

Képlékeny alakítás

BSc

Dr. Vehovszky Balázs

Az előadás tartalma

- A képlékeny alakítás anyagszerkezeti háttere
 - mérnöki és valódi alakváltozás
 - alakítási szilárdság
- A képlékeny alakítási technológia előnyei-hátrányai
- Hideg-melegalakítás összehasonlítása
- Hideg képlékeny alakítási technológiák:
 - Zömítés
 - Folyatás
 - Redukálás
 - Extrudálás
 - Huzal-, rúd- és csőhúzás
- Csőgyártás
- Csavargyártás
- Videók

Jellegzetes alkatrészek



Hajtómű tengelyek



Tubusok



Kiseb fogazatok

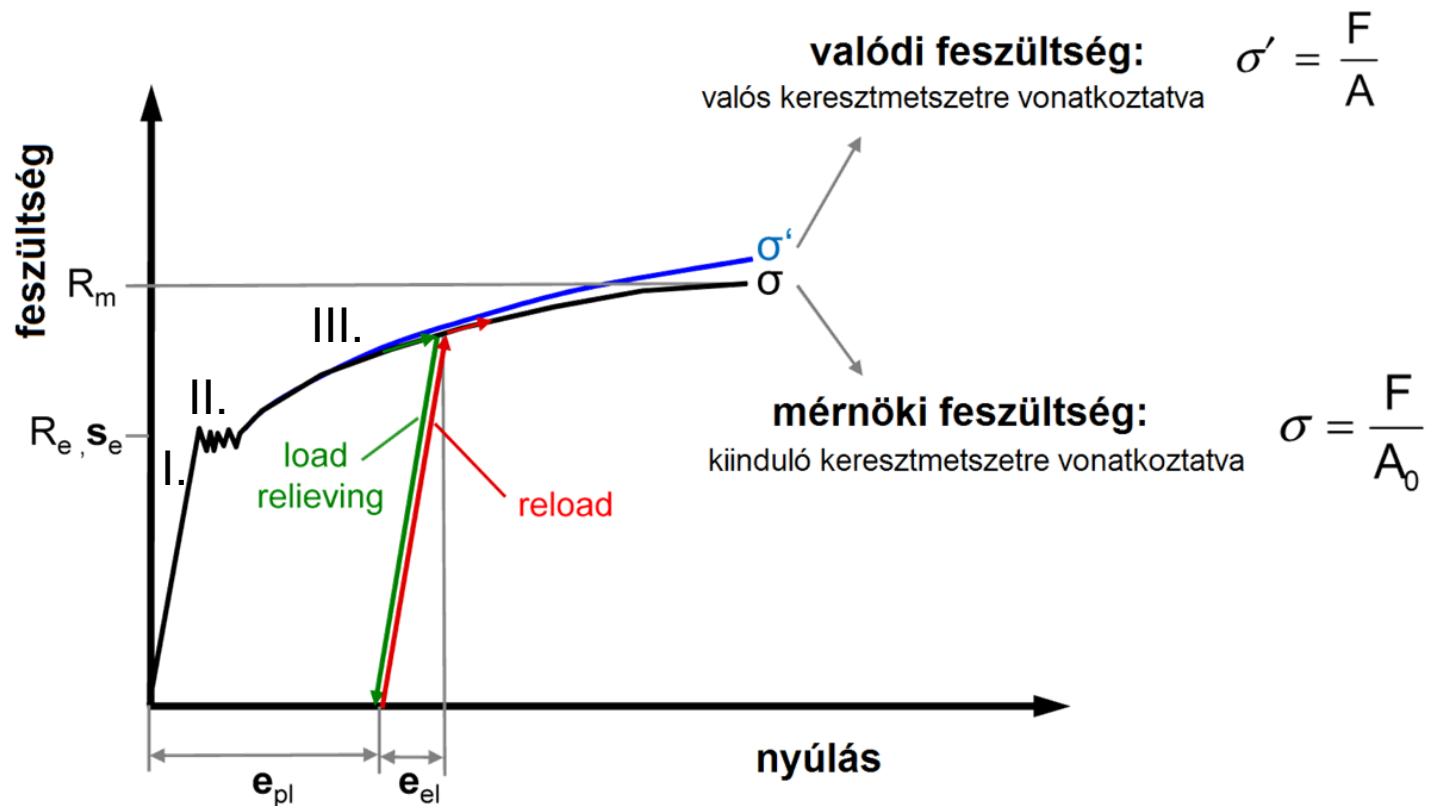
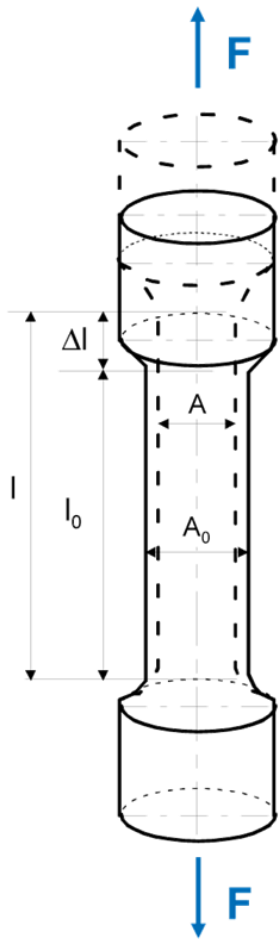
Csavarok



Fuchs
Schraubenwerk

A képlékeny alakítás fizikai alapjai

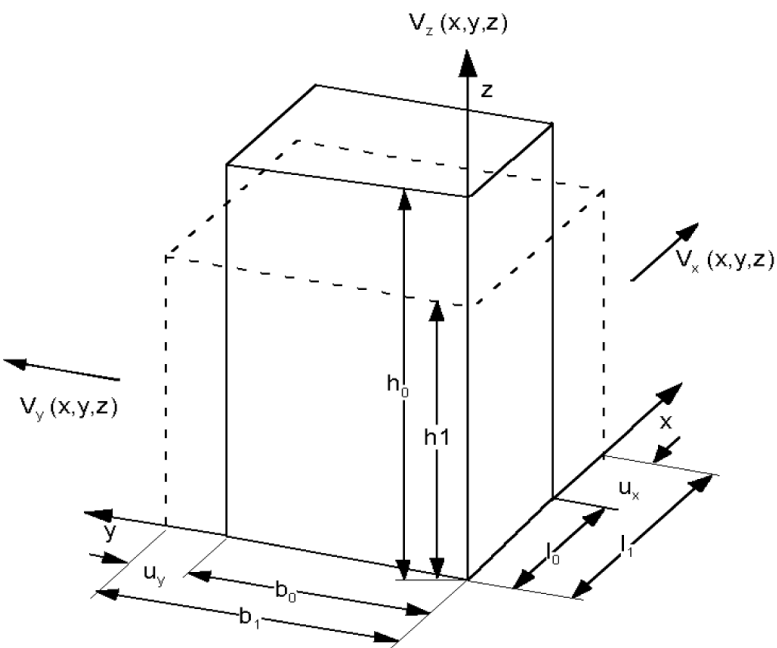
- Rugalmas és képlékeny alakváltozás, mérnöki és valódi feszültség:



- I. Rugalmas nyúlás (lineáris – Hooke) – üzemi körülmények
- II. Folyás (R_{eH} , R_{eL} , $R_{p0,2}$)
- III. Szívós szakasz – képlékeny alakváltozás (R_m) – alakítás

A képlékeny alakítás fizikai alapjai

- Mérnöki és valódi alakváltozási mérőszámok:



Mérnöki alakváltozás: ε

(rugalmas tartományban)

$$d\varepsilon_x = \frac{dl}{l_0} \Rightarrow \varepsilon_x = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l_0} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Valódi alakváltozás: φ

(képlékeny tartományban)

$$d\varphi = \frac{dl}{l} \Rightarrow \varphi_x = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_1}{l_0}$$

$$\varphi_x = \ln \frac{l_1}{l_0}; \quad \varphi_y = \ln \frac{b_1}{b_0}; \quad \varphi_z = \ln \frac{h_1}{h_0}$$

Térfogatállandóság:

$$l_0 \cdot h_0 \cdot b_0 = l_1 \cdot h_1 \cdot b_1 = \text{const.} \longrightarrow \varphi_x + \varphi_y + \varphi_z = 0$$

A két alakváltozás kapcsolata:

$$\varphi_x = \ln \left(\frac{l_1}{l_0} \right) = \ln \left(\frac{l_0 + u_x}{l_0} \right) = \ln \left(\frac{l_0 + \Delta l}{l_0} \right) = \ln \left(\frac{\Delta l}{l_0} + 1 \right) = \ln(\varepsilon_x + 1)$$

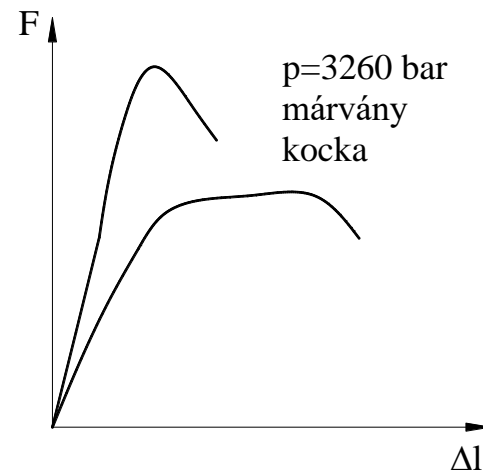
Mérnöki: $\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$

Valódi: $\varphi = \ln \frac{\ell_1}{\ell_0}$

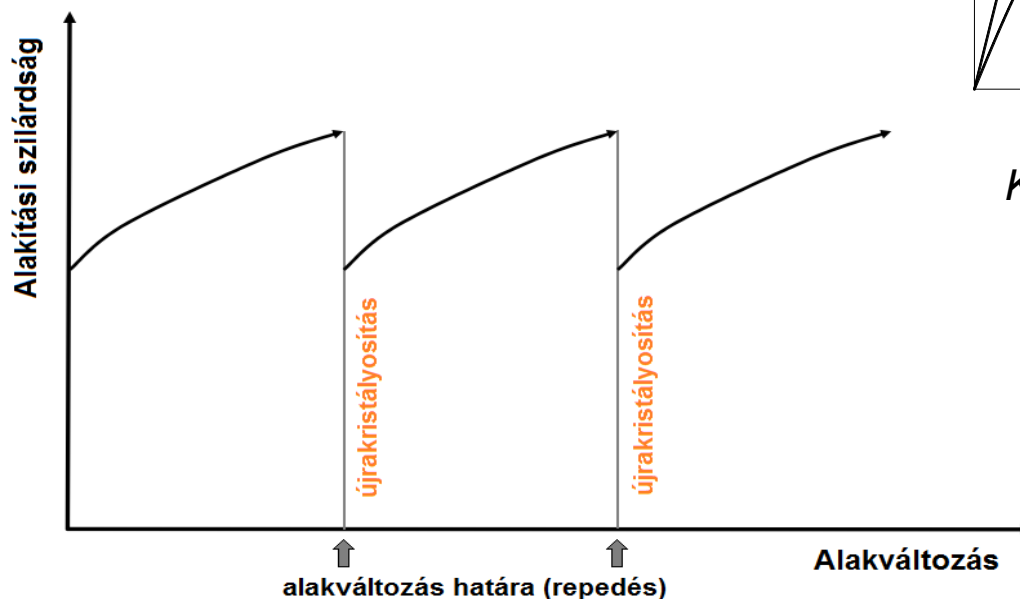
Keresztmetszet-alakításnál: $\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1}$

Alakítási szilárdság – felkeményedés

- k_f : alakítási szilárdság: az anyag képlékeny alakváltozásának megindulásához szükséges feszültség egytengelyű húzás esetén.
- k_f függ:
 - az anyag szilárdsági jellemzőitől
 - a megelőző alakítás mértékétől
 - az alakítási sebességtől
- A képlékeny alakíthatóság nem anyagjellemző, hanem állapot (függ: T , φ , $\dot{\varphi}$, feszültségi áll.)

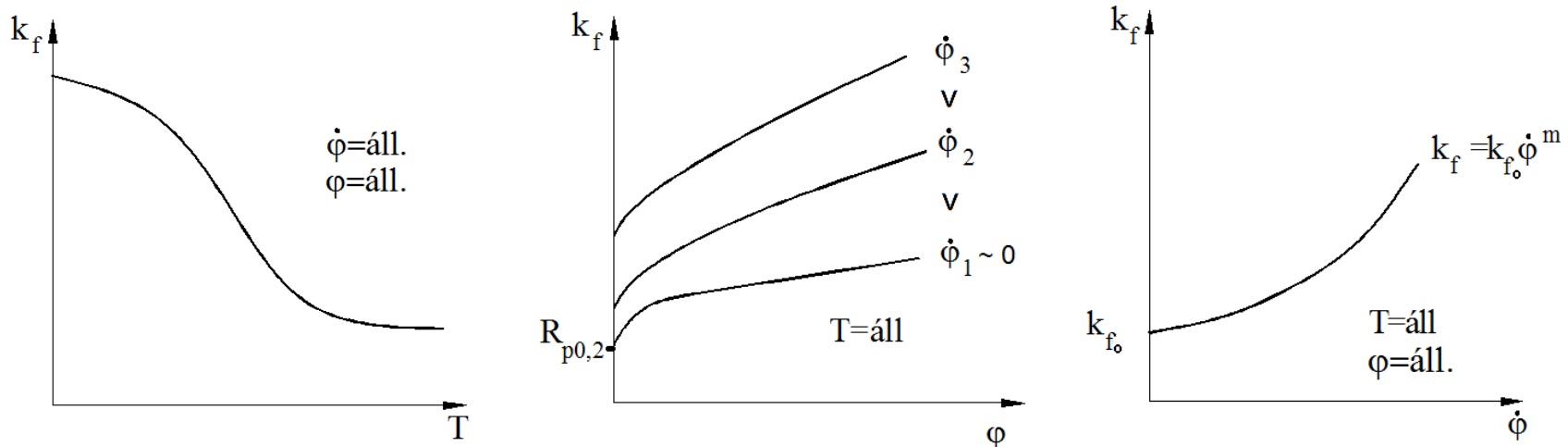


Kármán Tódor (1911)



Alakítási szilárdság

- Egytengelyű feszültségi állapot esetén $k_f = f(T, \varphi, \dot{\varphi})$



- Az alakítási szilárdság függése az alakítás mértékétől:

$$k_f = k_{f0} + K \cdot \varphi^n$$

Fém	Állapot	n (-)	K (MPa)
0,05% C acél	Lágyítva	0,26	531
34CrNiMo6	Lágyítva	0,15	641
C60 szénacél	Edzve, megeresztve 538°C-on	0,1	1572
C60 szénacél	Edzve, megeresztve 704°C-on	0,19	1227
Vörösréz	Lágyítva	0,54	320
70/30 bronz (CuZn30)	Lágyítva	0,49	896

Alakítási szilárdság

- A képlékeny alakváltozás megindulásának feltétele általános esetben:

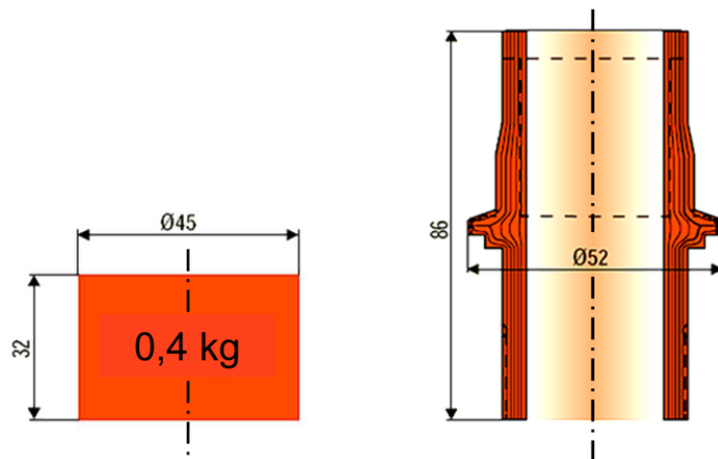
Az anyagban ébredő redukált feszültség eléri az alakítási szilárdságot: $\sigma_{red} \geq k_f$

- Huber – Mises – Hencky:
$$\sigma_{red} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$
- Tresca: $\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3$ ahol σ_1 a legnagyobb, σ_3 a legkisebb főfeszültség

Képlékeny alakítás (vs. forgácsolás)

- Kevesebb alapanyag, hulladék
- Kedvezőbb mechanikai tulajdonságok
- Kisebb fajlagos energiaigény
- Általában gyorsabb
- Drága szerszámköltség (nagy darabszám esetén gazdaságos)
- Nagy gépek (nagy alakítóerő)
- Utómegmunkálás szükséges (főleg melegalakításnál)

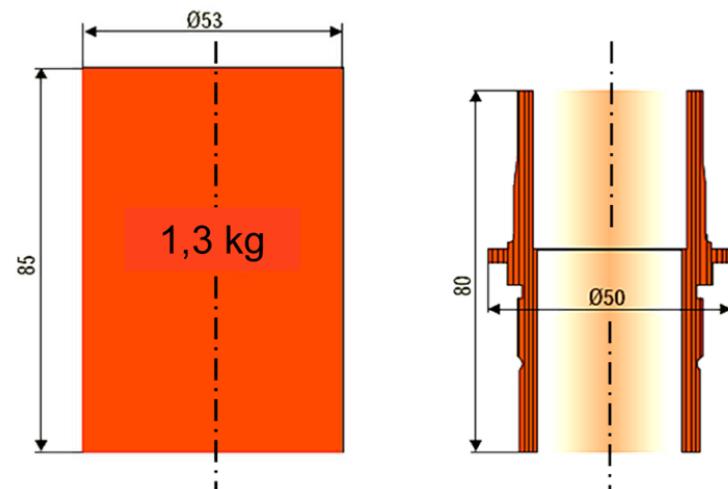
Képlékeny alakítással



Előgyártmány

Késztermék

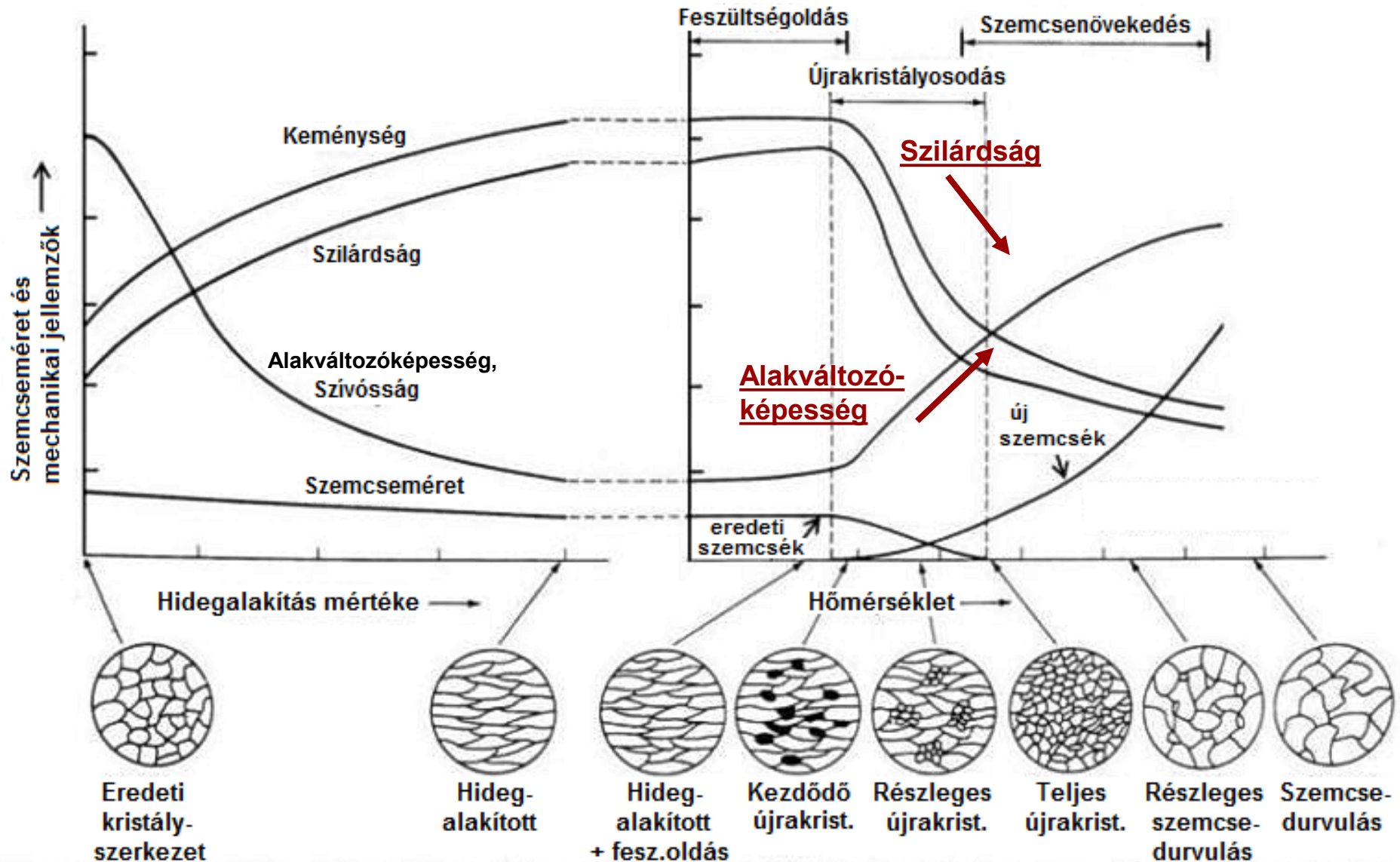
Forgácsolással



Előgyártmány

Késztermék

Hideg-meleg alakítás



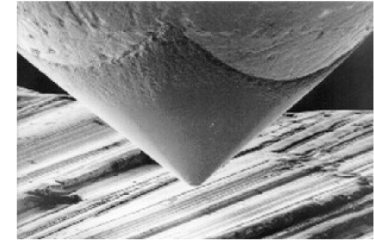
Hideg-meleg alakítás

	Hidegalakítás	Félmeleg alakítás	Melegalakítás /kovácsolás
Alaítás mértéke (φ)	<1,6	<4	<6
Alakítóerő	nagyon nagy	nagy	közepes
Munkadarab mérete (kg)	< 30 kg	< 50 kg	50 g - 1500 kg
Energiaigény	kicsi	közepes	nagy
Szerszámköltség	közepes	nagy	nagy - nagyon nagy
Utómunkálás (felületminőség és méretpontosság)	nem szükséges vagy kevés	közepes	teljes felületet szükséges megmunkálni
Gyártási veszteség	nincs	kevés	sok
Késztermék szilárdsága	nagy	közepes	kicsi

Félmeleg alakítás: az újrakristályosodási hőmérséklet alatt, de a kisebb alakítóerő és a nagyobb alakváltozókéesség miatt emelt hőmérsékleten.

Képlékeny alakítással elérhető tűrés, érdesség

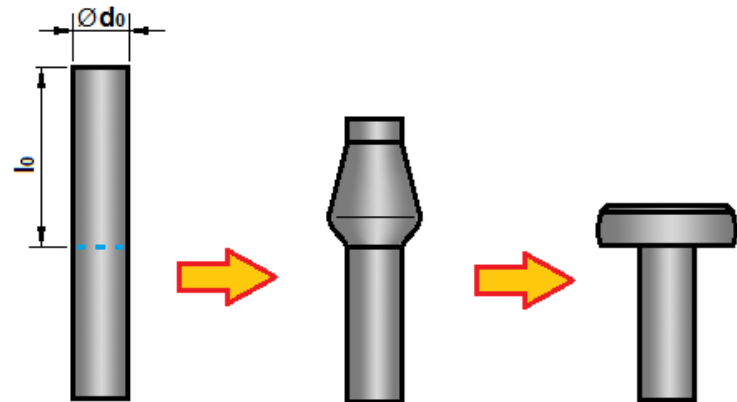
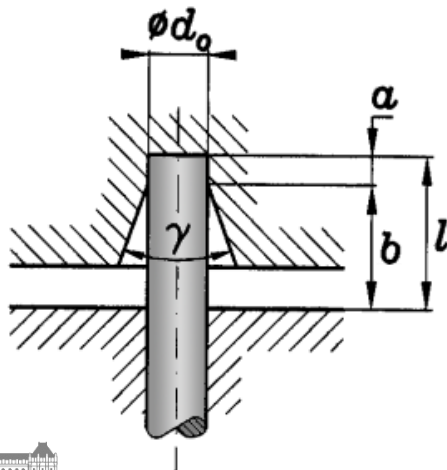
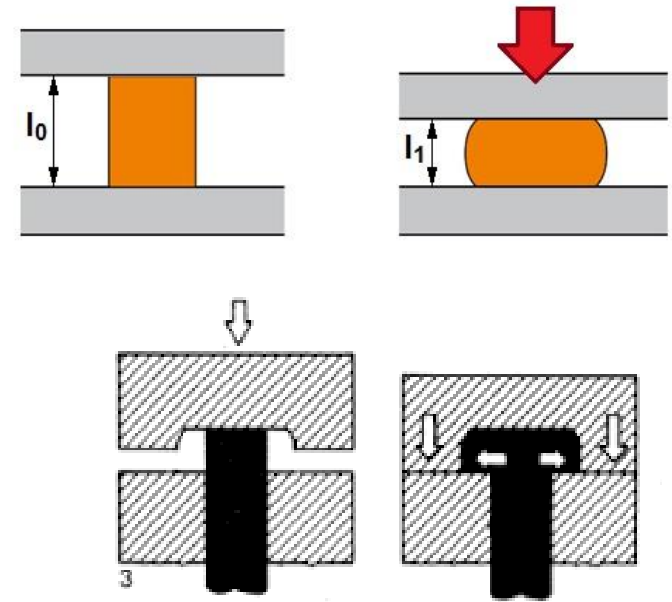
- Hidegalakítással akár utómunkálás nélkül



Képlékenyalakítási technológia	IT tűrésmező												Felületi érdesség (Ra / μm)														
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	0,5	1	2	3	4	6	8	10	12	15	20	25	30		
Hidegalakítás		■	■	■	■	■	■	■					■	■	■	■	■										
Félmeleg alakítás					■	■	■	■	■	■	■					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Melegalakítás						■	■	■	■	■	■								■	■	■	■	■	■	■	■	
	■ Speciális technológiával												■ Hagyományos technológiával														

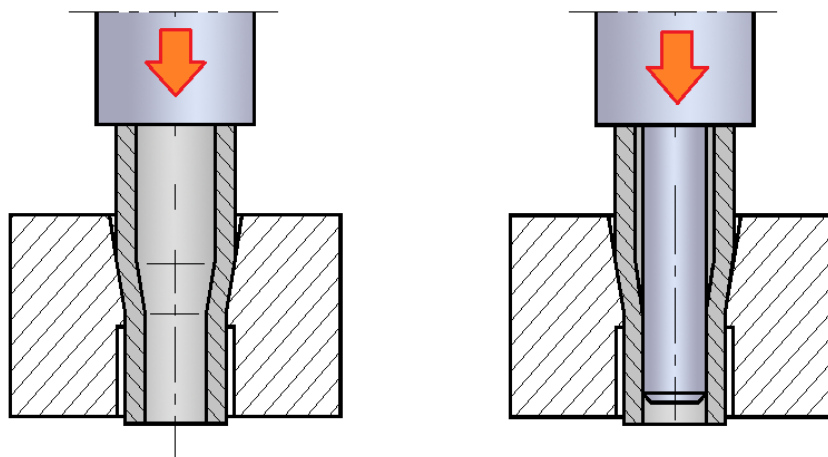
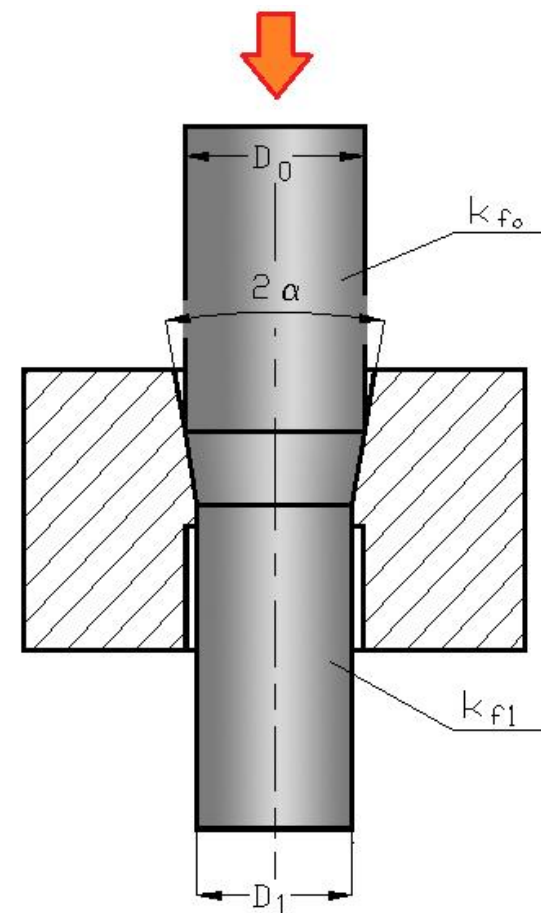
Zömítés

- Cél: keresztmetszet növelése
- Szabad, vagy zárt szerszámban
- Zömítőerőt befolyásolja: k_f , A , φ , μ
- 1 lépésben, ha $l_0/D_0 < 2,3$
- 2 lépésben, ha $l_0/D_0 < 4,5$
- 3 lépésben, ha $l_0/D_0 < 8$



Redukálás

- Cél: keresztmetszet csökkentése + szilárdság növelése
- Huzal, tengely, cső, köracél stb.
- Redukáló erő függ: k_f , A , φ , μ , 2α
- Kúpszög optimális értéke függ: φ , μ
- Cső redukálása:



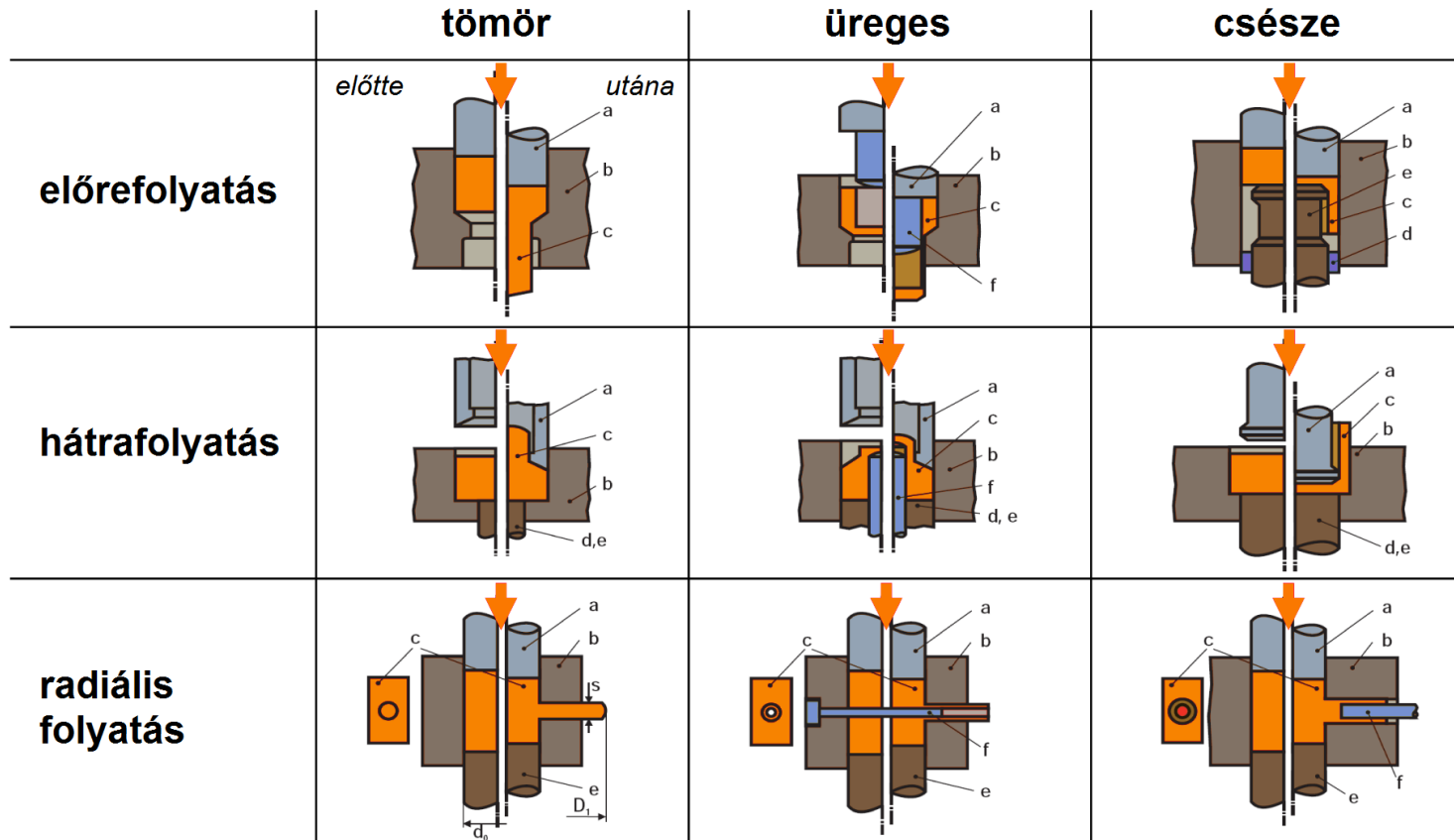
Folyatás

- Folyatással előállított alkatrészek:



Folyatás

- Folyatás különböző fajtái:



a: folyatóbélyeg b: folytógyűrű c: munkadarab d: kilökő
 e: ellenbélyeg f: folyató mag

Folyatás

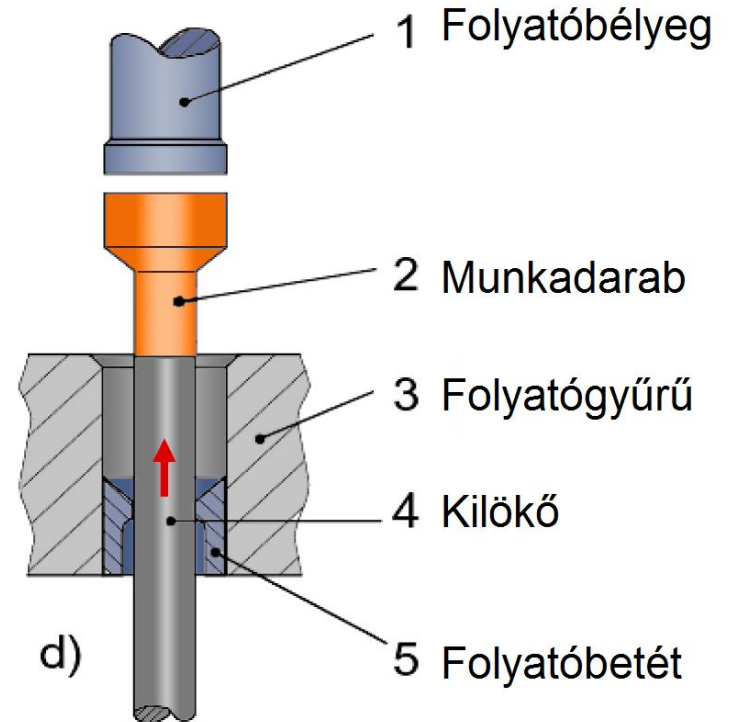
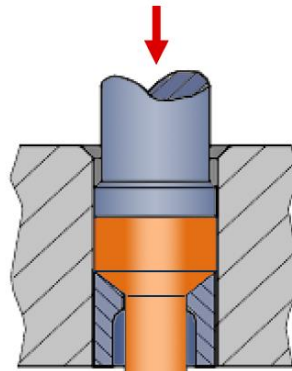
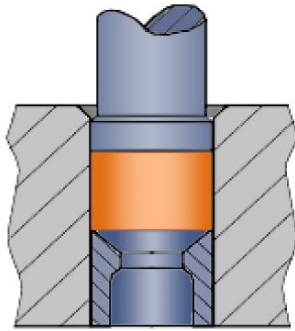
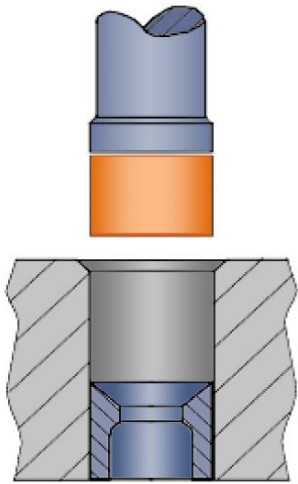
- Előre folyatás:

Előgyártmány
behelyezése

Szerszám zárás

Folyatás

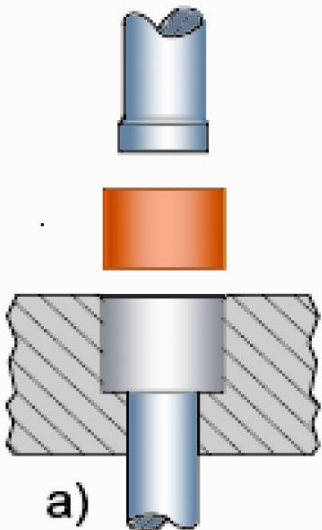
Késztermék kilökése



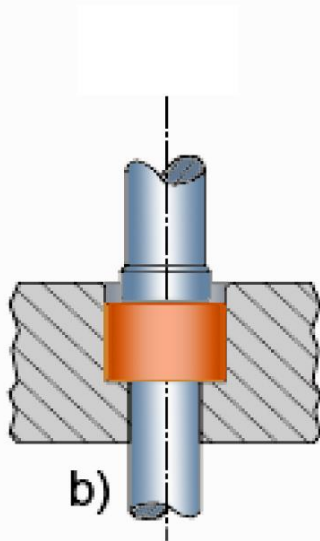
Folyatás

- Hátrafolyatás:

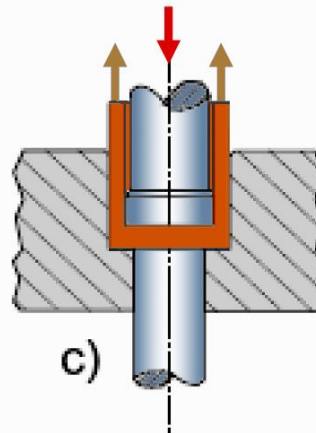
Előgyártmány
behelyezése



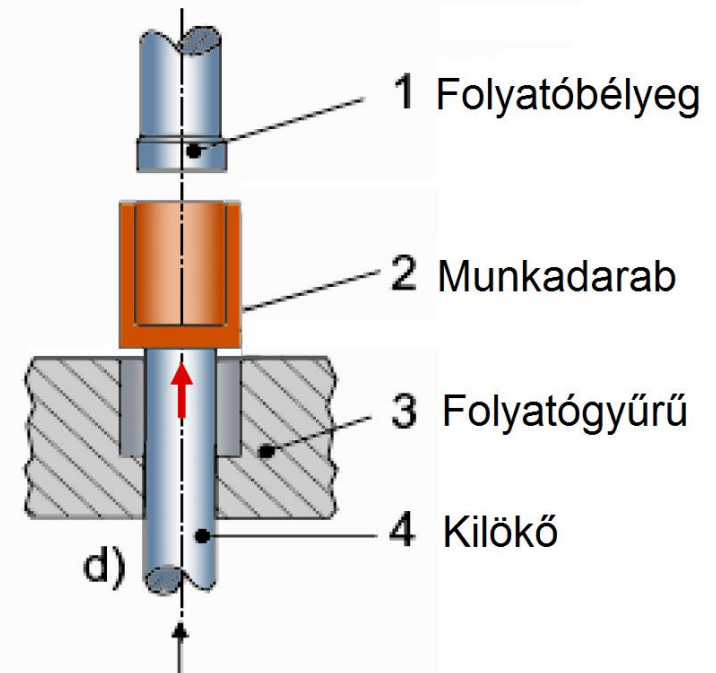
Szerszám zárás



Folyatás



Késztermék kilökése

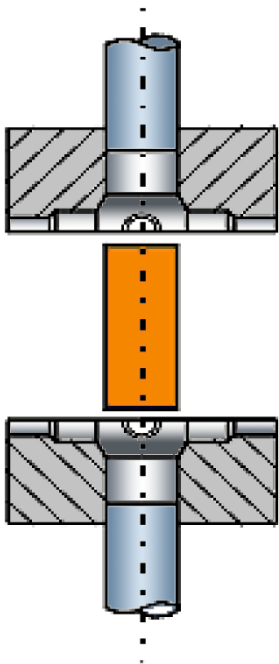


Folyatás

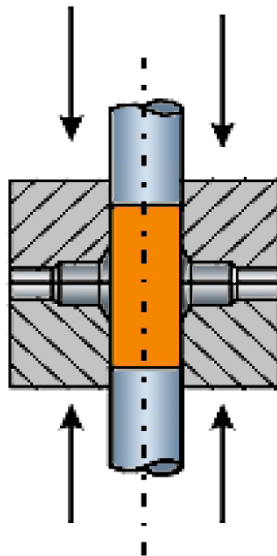
- Keresztirányú (radiális) folyatás:



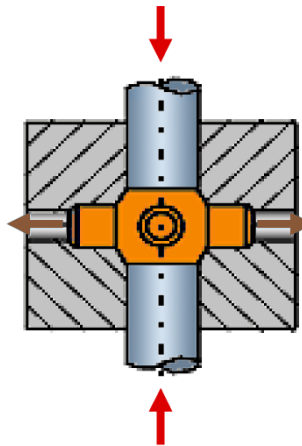
Előgyártmány
behelyezése



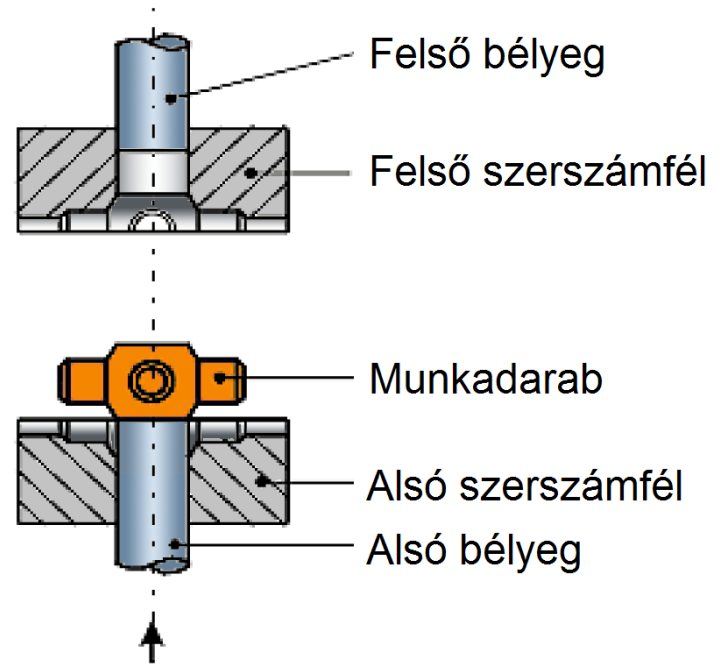
Szerszám zárás



Folyatás

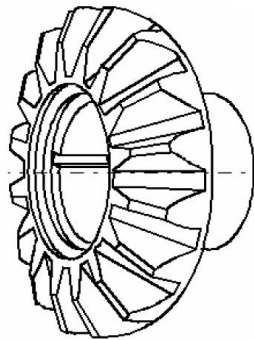
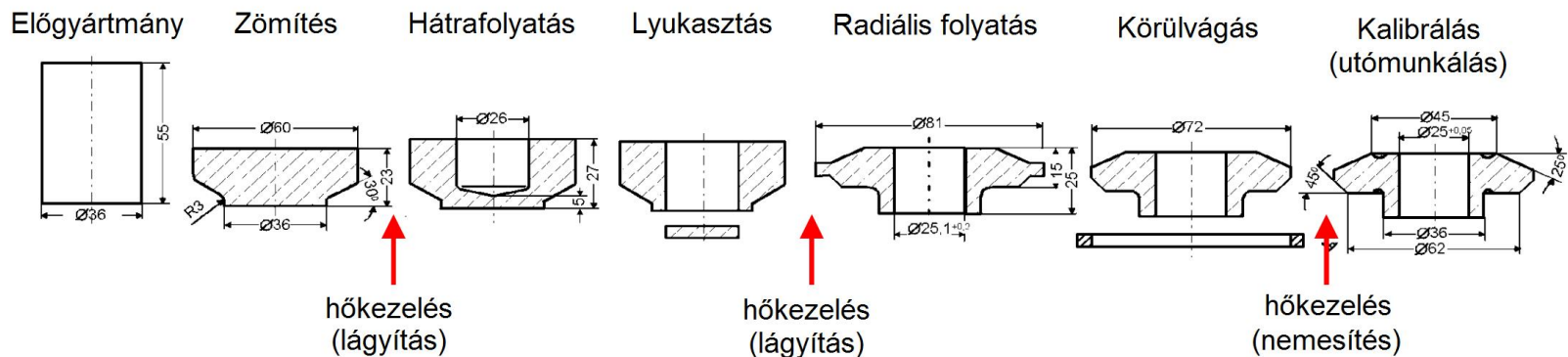


Késztermék kilökése



Folyatás

- Folyatáshoz szükséges erő függ: k_f , μ , φ , η_{al} (0,4..0,7)
- Zömítéssel és folyatással alakított alkatrész:

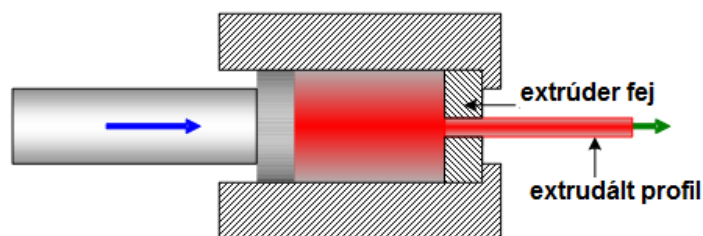


Újrakristályosító (lágyító) hőkezeléssel a képlékenyen alakváltozó képesség jelentősen növelhető

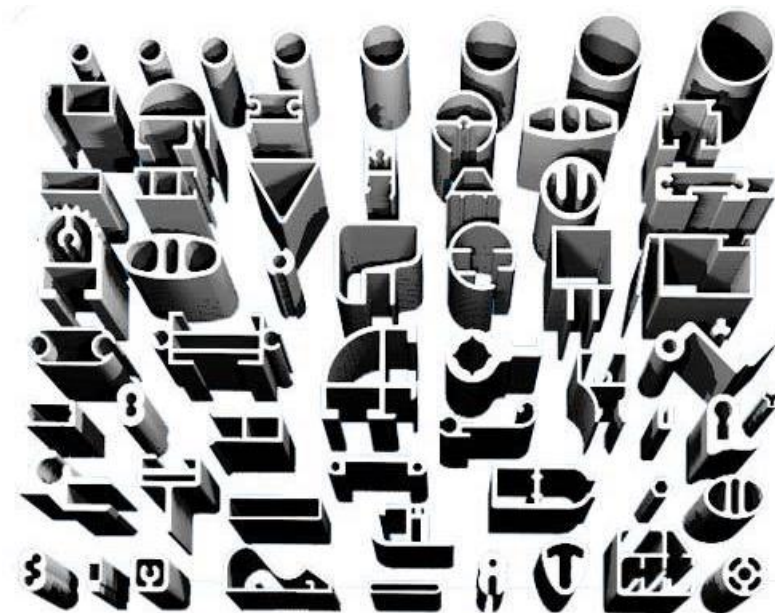
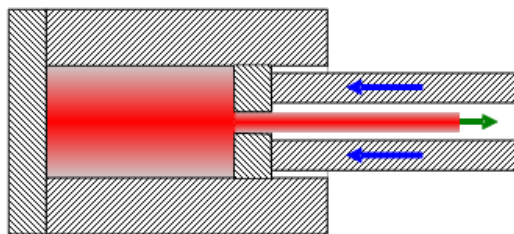
Extrudálás

- Állandó keresztmetszetű (prizmatikus) profilok folyamatos gyártása
- Általában félmeleg- vagy meleg állapotban
- Könnyűfém-ötvözeteknél elterjedt

Direkt



Indirekt

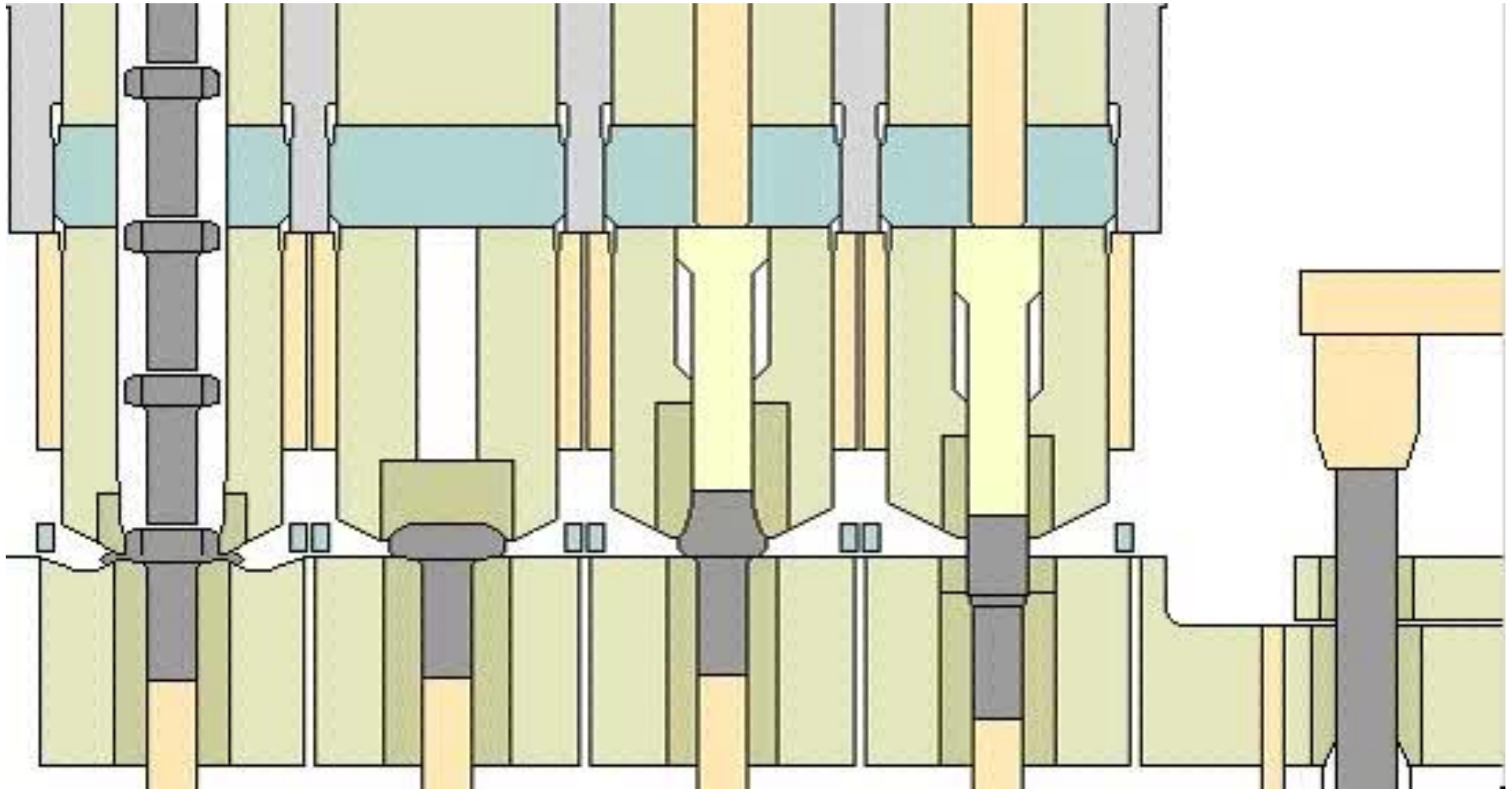


Csavargyártás

- Kereskedelmi csavarok gyártásának lépései:
 1. Alapanyag huzal darabolás
 2. Szár redukálás (szilárdságnövelés)
 3. Fej előzőmítés
 4. Fej készrezőmítés
 5. Fej geometria kialakítása (hatlapfej vágással vagy belső nyílás folytatással)
 6. Menetmángorlás



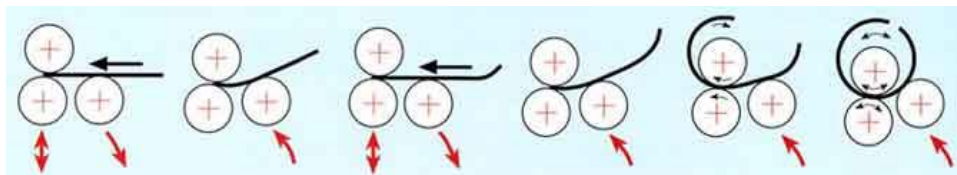
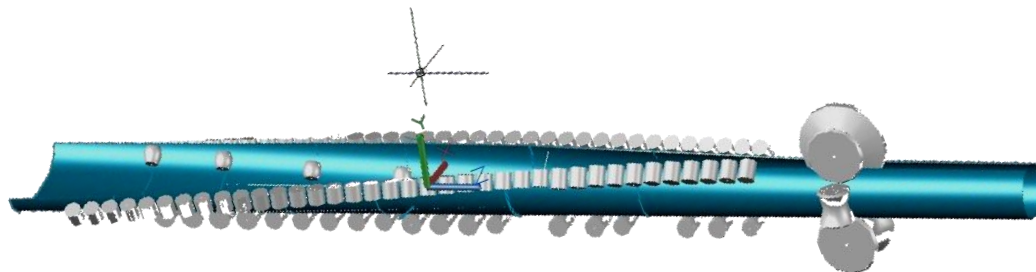
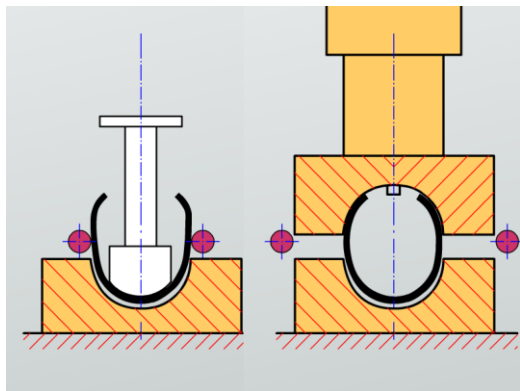
Csavargyártás



Fej áthúzás ← Fej zömítés ← Fej előzömítés ← Szár redukálás ← Alapanyag darabolás
└──────────┘
Menetmángorlás

Csőgyártás

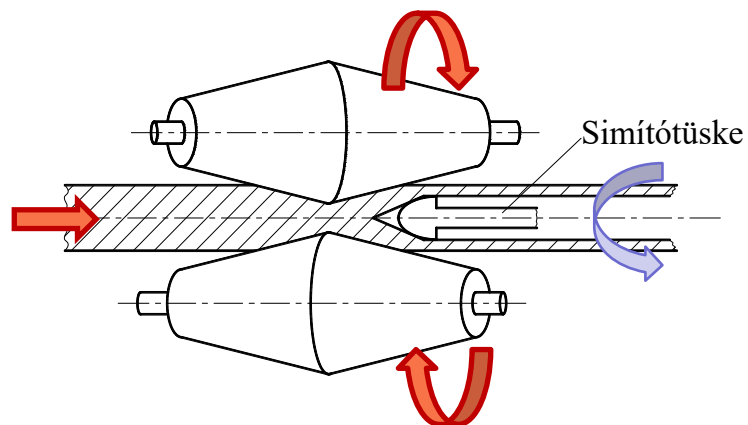
- Hegesztett csövek:
 - Hajlított, hosszhegesztett
 - Görgős hajlítással készült, hosszhegesztett (folyamatos)
 - Hengerített, hegesztett (nagy méretű)
 - Spirálhengerlés és -hegesztés (folyamatos)



Csőgyártás

- Varrat nélküli csövek:
 - Mannesmann: felrepszés kitérő tengelyű, kúpos hengerekkel + furat simítása tüskével:

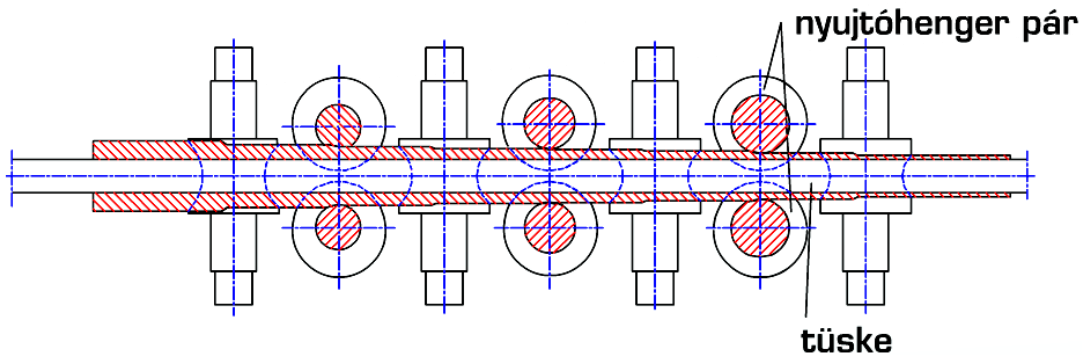
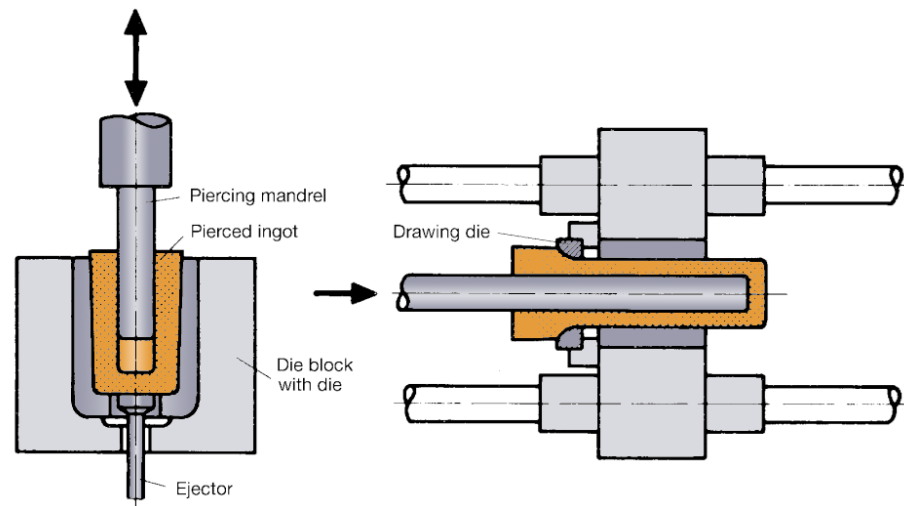
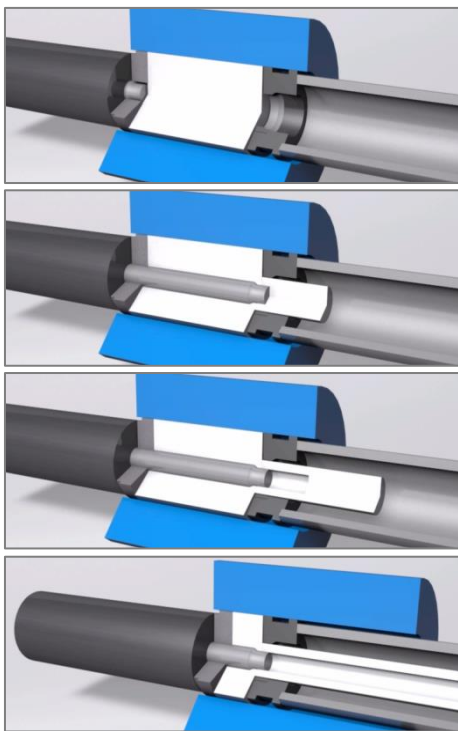
A cső előgyártmány hengerlése
Pilger-hengersoron:



Csőgyártás

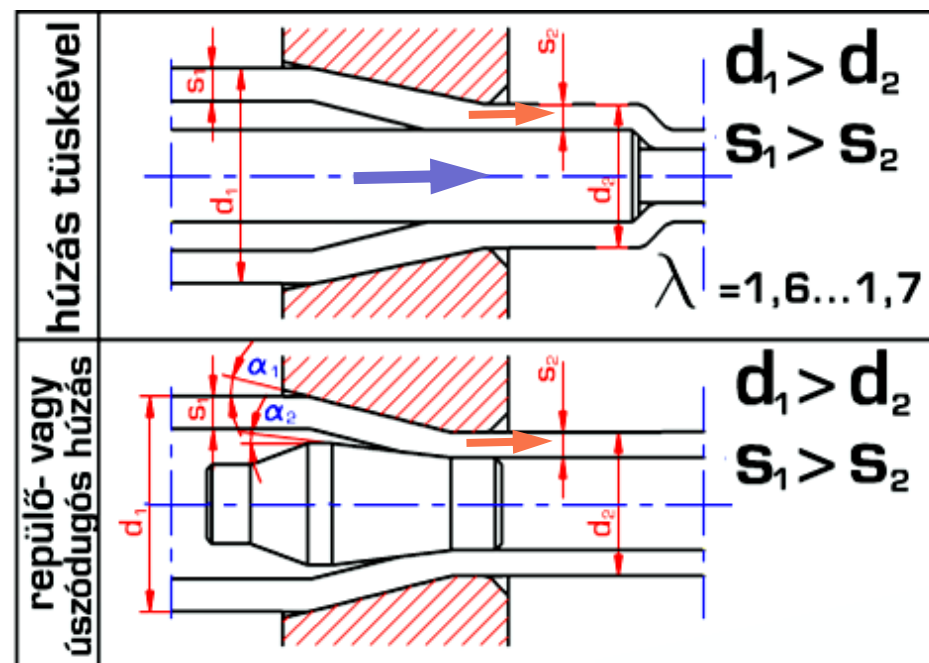
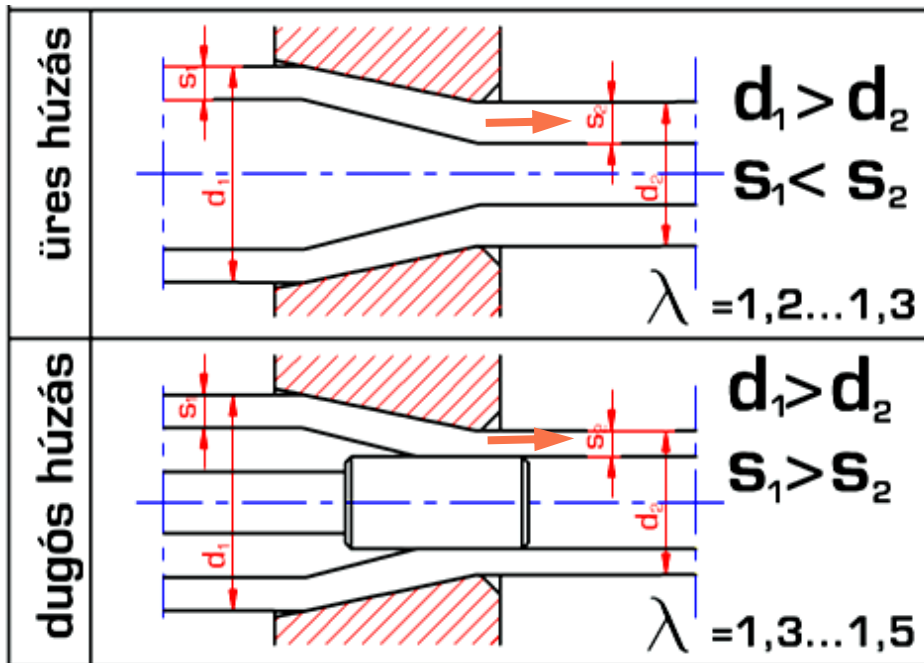
- Varrat nélküli csövek gyártása
 - Ehrhardt-féle lyukasztás + falvékonyítás húzással és/vagy nyújtóhengerlással

- Extrudálás:



Csövek alakítása

- Csőhúzás:



Képlékeny alakítás - videók

- Dróthúzás
- Dróthajlítás
- Csőgyártás
- Csavargyártás



Az előadásban felhasznált források:

<http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=279>

http://www.wzl.rwth-aachen.de/en/f786439a4c53fb78c125709f0055702f/I01_bulk_metal_forming_1.pdf

http://www.bgk.uni-obuda.hu/~aat/oktatas/gepesz/ATSZT_LGC-III/zomites_redukalas_tecnologiaja.pdf

http://www.sze.hu/~czinege/GYF2002/Gyf08_hideg_terf_al.ppt

www.tankonyvtar.hu

<http://www.test-nc.jp/fujita-rashi/en/process.html>

<https://www.forging.org/cold-forging>

<http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?cache=cache&media=extrusion.png>

<http://www.youtube.com/watch?v=4dHddQNMI-c>

http://www.smrw.de/files/steel_tube_and_pipe.pdf

http://www.youtube.com/watch?v=OsdZ6cj3y_g