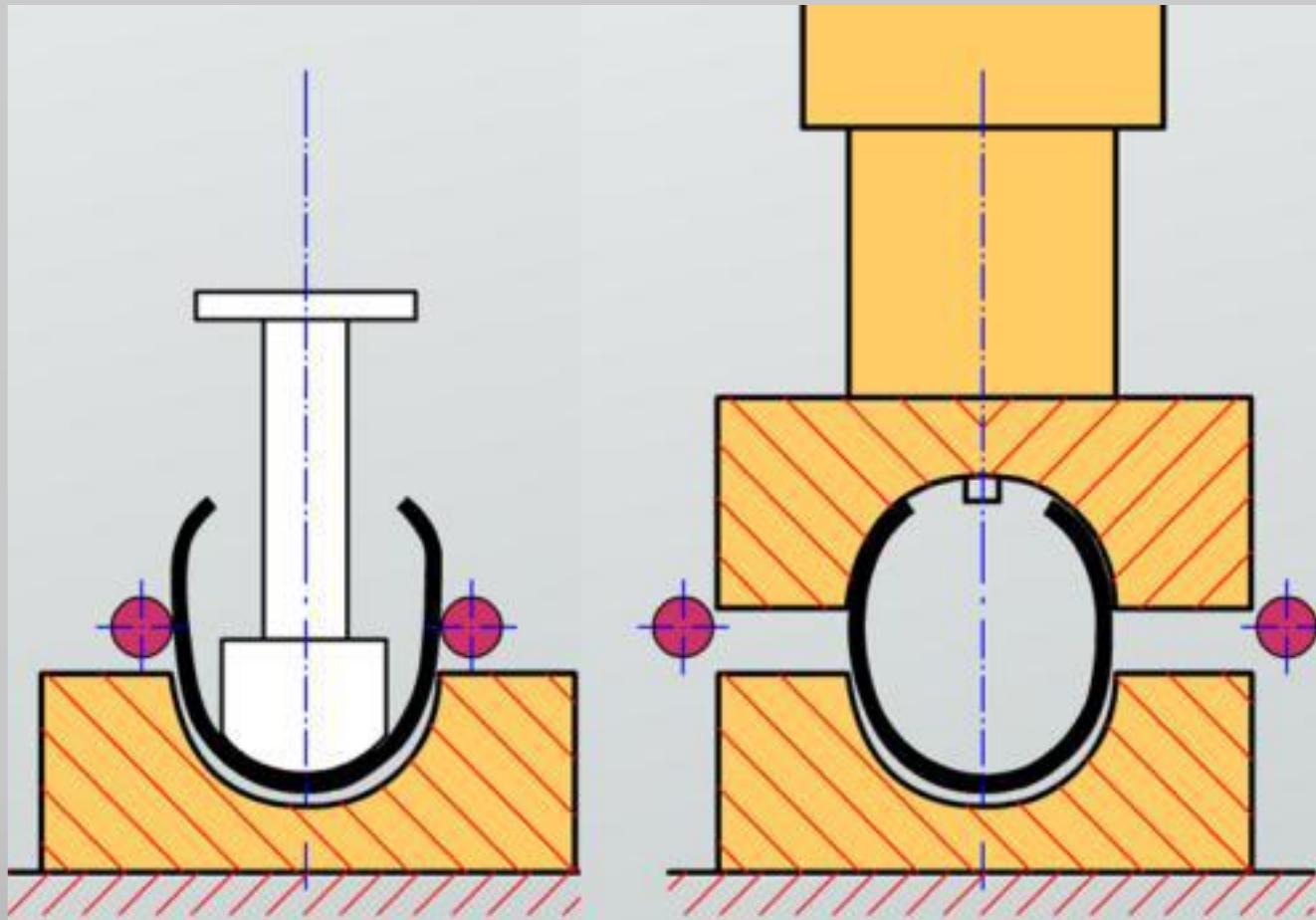
Korszerű élhajlító gépeken több mozgás automatizálható és programozható.

Ilyenek:

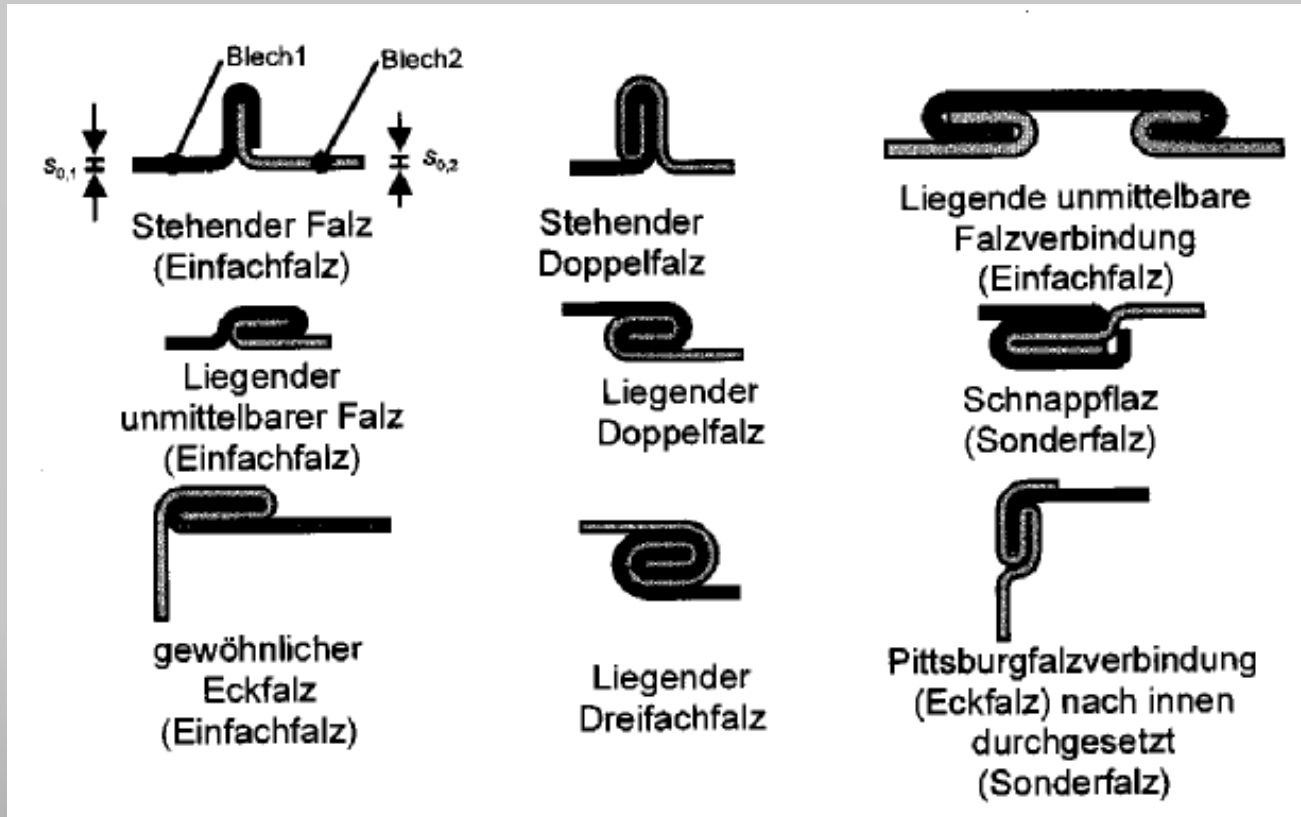
- ütközők helyzete
- a hajlító bélyeg gyors, ún. közelítő sebessége, ill.a munkamozgás sebessége
- a vasaló erő
- a matrica forgatása megfelelő helyzetbe, stb.

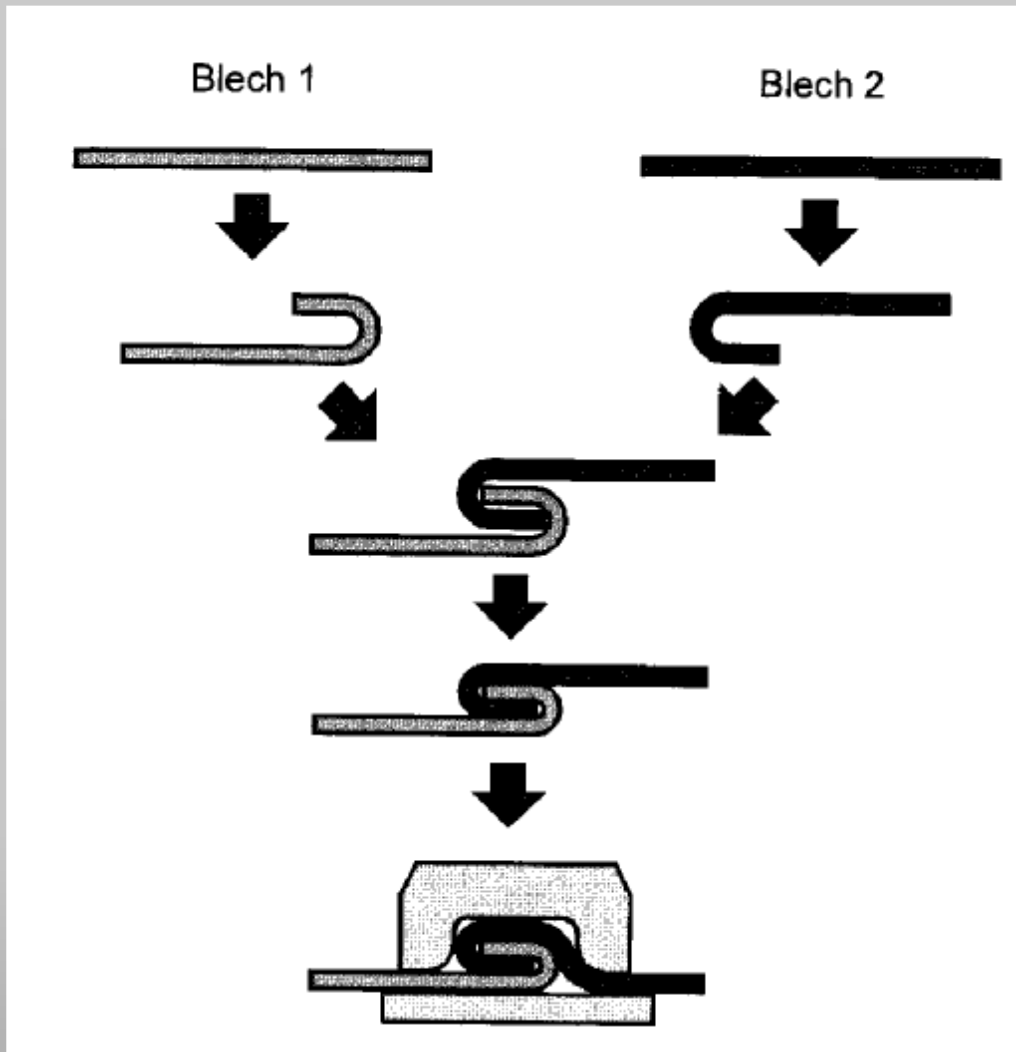
Az ilyen NC/CNC vezérlésű élhajlító gépek, különösen nem nagy darabszámú, de sokféle bonyolult darab esetén az ún. mellékidők csökkentése révén jelentős idő- és költségmegtakarítást jelentenek.





Korcoláskor finomlemezek peremeit varratszerűen és alakzáróan kapcsolják egymáshoz. A lemezek peremét felhajlítják, egymásba kapcsolják, majd összenyomják. Hengeres edények korckötéseinél a fenéket a korckötés előtt bordanyomógépen peremezik.





Sorrend:
 Összekötendő alkatrészek
 Élhajlítás
 Egymásba akasztás
 Préselés

Korcszélesség

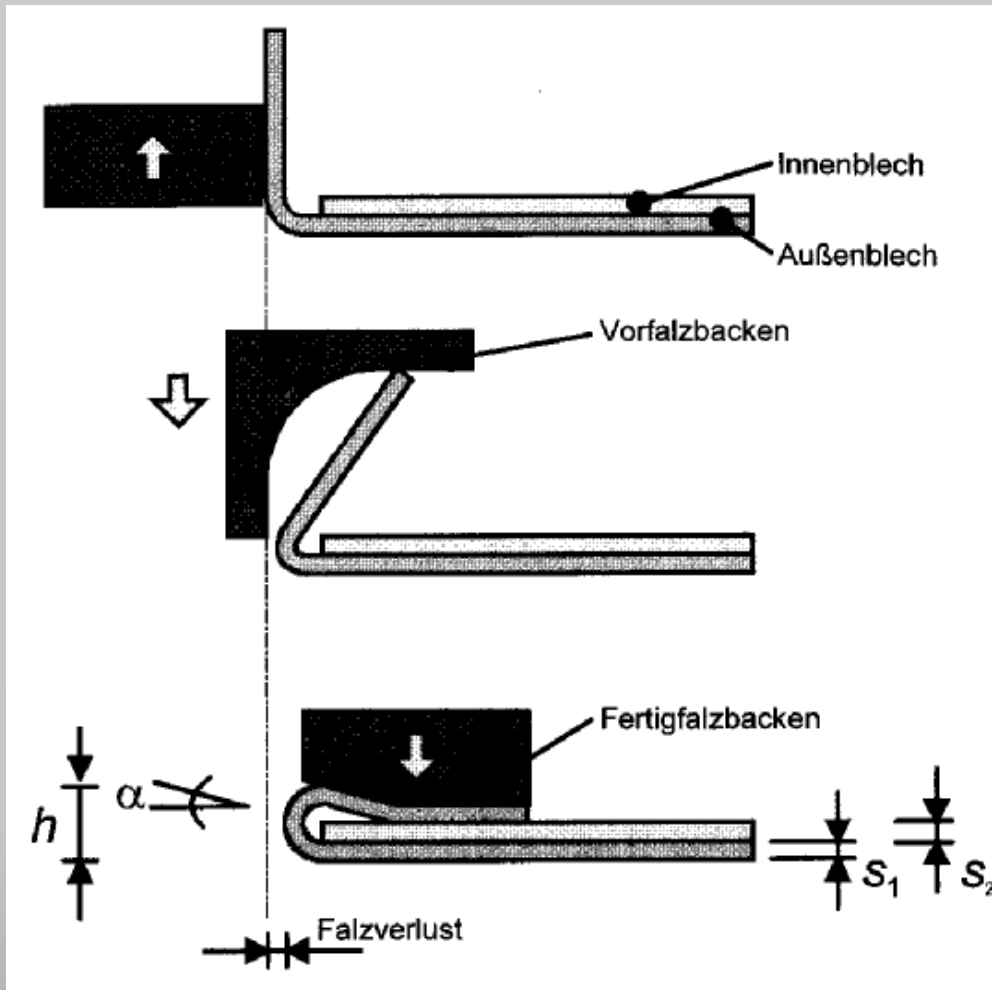
Keskeny korckötéseknek nem elegendő a szilárdságuk, a tartósságuk és nem tömítenek megfelelően. Korcoláskor könnyen felnyílhatnak. Ha a korcszélesség túl széles, akkor fölöslegesen több anyagot kell felhasználni és a korcolási folyamatot is nehezebb végrehajtani, főleg íves alkatrészeken. Az előállítandó alkatrész méretétől és a korckötés alakjától függően 0,8 mm lemezvastagságig a korckötés szélessége 5 és 12 mm között van. Nagyobb lemezvastagságoknál a korckötés szélessége is nő.



Lemezvastagság

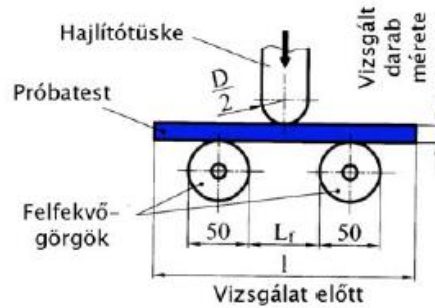
Minél nagyobb a lemezvastagság, annál nagyobb hajlítófeszültségek lépnek fel korcoláskor. Az anyag a külső hajlítási oldalon nyúlik, a belső hajlítási oldalon zömül.

Fennáll annak a veszélye, hogy a külső peremen szakadási repedések keletkeznek. A repedések miatt lecsökken a keresztmetszet és a korckötés nagyobb terhelés hatására felszakadhat. Ha kicsi a lemezvastagság, akkor főleg ívelt korckötéseknél keletkezhetnek ráncok. A gyakorlatban a korckötéseket $s_0 = 0,1 \dots 2$ mm-es lemezvastagságoknál alkalmazzák.

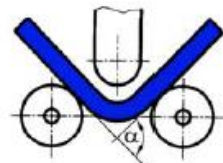
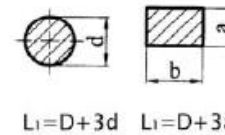


Karosszériaelemek peremezését általában présszerszámokkal végzik. Az alakítást nem szakaszosan végzik, hanem a teljes kötési hosszban két három műveletre osztva készül el.

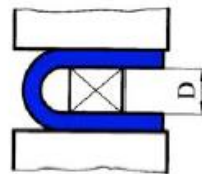
- a külső peremeket felhajlítják 90 fokban
- a peremet 45 fokkal tovább hajlítják
- a peremet készre hajlítják.



Keresztmetszet



Vizsgálat után, az előre meghatározott α szögre meghajlítva



Továbbhajlítva

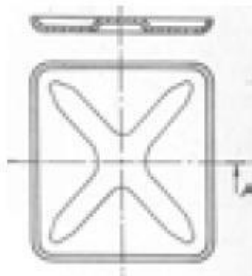
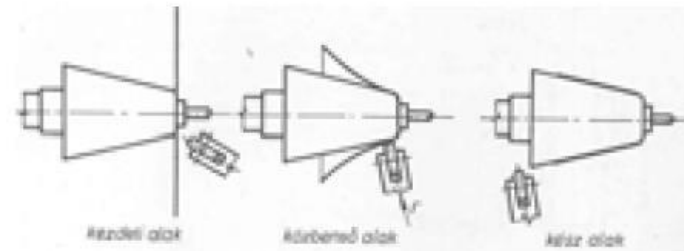
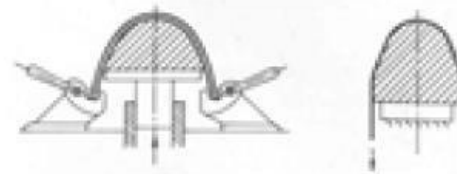
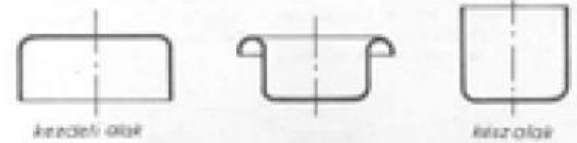
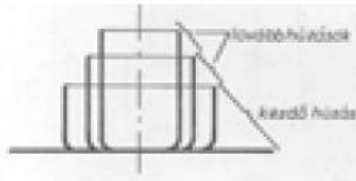
A próbatest méretei

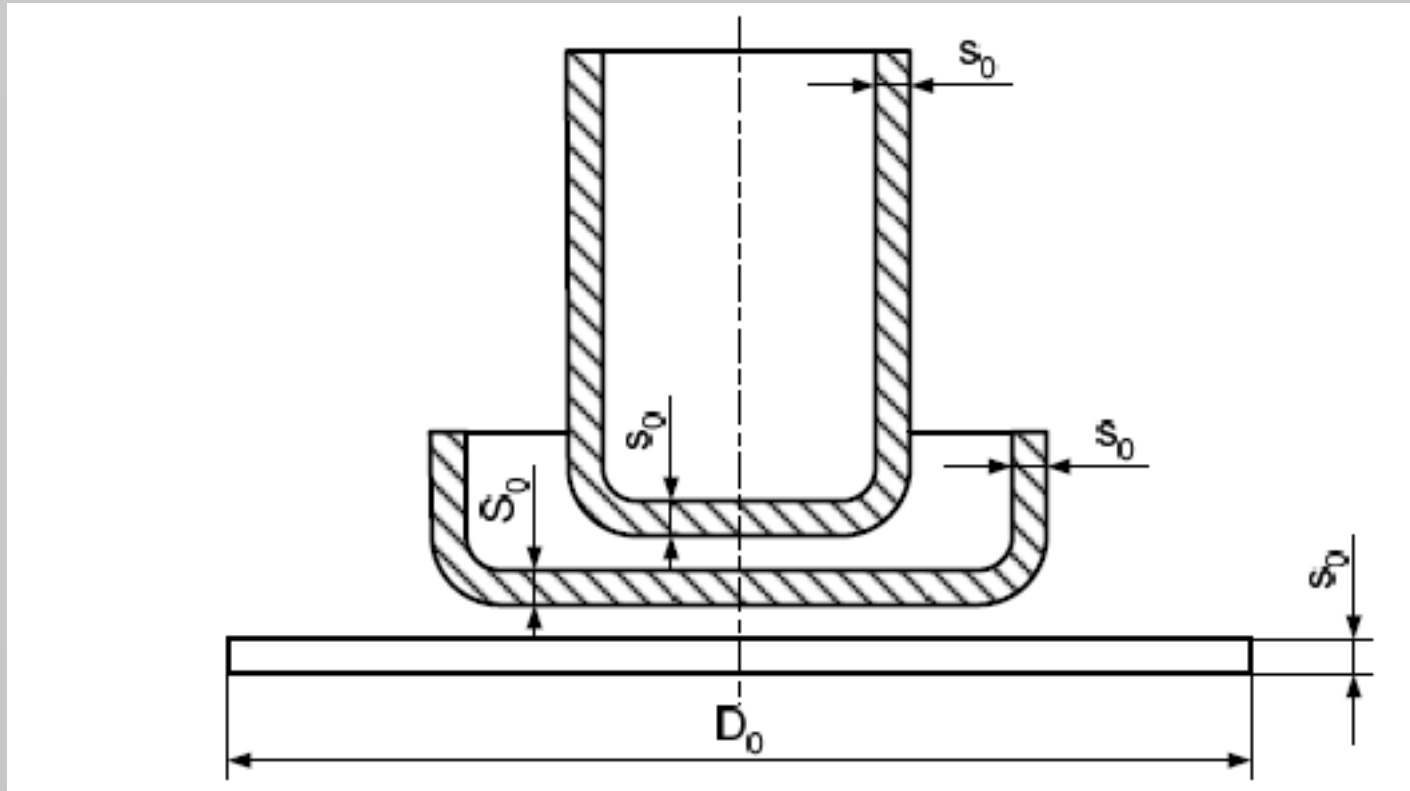
A próbatest hossza	l	mm
A próbatest szélessége	b	mm
A próbatest vastagsága	a	mm
A próbatest átmérője	d	mm



**Falvékonyítás nélküli mélyhúzás. Húzási folyamat.
Ráncképződés. Húzások száma. Mélyhúzó szerszámok.**

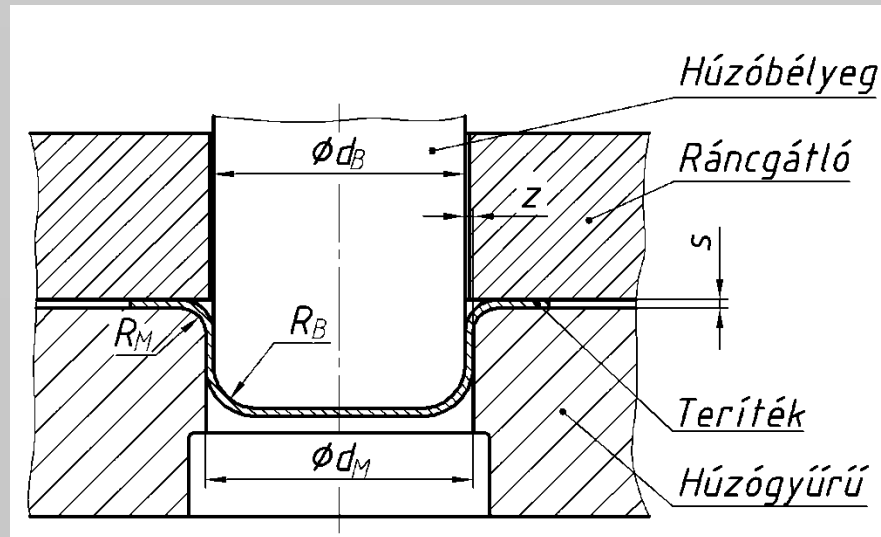
- Mélyhúzás
- Nyújtóhúzás
- Mélynyomás
- Alaknyomás
 - bordázó alaknyomás
 - teljes felületi alaknyomás





A mélyhúzás elvi vázlata: kezdő húzás sík lemezből és továbbhúzás üreges előgyártmányból

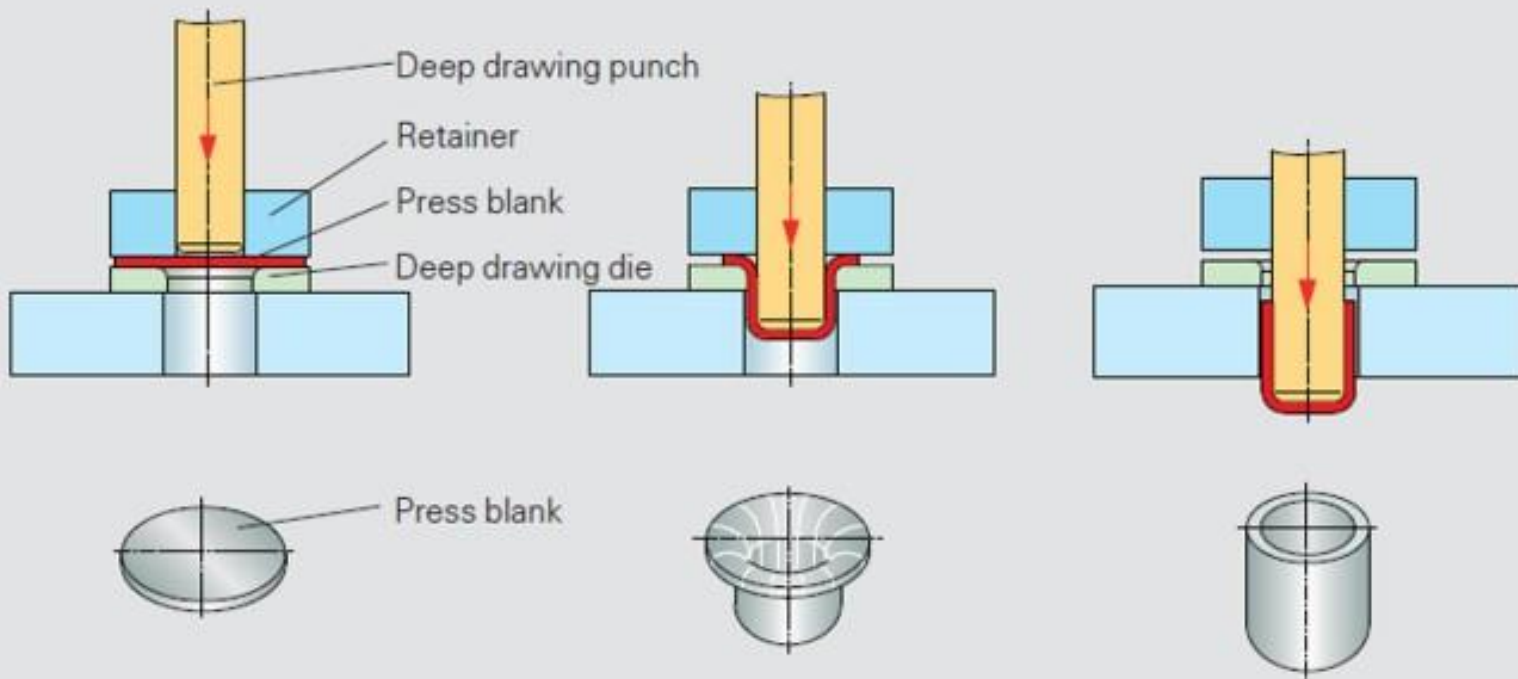
Mélyhúzás során sík lemezből elsősorban húzó igénybevétellel üreges testet alakítunk ki. Vékonyfalú üreges testek tömeges előállítására a leggazdaságosabb képlékeny alakító technológia.



Mélyhúzó szerszám fő részei:

- **mélyhúzó bélyeg** – alakja a mélyhúzott munkadarab alakjának felel meg
- **mélyhúzó gyűrű** – alakja követi a mélyhúzó bélyeg alakját, attól a húzórésszel nagyobb
- **ráncgátló** – a húzandó lemez – teríték – ráncosodásának megakadályozására. Nem minden esetben szükséges
- **teríték** – a kiinduló mélyhúzendó lemez.

Process overview deep drawing:



A mélyhúzás két alapvetően különböző változata:

- **falvékonyítás nélküli**
- **falvékonyító mélyhúzás.**

A falvékonyítás nélküli mélyhúzásnál (amelyet általában egyszerűen mélyhúzásnak nevezünk) a falvastagságot az alakítás során szándékolatlanul nem változtatjuk.

A falvékonyító mélyhúzásnál a falvastagságot rendszerint jelentős mértékben csökkentjük.

A mélyhúzó eljárásokat osztályozhatjuk a *húzott munkadarab alakja szerint* is. Ennek megfelelően beszélünk

- forgásszimmetrikus,
- dobozszerű (jellemzően négyszögszelvényű), illetve
- egyéb alakú alkatrészek mélyhúzásáról.

A mélyhúzás során a lemez egyes részei különböző feszültségi állapotba kerülnek. Alapvetően 3 jól elkülöníthető részt különböztethetünk meg. A közbenső lekerekítéseknél 3 tengelyű feszültségi állapot van.

A legfontosabb szakaszok jellemzése:

I. Ráncgátló alatti lemez feszültségi állapota:

Háromtengelyű feszültségi állapot.

σ_r - húzófeszültség (ez a feszültség igyekszik behúzni a lemezt a húzórésbe), a lemez síkjában ébred ráncosodást okozhat

σ_t – nyomófeszültség

σ_z – nyomófeszültség, a ráncosodást megakadályozó nyomás, ráncgátló nyomás

Főfeszültségek tekintetében:

$$\sigma_1 = \sigma_p$$

$$\sigma_2 = p$$

$$\sigma_3 = \sigma_\theta$$

II. Húzott csésze falában a feszültségi állapot.

Egytengelyű feszültségi állapot

σ_z – húzófeszültség – a húzóbélyegről viszi át a húzóerőt a csésze peremére. Ebből ébred a keresztmetszetben ez a húzófeszültség.

III. Csésze fenekén a feszültségi állapot.

Síkbeli feszültségi állapot a jellemző.

σ_x – húzófeszültség

A húzóerőt a bélyeg a csésze fenekén keresztül

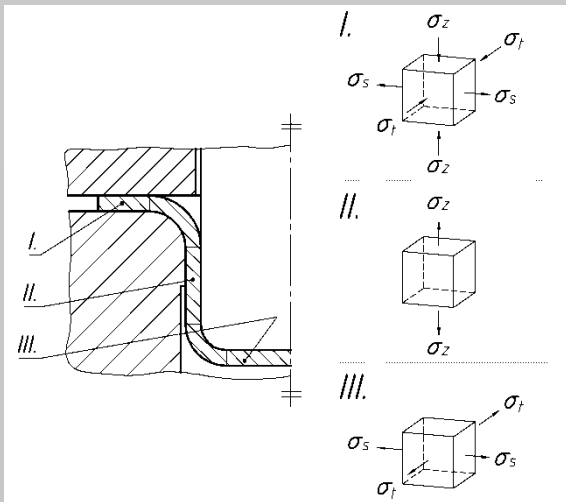
σ_y – húzófeszültség

közvetíti a mdb-ra.

Körszimmetrikus darabok esetén

$$\sigma_x = \sigma_y$$

$$\text{ill. } \sigma_1 = \sigma_2$$



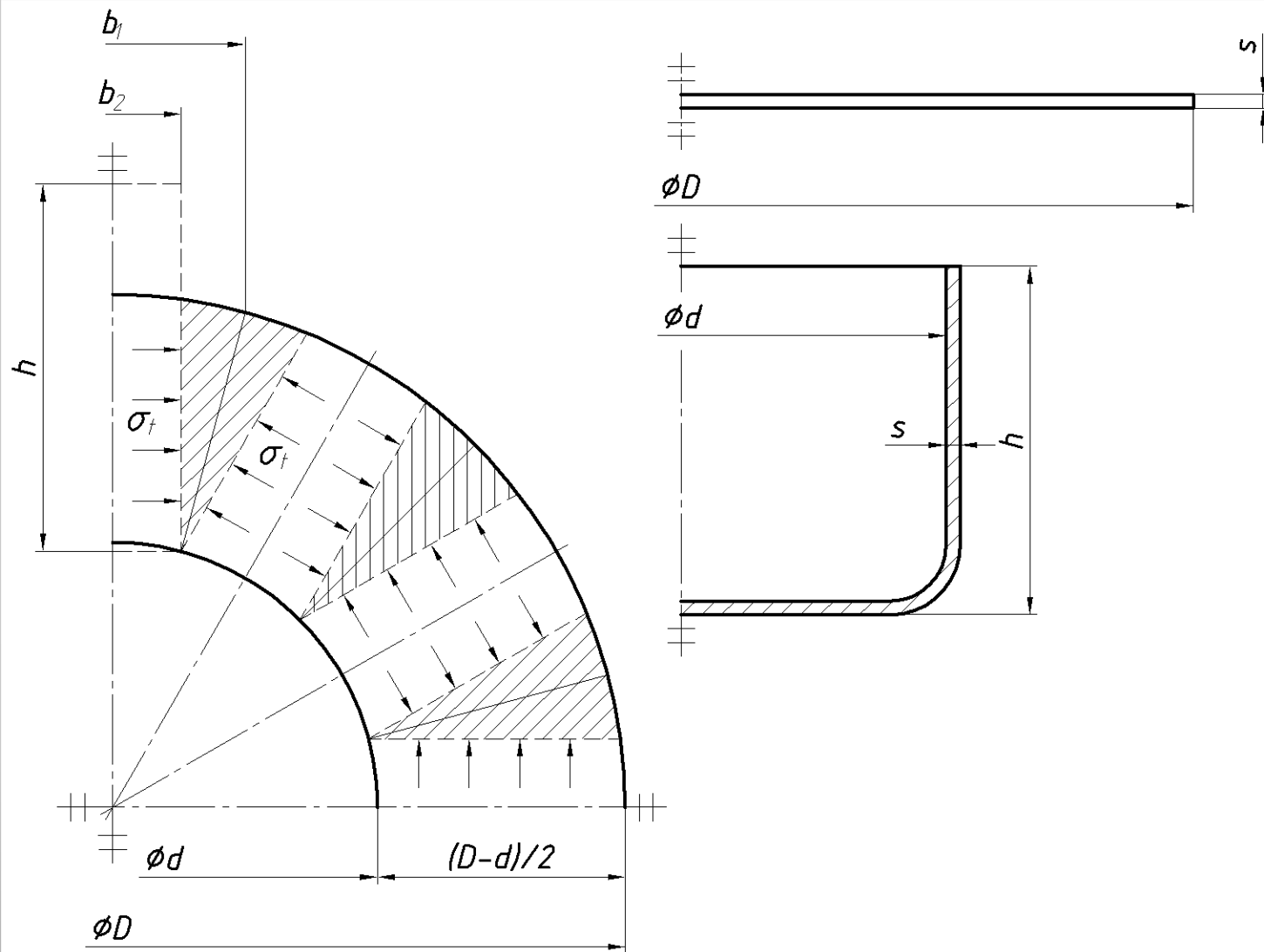
A mélyhúzás folyamatára jellemző, hogy egy nagyobb átmérőjű sík tárcsából ($\varnothing D$) egy kisebb átmérőjű csészét ($\varnothing d$) hozunk létre. Mint az ábrán is látható ez csak úgy jöhet létre, hogy az ábrán vonalkázott szegmensek az oldalmagasság növelésére fordítódnak. Erre egy nyomó igénybevételre van szükség. Ez biztosítja a σ_{θ} feszültség. Ezen nyomófeszültség hatására a lemez kihajlana, felülete hullámosodna, ráncosodna. Ezt a ráncosodást akadályozza meg a ráncgátló. Ha a lemez vastagabb, a kiinduló tárcsaátmérő ($\varnothing D$) kisebb a ráncosodás veszélye nem áll fenn, ráncgátló nélkül is eredményes lehet a mélyhúzás.

Ráncgátlót kell alkalmazni:

- ha $\frac{D}{s} > 40$ (30)
- ha nagy a teríték átmérője
- ha kicsi a lemez vastagsága

Ráncgátló nem kell

- ha $\frac{D}{s} < 30$ (40)
- vagyis ha kicsi a teríték átmérője
- ha vastag a lemez



A megfelelő ráncgátló nyomást végleges értékre a gyakorlati próbahúzások során állítják be.

Tervezéshez egyes szerzők olyan összefüggéseket adnak, amelyek által meghatározott ráncgátló nyomások a kísérletek számára jó irányértéknek bizonyulnak.

Siebel szerint

$$p_r = 2,5 \left[(\beta - 1)^2 + \frac{0,5d}{100 \cdot s_0} \right] R_m \text{ [N/cm}^2 \text{]}$$

Romanovszki szerint

$$p_r = 2 \left(\frac{D}{d} - 1,2 \right) \frac{D}{100 \cdot s_0} \text{ [N/cm}^2 \text{]}$$

Anyagminőség	Lemezvastagság mm	P_r N/mm²
Mélyhúzható acéllemez	$s < 0,5$	2,5 – 3
	$s > 0,5$	2 – 2,5
Sárgaréz		2 – 2,4
Al 99,5		1 – 1,2
Al-Mg-Si, Al-Mn		1,2 – 1,4
Al-Cu-Mg		1,5 – 1,8

A mélyhúzás mértékének jellemzésére használjuk a húzási fokozatot.

$$m = \frac{d}{D}$$

Ahol: d – a húzott csésze közepes átmérője [mm]
(kis lemezvastagság esetén a bélyegátmérő)
 D – teríték (tárcsa) átmérője [mm]

Többfokozatú húzásnál

Első húzás $m_1 = \frac{d_1}{D}$

Második húzás (első továbbhúzás) $m_2 = \frac{d_2}{d_1}$

A húzási fokozati tényező 1-nél mindig kisebb, legkisebb elérhető értéke a fokozati határtényező. Elméleti határértéke $m_e=0,368$

Húzási viszony

A húzási fokozat reciproka

$$\beta = \frac{1}{m} \qquad \beta = \frac{D}{d}$$

Anyag	Kezdő húzás		Továbbhúzás	
	m	β	m_1	β
Kereskedelmi lágyacél	0,65	1,54	0,8	1,25
Mélyhúzható acél	0,6	1,76	0,8	1,25
Karosszéria lemez (kiválóan mélyhúzható lemez)	0,55	1,82	0,75	1,34
Ferrites korrozióálló acél	0,58	1,73	0,8	1,25
Auszténites korrozióálló acél	0,59	1,69	0,83	1,2

A hagyományos mélyhúzási eljárásoknál a mélyhúzó erő számítására több eljárás is ismert. A mélyhúzásnál az erőszükséglet több komponensből tevődik össze. Ezen komponensek az alábbiak:

- az alakításhoz szükséges erőkomponens,
- ráncgátló alatti súrlódó erő legyőzéséhez szükséges erőkomponens,
- a perem kettős hajlításának erőszükséglete
- belső anyagelmozdulások létrejöttéhez szükséges erő.

A különböző számítási eljárások a fenti komponensekből egy-kettőt, vagy többet vesznek figyelembe. Kevesebb komponens figyelembe vételénél bevezetnek olyan tényezőket, amellyel a többi komponens hatását igyekeznek ellensúlyozni, figyelembe venni.

Számítási eljárások:

a) Siebel szerint
$$F_m = \frac{d_0 \cdot \pi \cdot s_0 k_{fk}}{\eta_{alak}} \cdot \left(\ln \frac{D_0}{d_b} - c \right) \quad \eta_{alak} = 0,5 \dots 0,65$$

 $c = 0,25$ maximális erő helyét veszi figyelembe

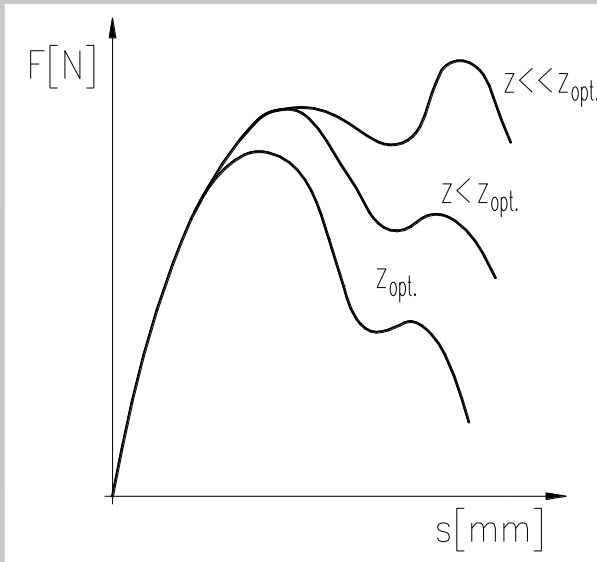
b) A gyakorlatban legtöbbször a fenékleszakító erőt alkalmazzák a maximális mélyhúzó erő közelítő meghatározására.

$$F_{max} = d_k s_0 \pi R_m \gamma \quad [N]$$

c) Geleji szerint a mélyhúzás erőszükséglete [F_m]

$$F_m = \left[k_k \cdot (D_0 - d_b) \cdot \pi \cdot s_0 + 0,03 \cdot \frac{d_b}{2} \cdot s_0 \cdot R_{p0,2} + 2 \cdot \mu \cdot F_r \right] e^{\mu \cdot \frac{\pi}{2}} + \frac{R_{p0,2} \cdot d_b \cdot \pi \cdot s_0^2}{4 \cdot \left(r_m + \frac{s_0}{2} \right)} \left(1 + e^{\mu \cdot \frac{\pi}{2}} \right)$$

$$k_k = \frac{k_{fk}}{1 + \frac{D_0 - d_b}{2 \cdot d_b}}$$



Ha a határhúzási viszonyhoz közel vagyunk, akkor $\gamma=1$, ha $\beta < \beta_{max}$, akkor az γ értékei táblázatból vehetők ki.
 A mélyhúzás erőszükségletének változását a mélyhúzási út (csészemagasság „h”, bélyeg útja) függvényében az ábra mutatja be különböző méretű húzórés esetén.

A mélyhúzás munkaszükséglete arányos a görbe alatti területtel. Ez alapján

$$W = \frac{e \cdot F \cdot h}{1000} \quad [J]$$

„e” értékei a húzási tényező mértékétől függenek.

m	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90
y	1,00	0,86	0,72	0,60	0,50	0,40	0,20
e	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64	0,60

Mélyhúzáskor nagyon fontos a kiinduló teríték méretének helyes meghatározása.

Ha a kiinduló teríték kicsi:

- a mélyhúzás biztonságosan elvégezhető
- a mélyhúzott edény magassága nem adódik ki
- fülesedés miatt nem teljes kerület mentén biztosítható a mélyhúzott edény magassága

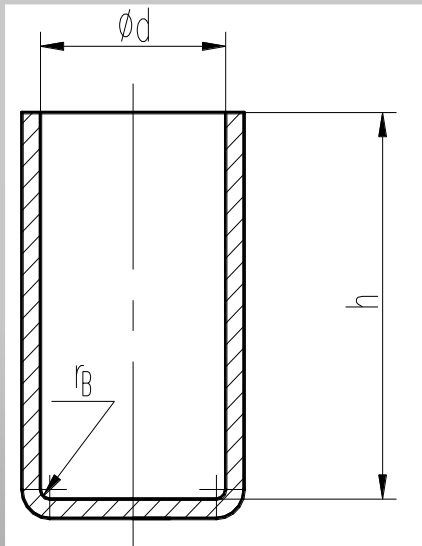
Ha a kiinduló teríték nagy:

- a mélyhúzás esetleg nem végezhető el, fenékleszakadás lép fel
- anyagpazarlás, rossz anyagkihozatal a jellemző.

A számítási mód jellemzői:

- térfogat állandósággal számolunk
- nem vesszük figyelembe a falvastagság változását, ezért a térfogatállandóságot felületi megegyezésre egyszerűsítjük
- nem vesszük figyelembe a mélyhúzott edény lekerekítési sugarát. Ha ez kicsi, kisebb hibát vétünk, nagyobb sugárnál pontatlanabb a számítás, nem alkalmas a kiinduló teríték meghatározására.
- a lemez anizotrópiájából keletkező fülesedés miatt a mélyhúzott edény kívánt magasságánál 5%-kal nagyobb magasságot veszünk figyelembe.

Hengeres üreges test kiinduló teríték méretének meghatározása: az ábra jelölései alapján fenti egyszerűsítések figyelembe vételével:



Teríték átmérője: D

Bélyeg átmérője: d

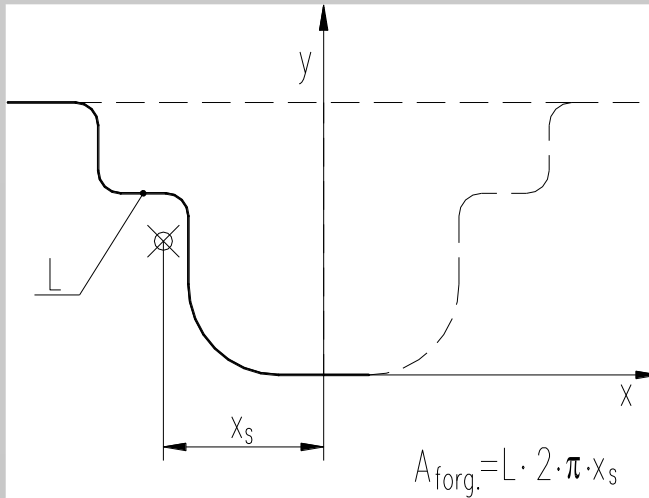
Üreges test magassága: h

Felületállandóság alapján:
$$\frac{D^2 \pi}{4} = \frac{d^2 \pi}{4} + d \pi \cdot h$$

Teríték átmérője:

$$D = \sqrt{d^2 + 4d \cdot h}$$

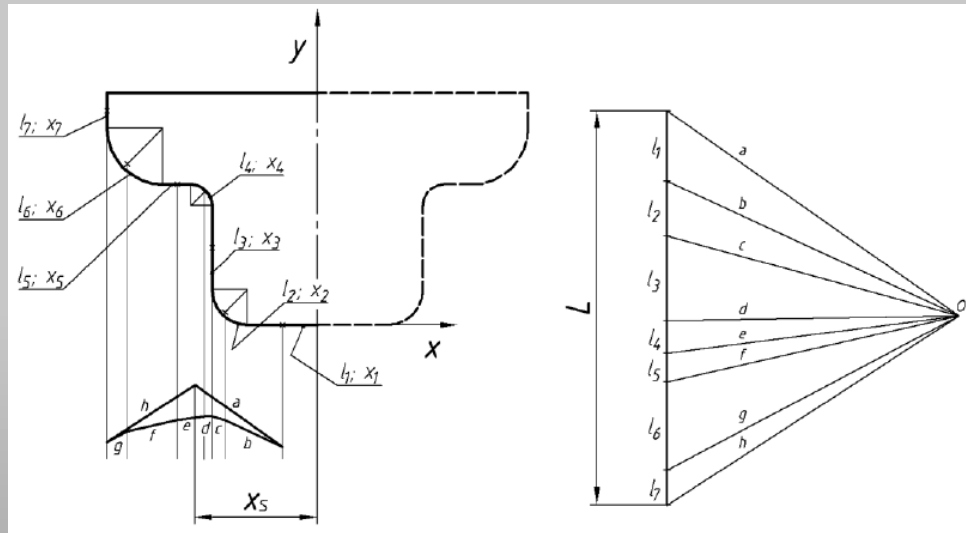
Közelítő számítási mód a teríték méretének meghatározására.



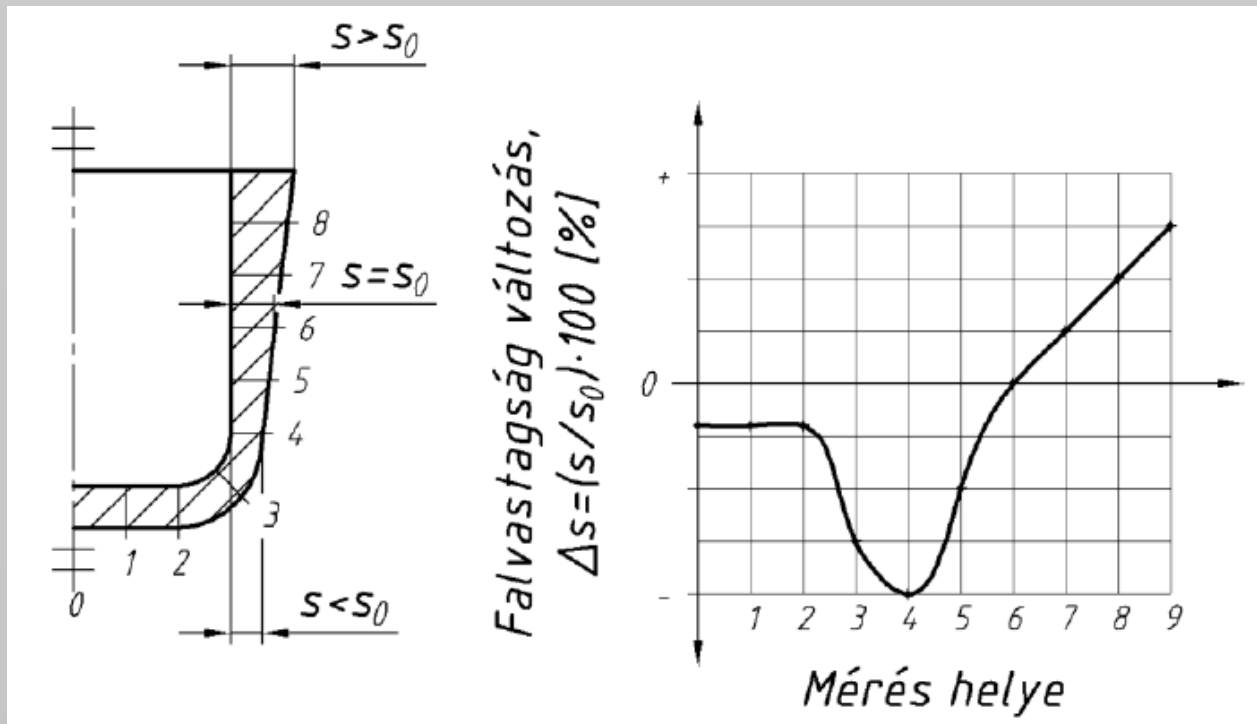
Ha a húzott hengeres üreges test átmérője változó a lekerekítések nagyobbak, nem hanyagolhatók el, úgy a palást felületének meghatározása a Pappus-Guldin tétel segítségével történik.

Pappus-Guldin tétel:

Bármely forgástest felületét kiszámíthatjuk, ha a forgástest meridián metszetének hosszát „L” szorozzuk a görbe súlypontjának a forgástengely körül leírt kör kerületével.



Mélyhúzás során a lemezzvastagság nem marad változatlan. Egyes helyeken elvékonyodhat, más helyeken a lemezzvastagság nőhet. Az ábrán bemutatjuk a lemezzvastagság változását a mélyhúzott csésze keresztmetszeteiben.



Mélyhúzás során legnagyobb lemezzvastagság-csökkenés a 3-4 hely között a fenékrádiusból a hengerpalást felé való átmenet helyén lép fel. Ha nagy a mélyhúzás erőszükséglete, itt kell számítani lemezzszakadásra (fenékeszakadás).

A 6 jelű keresztmetszettől kezdve a lemezzvastagság nő, mértéke függ az alkalmazott húzórés méretétől.

A lemezzvastagság-változás figyelembe vételéhez bevezetünk egy nyúlási számot (α).

$$\alpha = \frac{s_k}{s_0}$$

s_0 – a teríték lemezzvastagsága
 s_k – a húzott csésze átlagos falvastagsága

A fentiek figyelembe vételével a teríték átmérője az alábbiak szerint számítható:

$$D = \sqrt{\alpha \frac{4}{\pi} A_{\text{forg}}}$$

A nyúlási szám függ a mélyhúzó szerszám jellemző méreteitől, a húzás sebességétől és a ráncgátló nyomástól is. A fentiek függvényében tapasztalati adatok alapján a nyúlási szám táblázatból kivehető.

$\frac{r_M + r_B}{s_0}$	$z_0 = \frac{d_M - d_B}{2s_0}$	p N/mm ²	v m/s	α
3	1,1	1 – 2	0.2	1,0 – 0,97
3 – 2	1,1 – 1,0	2 – 2,5	0,2 – 0,4	0,97 – 0,93
2	1,0 – 0,98	2,5 – 3	0,4	0,93 – 0,90

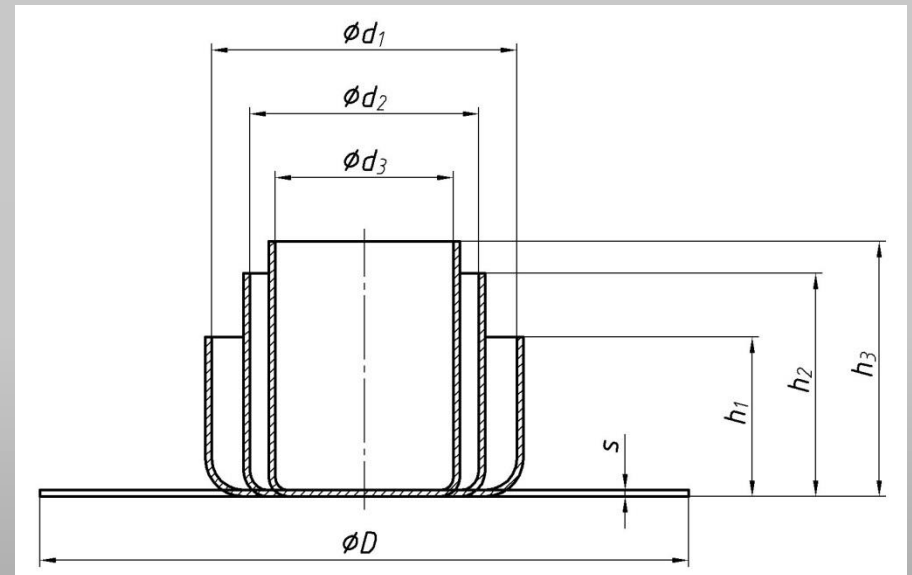
Az elméletileg meghatározott teríték végleges méretét próbahúzások során kell megállapítani, és csak ezután lehet teríték-kivágó szerszámot legyártani vagy a terítéket megrendelni.

Mélyhúzott üreges testet gyakran nem tudunk egy lépésben kész méretre gyártani. Ilyen esetben többlépcsős mélyhúzással érhetjük el, a végső méretet. A mélyhúzás hidegalakító művelet, amely velejárója a megmunkált lemez felkeményedése, az alakváltozásának a kimerülése, így tovább alakítva az anyag tönkremegy. Ennek megakadályozására a mélyhúzási fokozatok közé újrakristályosító lágyítást kell beiktatni.

Húzási tényező $m = \frac{d}{D}$

Átmérőcsökkenésből származó alakváltozást kifejezhetjük a húzási tényezővel:

$$q = \frac{D-d}{D} = 1 - \frac{d}{D} = 1 - m$$



Ha a kiinduló tárcsaátmérő D , akkor az egyes húzási fokozatokban az alábbi húzási tényezők határozhatók meg:

Előhúzó fokozat: $m = \frac{d_1}{D}$

1. továbbhúzó fokozat $m_1 = \frac{d_2}{d_1}$

2. továbbhúzó fokozat $m_2 = \frac{d_3}{d_2}$

n. továbbhúzó fokozat $m_n = \frac{d_{(n+1)}}{d_n}$

Ha a húzási tényező az előhúzó fokozatban

m

a továbbhúzó fokozatok mindegyikében

$m_1,$

akkor a szükséges húzási fokozatok az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$n = 1 + \frac{\lg d_n - \lg(mD)}{\lg m_1}$$

Ha eltekintünk a falvastagság változásától, akkor az egyes húzásokban elért alakváltozásokat az alábbiak szerint írhatjuk fel:

Előhúzó fokozat $q_1 = \frac{D - d_1}{D} = 1 - m$

1. továbbhúzó fokozat $q_2 = \frac{D - d_2}{D} = 1 - m_1 \cdot m$

2. továbbhúzó fokozat $q_3 = \frac{D - d_3}{D} = 1 - m_1^2 m$

K-adik húzás után $q_k = \frac{D - d_k}{D} = 1 - m_1^{(k-1)} \cdot m$

Ha az alakítás során $q_k \geq q_{\max}$ akkor olyan mértékű az anyag felkeményedése, hogy közbenső lágyítás nélkül nem végezhető el e mélyhúzott edény gyártása.

Húzások száma első lágyításig:

$$k = 1 + \frac{\lg(1 - q_{\max}) - \lg m}{\lg m_1}$$

Anyag	Előhúzó fokozat m	Továbbhúzó fokozat m ₁	Max. alakváltozási mérték ϕ _{össz max}
Kereskedelmi lágyacél	0,60 – 0,65	0,80	0,45 – 0,55
Mélyhúzható acél	0,55 – 0,60	0,75 – 0,80	0,55 – 0,65
Sárgaréz CuZn37	0,52 – 0,55	0,75 – 0,80	0,65 – 0,70
Sárgaréz CuZn32 CuZn28	0,50 – 0,55	0,70 – 0,75	0,75 – 0,85
Réz Cu	0,55 – 0,60	0,80 – 0,85	0,70 – 0,80
Al 99,5	0,52 – 0,55	0,70 – 0,75	0,55 – 0,65
Al-Mg-Cu	0,55 – 0,60	0,80	

Mélyhúzásra alkalmas anyagok lehetnek:

- acélok
 - kis széntartalmú ötvözetlen acélok
 - ferrites korrózióálló acélok
 - ausztenites korrozióálló acélok
- vörösréz
- sárgaréz
- alumínium és ötvözetei

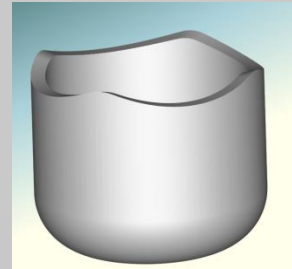
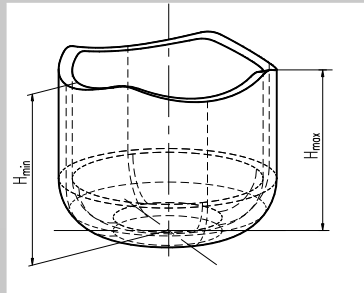
Az anyagok jellemzői:

- kémiai összetételük
- keménységi fokozat
- felületi minőség

Keménységi fokozat szerint az anyagok:

- 1) lágy ($R_{m\text{lágy}}$, vagy $HB_{\text{lágy}}$)
- 2) negyed kemény ($R_m=1,1 R_{m\text{lágy}}$, vagy $HB=1,1 HB_{\text{lágy}}$)
- 3) félkemény ($R_m=1,2 R_{m\text{lágy}}$, vagy $HB=1,2 HB_{\text{lágy}}$)
- 4) kemény ($R_m=1,4 R_{m\text{lágy}}$, vagy $HB=1,4 HB_{\text{lágy}}$)
- 5) rugó kemény ($R_m=1,8 R_{m\text{lágy}}$, vagy $HB=1,8 HB_{\text{lágy}}$)

A hengerelt lemezek egyirányú alakítást szenvednek a hengerlés során és a mechanikai tulajdonságaik a hengerlési iránytól függővé válnak. Az mondjuk, hogy a lemez anizotróp. Mélyhúzás során a lemez körszimmetrikus igénybevételnek van kitéve. Mivel a lemez tulajdonságai nem szimmetrikusak a mélyhúzás során a csésze fülesedni fog.



A fülesedés számszerűen is kifejezhető.

$$f = \frac{H_{max} - H_{min}}{H_{min}} 100\%$$

A mélyhúzott edényről a képződött füleket el kell távolítani, így növeli a teríték méretét, rontja az anyagkihozataalt.

A mélyhúzó szerszám egyes elemeinek geometriai kialakítása hatással van a mélyhúzás folyamatára. Rosszul kialakított geometriával esetleg el sem végezhető a mélyhúzás.

Húzó élek lekerekítése

Ráncgátló nélküli mélyhúzás

A húzógyűrű lekerekítési sugara befolyásolja az alakítás erőszükségletét. Minél nagyobb az R_M annál kisebb lesz a húzóerő. Ráncgátló nélküli mélyhúzásnál a körívvel lekerekített húzógyűrű maximális sugara:

$$R_{\max} = \frac{D - d}{2}$$

Ráncgátlós mélyhúzás

Ebben az esetben kisebb lekerekítés valósítható meg, mert csak így biztosítható a szükséges ráncgátlás. Oehler a következő összefüggést ajánlja:

$$R_M = 0,05[50 + (D - d_1)]\sqrt{s_0}$$

A tapasztalatok szerint az így meghatározott lekerekítési sugárnál kisebb sugárral is biztonságosan elvégezhető a mélyhúzás. Gyakorlati adatok alapján a húzógyűrű minimális lekerekítési sugarára ajánlott érték a lemeztvastagság két-, háromszorosa.

Anyagminőség	Lemezvastagság (mm)	R_M (mm)
Mélyhúzható acéllemez	$s_0 \leq 3$	$(5-10) s_0$
	$3 < s_0 \leq 6$	$(4-6) s_0$
	$6 \leq s_0 < 20$	$(2-4) s_0$
Alumínium, réz, sárgaréz	$s_0 \leq 3$	$(3-5) s_0$
	$3 \leq s_0 < 20$	$(1,5-3) s_0$

A bélyeg lekerekítési sugara főként a lemez elvékonyodását befolyásolja. Általában az a célszerű ha megegyezik a húzógyűrű lekerekítési sugarával. Ha a késztermékre ennél kisebb lekerekítési sugár van előírva, ezt az utolsó fokozatban kell biztosítani. De ebben az esetben sem lehet kisebb az alábbi értékeknél:

$$s_0 \leq 6 \text{ mm}$$

$$R_{Bmin} = 2,5$$

$$6 < s_0 < 20 \text{ mm}$$

$$R_{Bmin} = 1,5 s_0$$

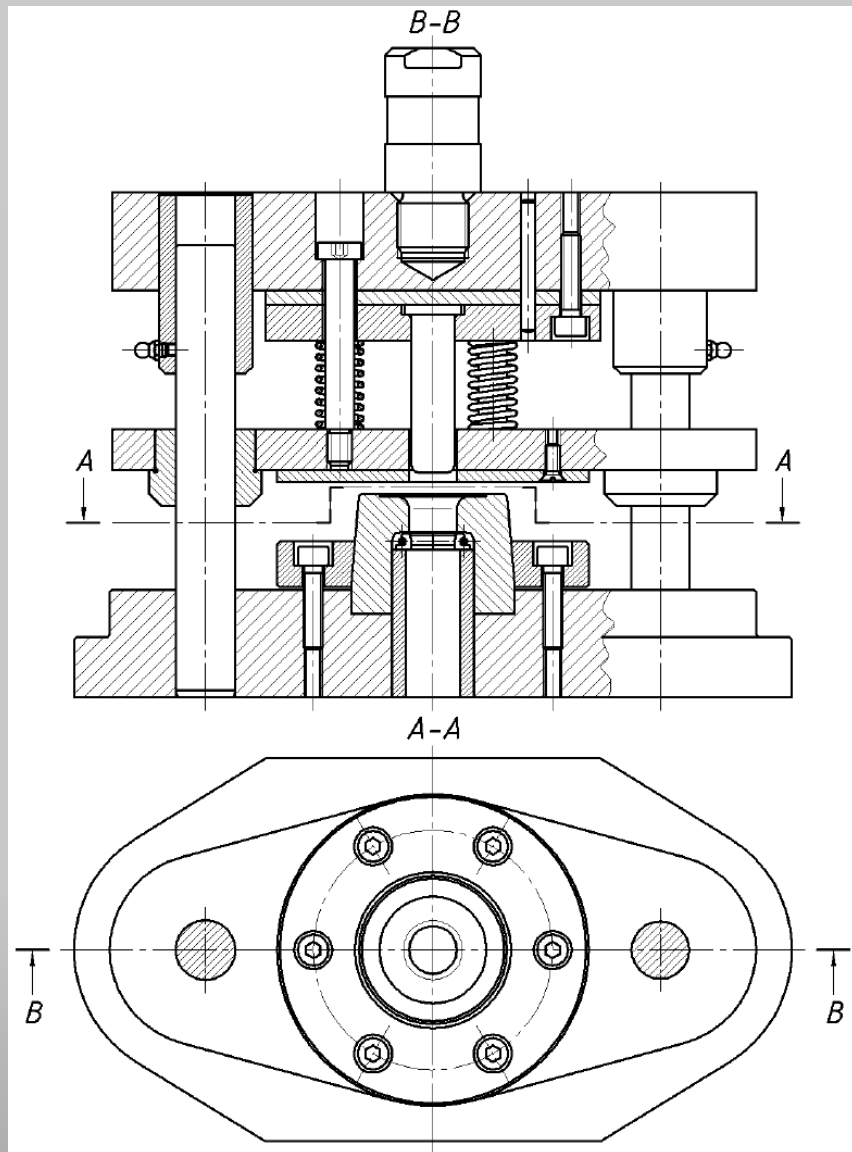
Húzórés

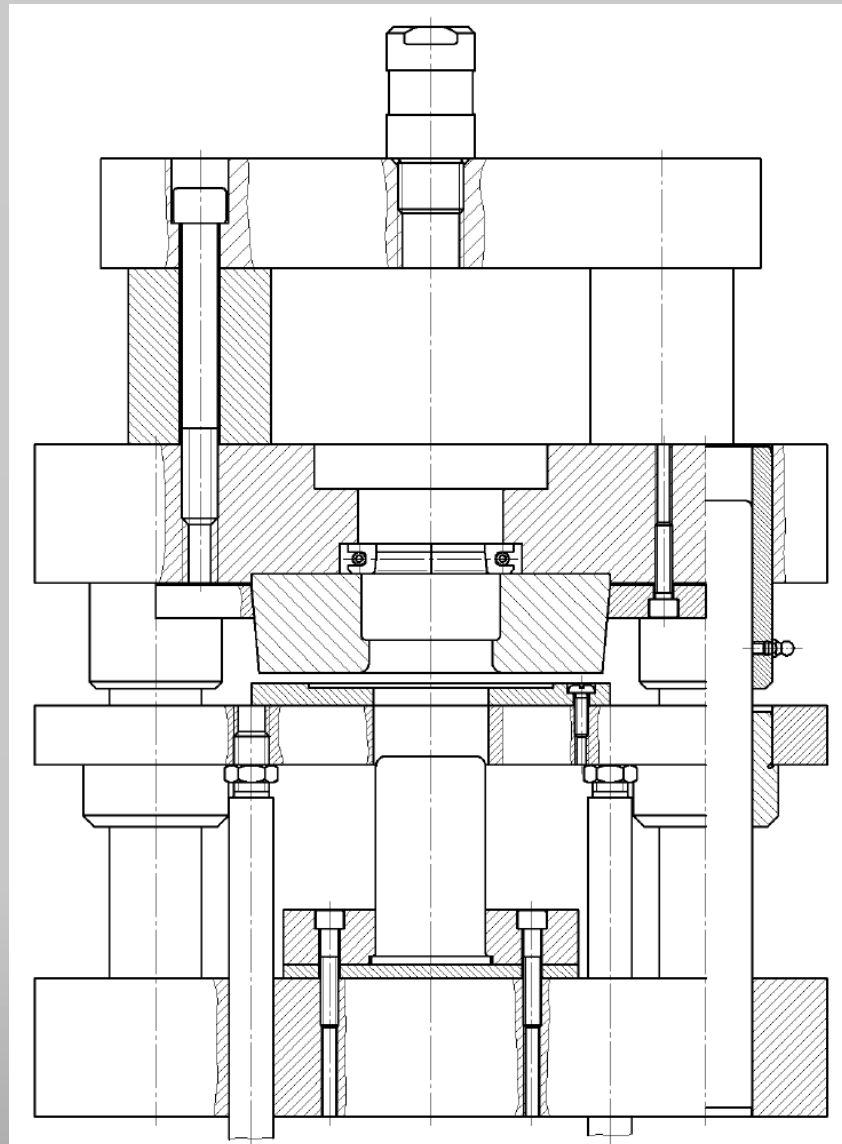
Nem falvékonyító mélyhúzásnál a húzórésnek akkorának kell lennie, hogy a megnövekedett vastagságú palást is könnyen áthúzható legyen. A húzórés méretének meghatározására több összefüggés is ismert, de ökölszabályként elfogadható, hogy a húzórés megegyezik a lemezvastagsággal, vagy a húzóerő csökkentése végett kis mértékben nagyobb.

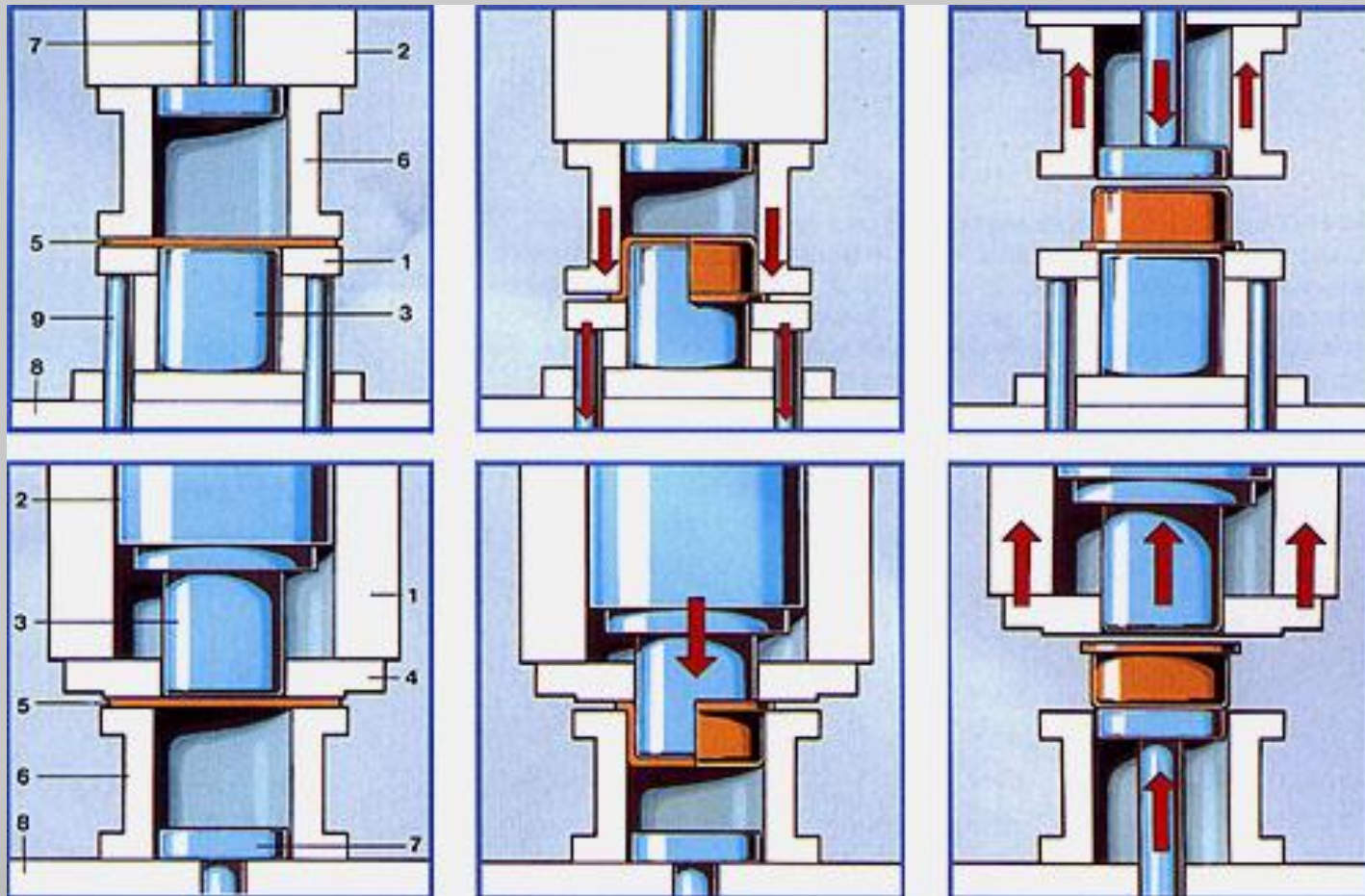
$$z = (1,0 \dots 1,2) s_0$$

Oehler különböző anyagok esetén az alábbi húzórés méreteket ajánlja:

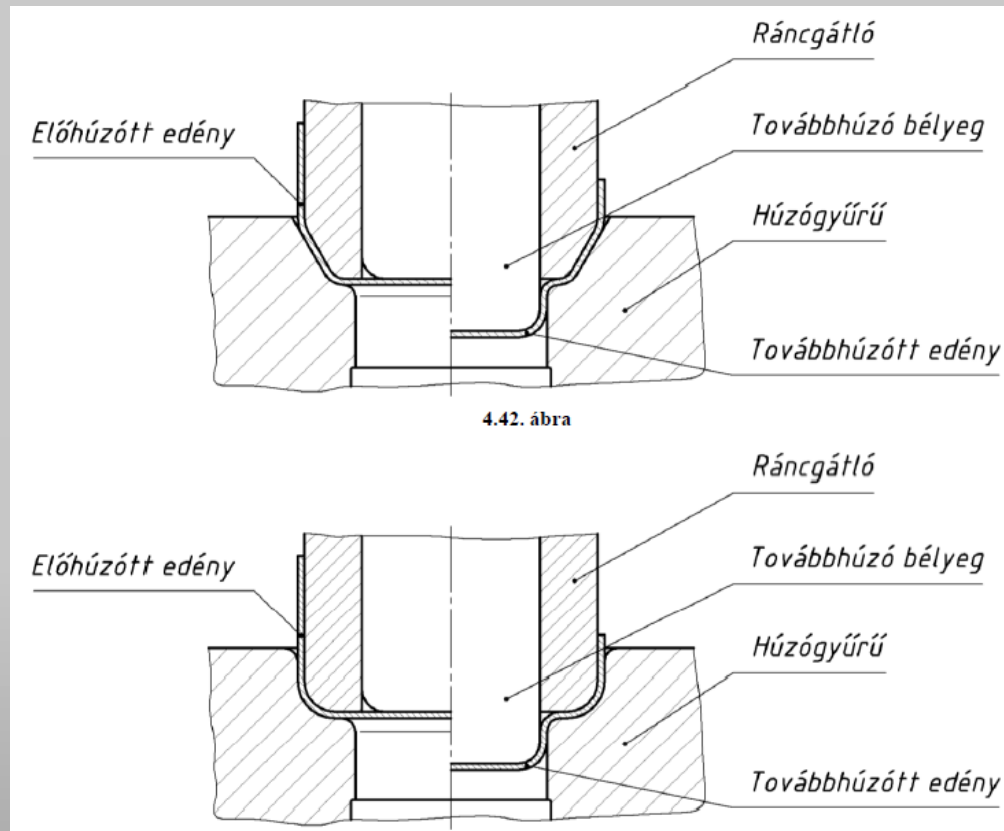
Acélra	$z = s + 0,07 \cdot \sqrt{10s}$
Alumíniumra	$z = s + 0,02 \cdot \sqrt{10s}$
Nem vas fémekre	$z = s + 0,04 \cdot \sqrt{10s}$
Melegszilárd ötvözetekre	$z = s + 0,2 \cdot \sqrt{10s}$



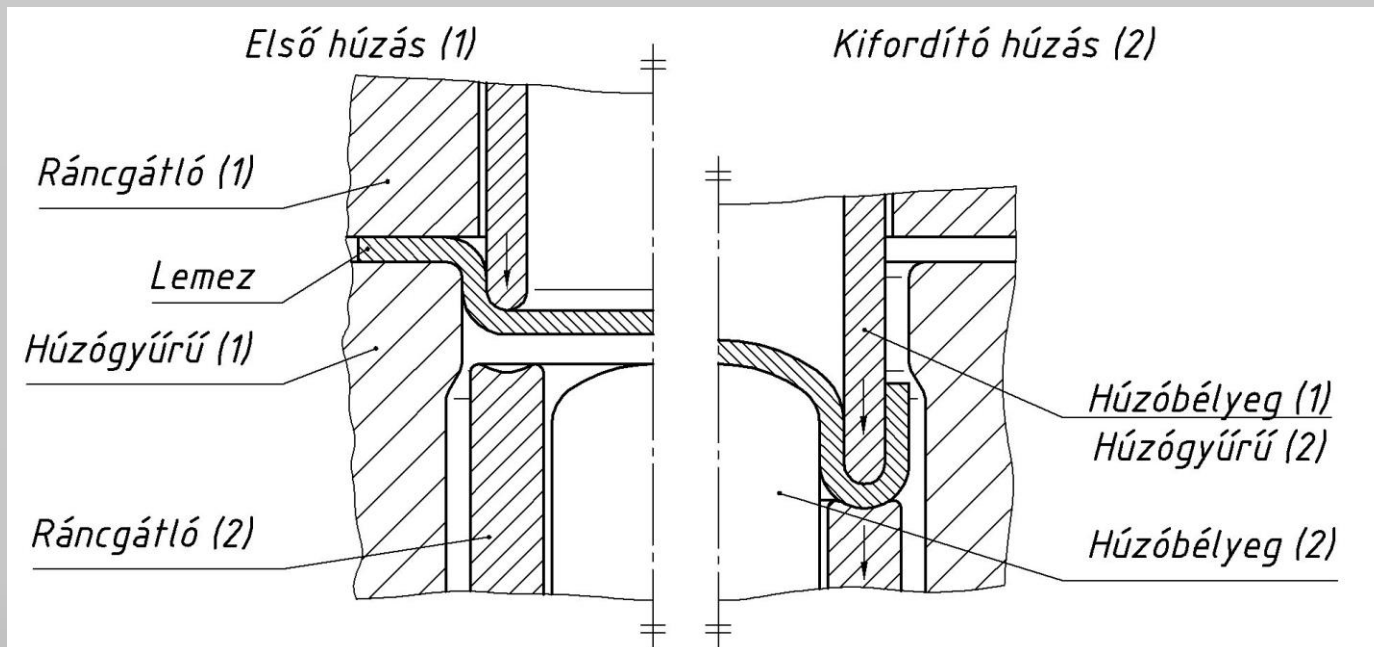




Az első fokozatban anyagminőségtől, állapottól függően csak $m=0,55-0,6$ húzási fokozat érhető el. Ha mélyebb edényre van szükségünk, akkor az első lépésben mélyhúzott edényt további húzásoknak vetjük alá. A több lépéses húzások közben az alakított lemez felkeményedik, közbenső lágyításra lehet szükség. A továbbhúzás történhet egyenes állásban, illetve kifordító húzásként.

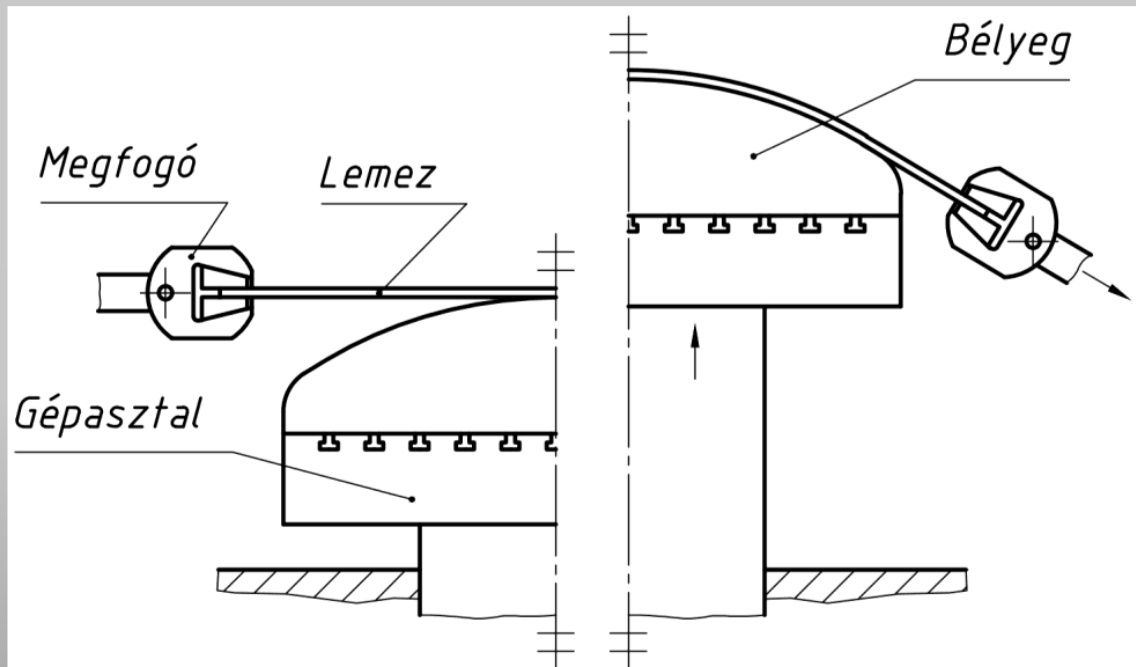
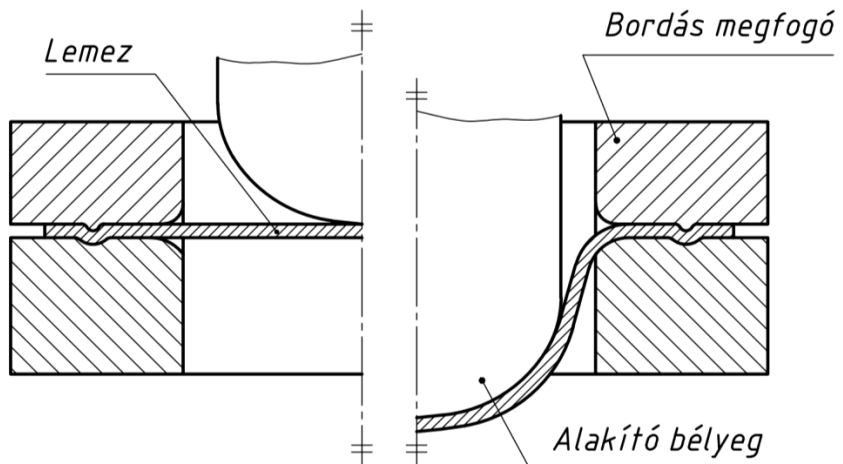


A továbbhúzásnak egyik változata a kifordító mélyhúzás. Ebben az esetben az első lépésben mélyhúzott edény belső palástja a továbbhúzás során a mélyhúzott edény külső palástját alkotja.





Nagyméretű, vékony lemezből készülő lemezalkatrészek (pl. burkolatok, gépjármű karosszéria elemek) alakítása közben az alakváltozás nem a mélyhúzásnál fellépő feszültségi állapotban megy végbe. Ezekben a műveletekben a lemezt a szélein szilárdan leszorítják vagy mozdulatlan, vagy némi mozgásra képes megfogókkal. A lefogott sík lemezt merev alakító forma (bélyeg) domborítja rendszerint nem mély edénnyé. Ez a műveletet nyújtva húzásnak nevezzük. (Előfordulhat, hogy a kiinduló teríték csak két végén van megfogva. Ekkor lényegében nyújtva hajlításról beszélünk. A merev bélyeg hajlítja, feszíti a lemezt. Ez a megoldás a hajlításnál fellépő visszarugózás kiküszöbölésére, csökkentésére is alkalmazható módszer



A nyújtva húzás tehát elsősorban abban különbözik a mélyhúzástól, hogy a teríték pereme nem mozog a szerszám középpontja felé. A nyújtva húzó bélyeg felet (alatt) lévő lemezben síkbeli (kéttengelyű) húzó feszültségi állapot lép fel. A két főfeszültség értéke annál inkább közel van egymáshoz, minél kisebb az alakító bélyeg felületén fellépő súrlódás. Ellentétben a mélyhúzással, ahol a bélyeg felületén fellépő súrlódás segítheti a folyamatot, nyújtva húzásnál fontos, hogy minél kisebb súrlódás legyen a bélyeg és a lemez felülete között. Ez azért fontos, hogy a kifeszített lemez teljes felületére minél egyenletesebben terjedjen ki a lemez alakváltozása, azaz ne legyen helyi elvékonyodás. Így érhető el a nyújtva húzással alakított lemez legnagyobb felületnövekedése. Hasznos következmény az is, hogy így lesz a viszonylag kis mértékben alakított lemezalkatrész elég merev. Húzó, vagy fékező bordás mélyhúzás egyébként már részben nyújtva húzásnak tekinthető. A húzó, vagy fékező bordák bizonyos fokig csak nehezítik a lemezperem befelé mozgását, és általában nem is terjednek ki a teríték teljes kerületére. Nyújtva húzással azok a lemezanyagok dolgozhatók fel előnyösebben, melyeknek a keményedési kitévője nagyobb (jó ha $n > 0,215$). A kevésbé keményedő lemezanyagok ugyanis hajlamosak arra, hogy bennük az alakváltozás (az elvékonyodás) egyre szűkebb helyre korlátozódjon. Ez pedig az alakítási folyamat stabilitását veszélyezteti. Ezzel szemben a helyi elvékonyodás veszélye kisebb, az esetleges vékonyosodással járó keményedés eredményeként. Egyenletesebb lehet tehát a deformáció eloszlása a teljes lemezben

A segédlet készítése során az alábbi források kerültek felhasználásra:

- [1] Dr. Kardos Károly, Dr. Danyi József, Dr. Végyvári Ferenc: Képlékeny alakítás, 2011, Széchenyi István Egyetem, Elektronikus jegyzet, TÁMOP 4.2.5 Pályázat könyvei, Digitális Tankönyvtár, <www.tankonyvtar.hu>
- [2] Dr. Kardos Károly, Dr. Danyi József: Szerelés és karosszériagyártás, 2011, Széchenyi István Egyetem, Elektronikus jegyzet, TÁMOP 4.2.5 Pályázat könyvei, Digitális Tankönyvtár, <www.tankonyvtar.hu>
- [3] Farnady Ernő: Forgácsnélküli alakítás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1991, Jegyzetszám: J 19-329
- [4] Dr. Danyi József, Dr. Végyvári Ferenc: Lemezmegmunkálás, Kézirat, Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 2011
- [5] Professor Taylan Altan: Schuler – Metal Forming Handbook, Springer, Berlin, Germany, 1998, ISBN 3-540-61185-1, 543p
- [6] Z. Marciniak, J.L. Duncan, S.J. Hu: Mechanics of Sheet Metal Forming, Butterworth-Heinemann, London, England, 2002, ISBN 0-7506-5300-0, 211p
- [7] Dr. Horváth László: Mélyhúzás lemezanyagai és minősítési módszereik, Oktatási segédlet, Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest, 2004, 27p
- [8] Dr. Weltsch Zoltán: Lemezalkatrész gyártás - Mélyhúzás, Előadás Anyag, Kecskeméti Főiskola, GAMF, 2014
- [9] Dr. Weltsch Zoltán: Lemezalkatrész gyártás – Alkatrészgyártás kivágással, lyukasztással, Előadás Anyag, Kecskeméti Főiskola, GAMF, 2014
- [10] Dr. Weltsch Zoltán: Lemezalkatrész gyártás - Hajlítás, Előadás Anyag, Kecskeméti Főiskola, GAMF, 2014
- [11] Balla Sándor, Dr. Bán Krisztián, Dr. Dömötör Ferenc, Dr. Kiss Gyula, Dr. Markovits Tamás, Vehovszky Balázs, Dr. Pál Zoltán, Weltsch Zoltán: Járműszerkezeti anyagok és technológiák I., BME, Budapest, 2011, TÁMOP 4.1.2 Pályázat könyvei Digitális Tankönyvtár, <www.tankonyvtar.hu>
- [12] Fazekas Gábor: Hulladékcsökkentés rugalmas közeggel való kivágásnál, XI. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2006. március 24-25, pp103-106
- [13] Dr. Végyvári Ferenc: Négyzetes lyukasztás és kivágás poliuretán párnával, XI. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2004. március 26-27, pp233-236
- [14] Dr. Végyvári Ferenc: Ellennyomás alkalmazása rugalmas közeggel történő kivágásnál, XI. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2003. március 21-22, pp339-342
- [15] Dr. Maros Zsolt: Az abrazív vízszugaras vágás minőségének és hatékonyságának vizsgálata, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Miskolc, 2011, 112p
- [16] Kovács Péter Zoltán: Alakítási határdiagramok elméleti és kísérleti elemzése, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Miskolc, 2012, 110p
- [17] Lukács Zsolt: Nagyszilárdságú acélok visszazugózásának modellezése és kísérleti vizsgálata, PhD értekezés, Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Miskolc, 2014, 113p
- [18] Sz Szalai, D Pék, U Koser: Alumínium karosszéria lemezanyagok mélyhúzhatóságának technológiai és szimulációs kutatása, In: Dr Csibi Vencel-József (szerk.), OGÉT 2012: XX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Kolozsvár, Románia, 2012.04.19-2012.04.22., Kolozsvár: Erdélyi Műszaki Tudományos Társaság, pp. 428-431. (2012)
- [19] Sz Szalai, I Czinege, D Dogossy: Nagyszilárdságú karosszéria lemezek alakíthatóságának vizsgálati lehetőségei, In: Dr Csibi Vencel-József (szerk.), OGÉT 2013: XXI. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Arad, Románia, 2013.04.25-2013.04.28., Kolozsvár: Erdélyi Műszaki Tudományos Társaság, pp. 367-371. (2013)
- [20] Szalai Szabolcs: Nagy szilárdságú karosszéria lemezek alakíthatósági vizsgálatai, Bányászati és kohászati lapok, Kohászat, Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, 147. évfolyam, 2014/5-6. szám, 2014, ISSN 0005-5670, pp34-38