

Alakított termékek vizsgálata

**Melegen alakított (hengerelt, kovácsolt)
előgyártmányok vizsgálata**

Kohászati technológiák

Kiinduló anyag:

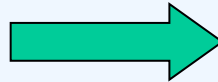
- **Öntött tuskó**
 - **Kovács tuskó (közel négyzet keresztmetszetű)**
 - **Előhengerelt buga (kissé lapos)**
 - **Lemezbuga (lapos)**
- **Folyamatosan öntött rúd vagy szalag**
 - **Az előzőeknél sokkal kisebb keresztmetszetű (pl. 120x120 mm)**
 - **A méretek igény szerint módosulnak**

A kiinduló alakok továbbalakítása

Melegalakítások

- **Kovácsuskó**

- Rudak
- Hengerhuzalok
- Körbugák

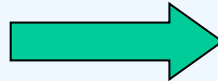


- **Előhengerelt buga**

- Idomacélok
- Sínek

- **Lemezbuga**

- Lemezek
- Szalagok

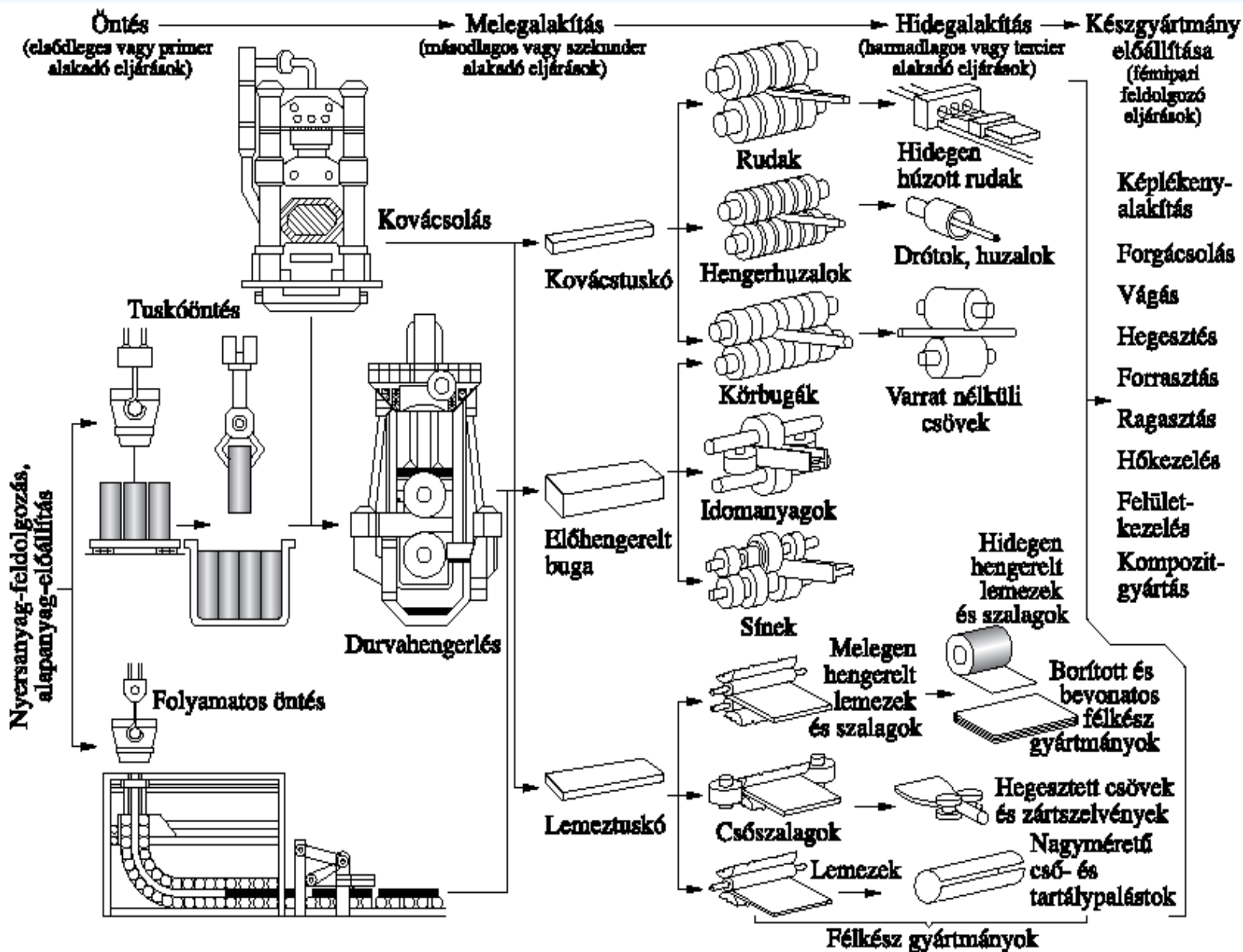


Hidegalakítások

- Hidegen húzott rudak
- Drótok
- Varrat nélküli csövek

- Hidegen hengerelt lemezek
- Hegesztett csövek, zártszelvények (szalagból)

A technológiák áttekintése

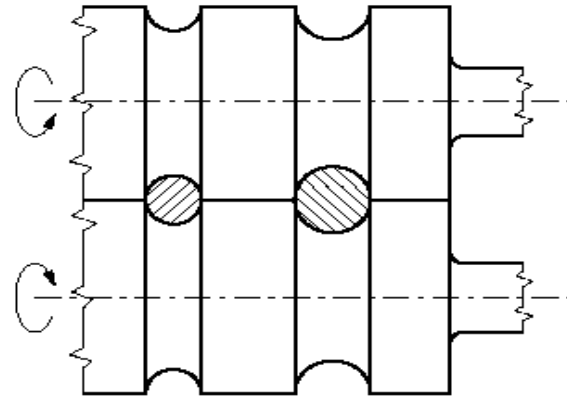
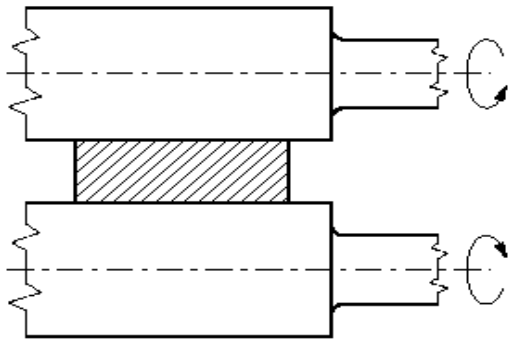


Kohászati képlékenyalakító eljárások

- Hengerlés
- Kovácsolás
- Varratnélküli csőgyártás
- Rúd-, huzal- és csőhúzás
- Rúd- és csősajtolás

Ezek mind melegalakító eljárások
(újrakristályosodási hőmérséklet felett végzett alakítások)

Hengerlés (1)



Lemez

Idom (pl. körszelvény)

hosszirányú hengerlése

Hengerlő berendezések (hosszirányú)



Hengersorok

- **Az egymást követő alakítási lépéseket célszerűen sorba rendezett hengerállványokon végzik**
- **Ilyenkor az üregek a fogyási tervnek megfelelően követik egymást**

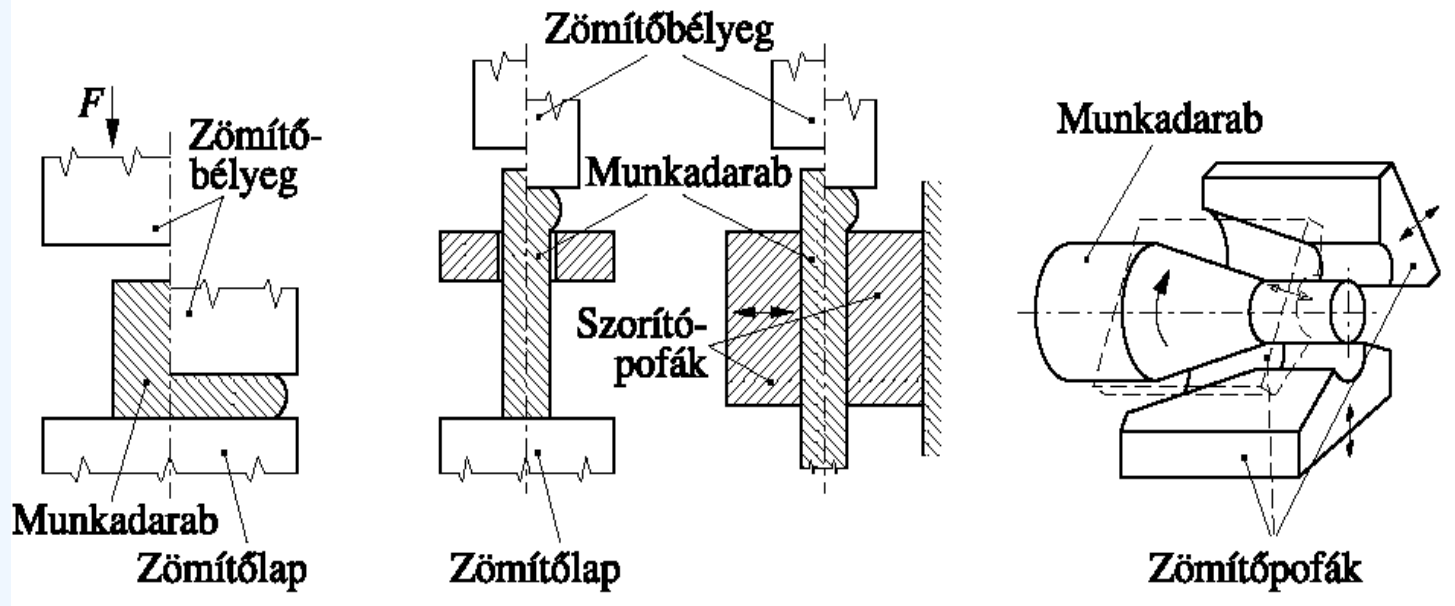


Kovácsolás

- Elve: az újrakristályosodási hőmérséklet felett **ütéssel vagy sajtolással** (lassú nyomással) **végzett alakítás**
- Fajtái:
 - Szabadalakító és
 - Süllyesztékes kovácsolás

Szabadalakító kovácsolás

- A szerszám csak részben érintkezik az alakítandó darabbal
- Egyszerű szerszámokkal, durva előalakításra, nagyméretű darabok gyártására alkalmas



Zömítés

Duzzasztás

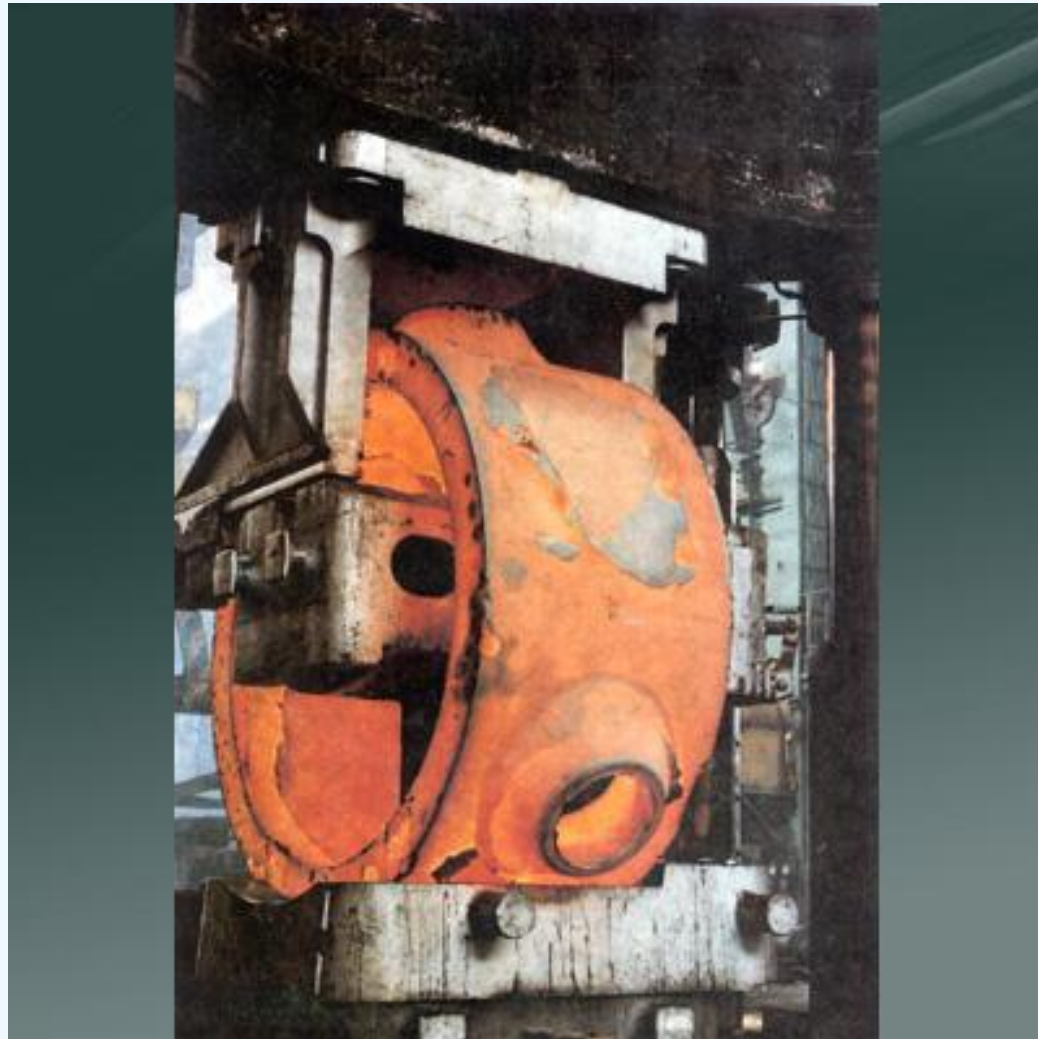
Körkovácsolás

Tuskó szabadalakító kovácsolása



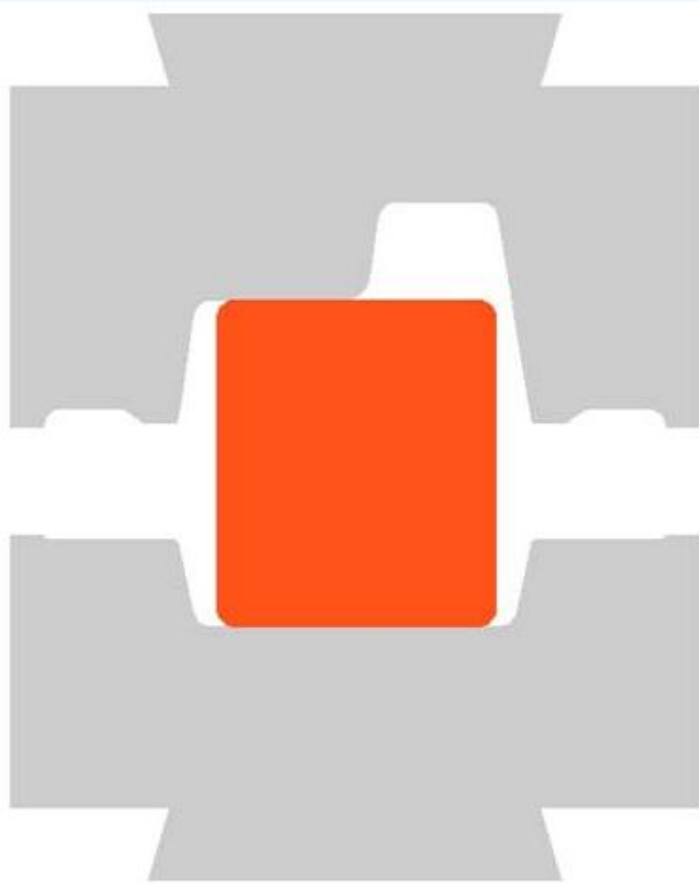
nykoudesdazab. eudatda

Példa szabadalakító kovácsolására

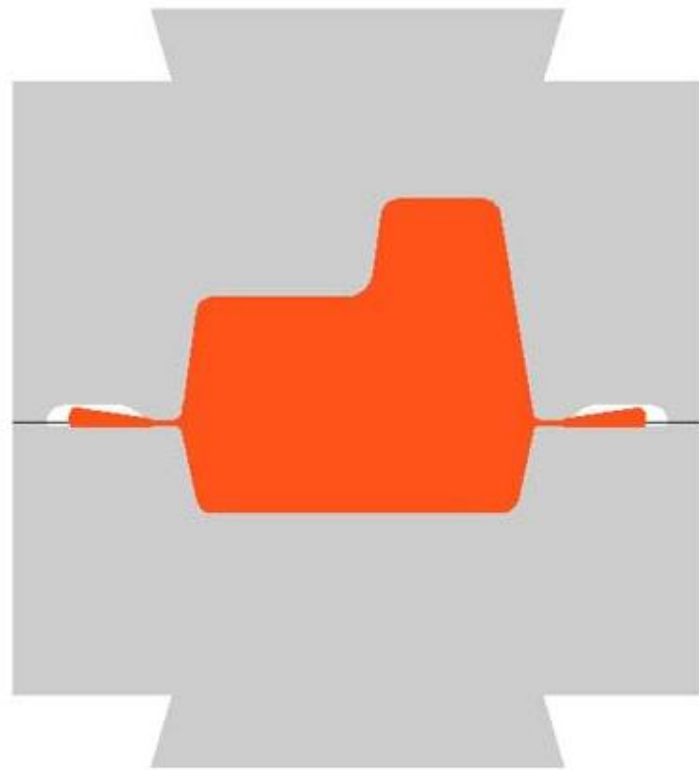


Süllyesztékes kovácsolás

- **A melegalakítás zárt üregben történik, ez a süllyeszték**
- **A süllyeszték osztósíkja körül egy sorjacsatorna helyezkedik el, amely egyrészt gátolja az anyag kiáramlását, elősegíti az üregkitöltést, másrészt befogadja a felesleges anyagot**
- **A nyitás megkönnyítése érdekében az osztósíkra merőleges síkokat néhány fokos ferdeséggel kovácsolják**

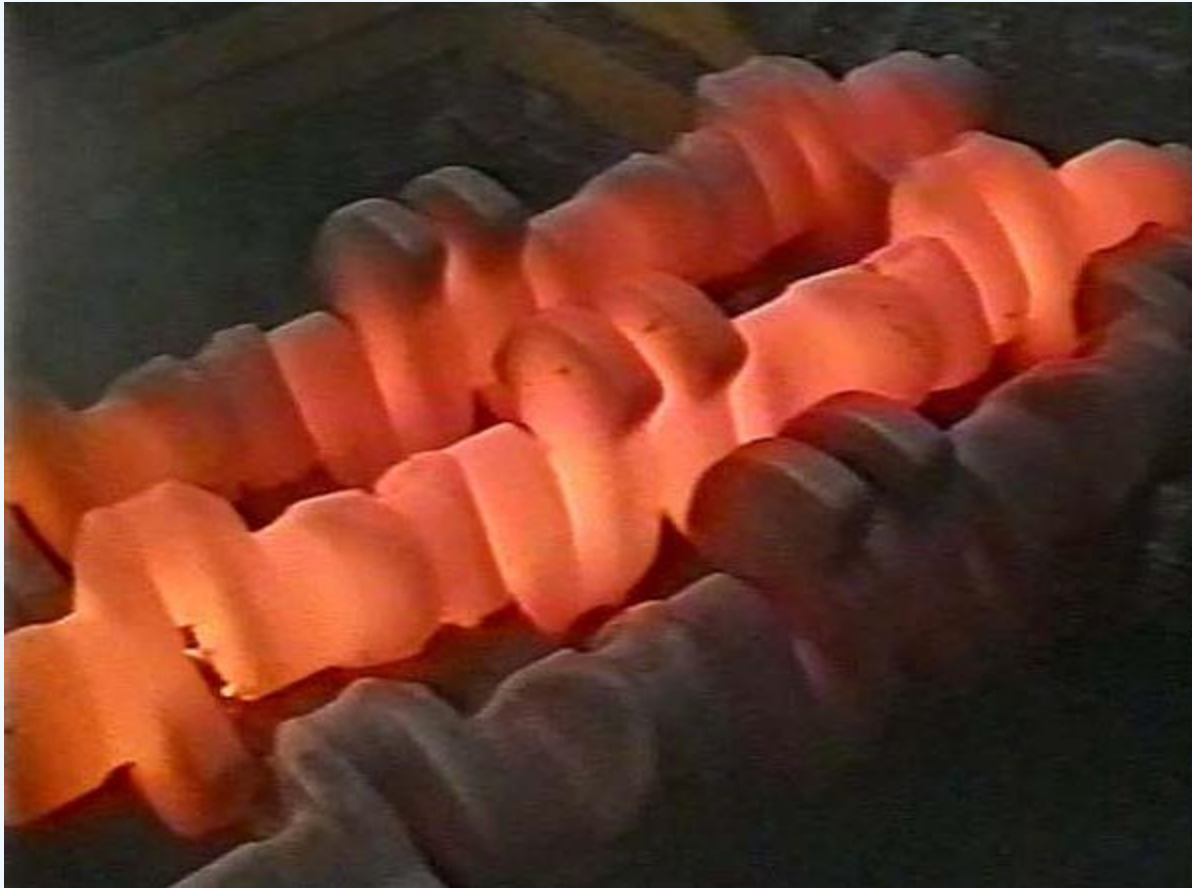


az alakítás kezdő pillanata



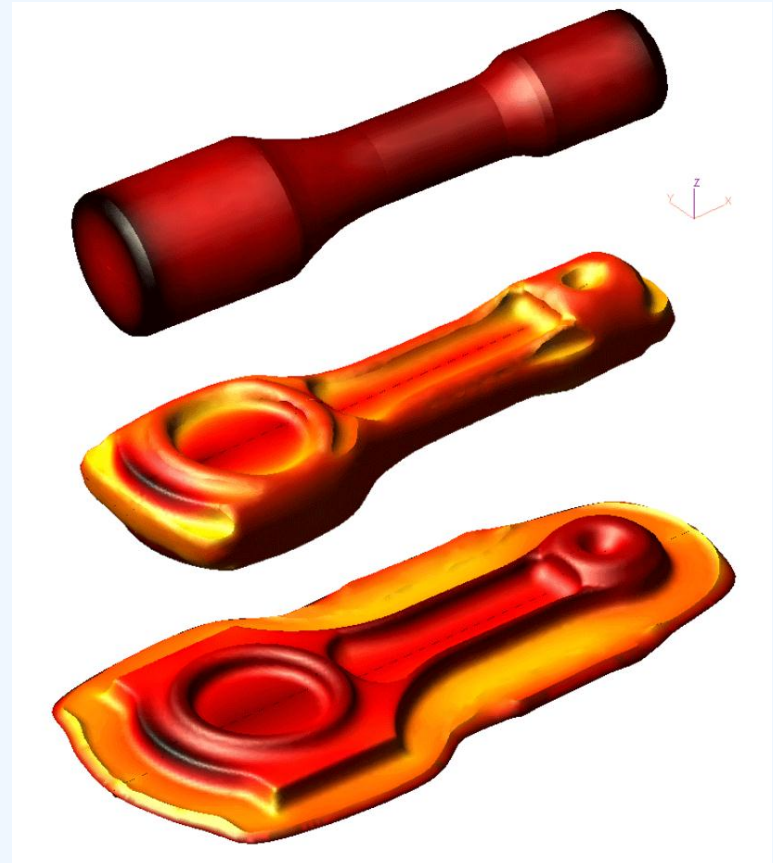
az alakítás vége

Süllyesztékes kovácsolás: forgattyús tengely



Példa: kovácsolt hajtórúd

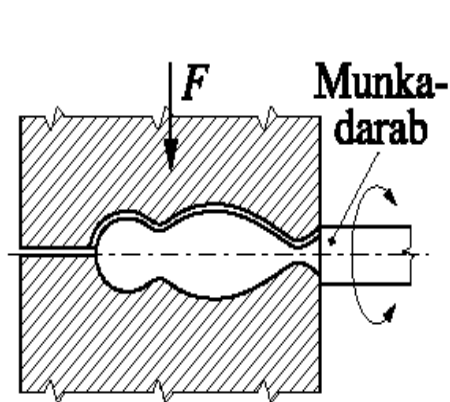
- **Előalakítás: nyújtó zömítés**
- **Előkovácsolás**
- **Kész alak, körben a sorjacsatorna**



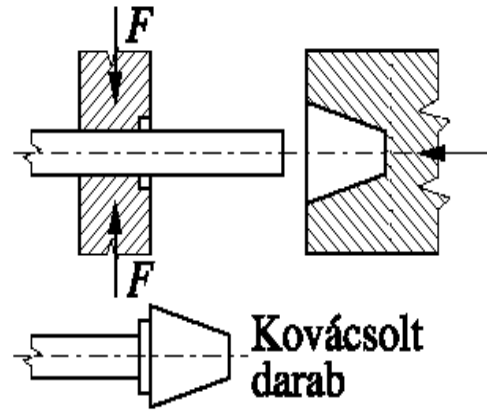
Példa villáskulcs



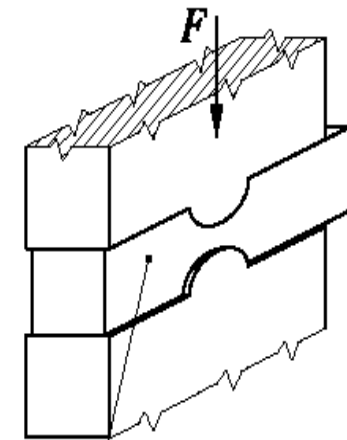
Süllyesztékes kovácsoló műveletek



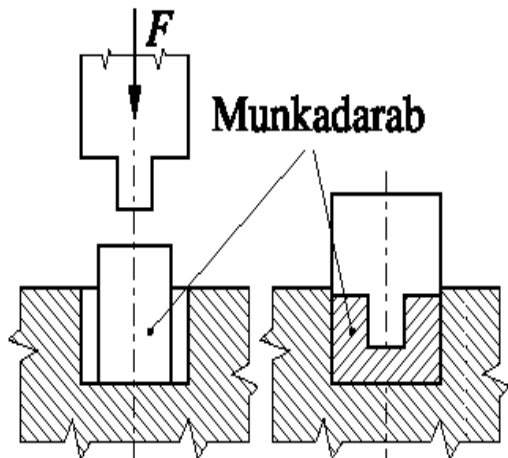
a)



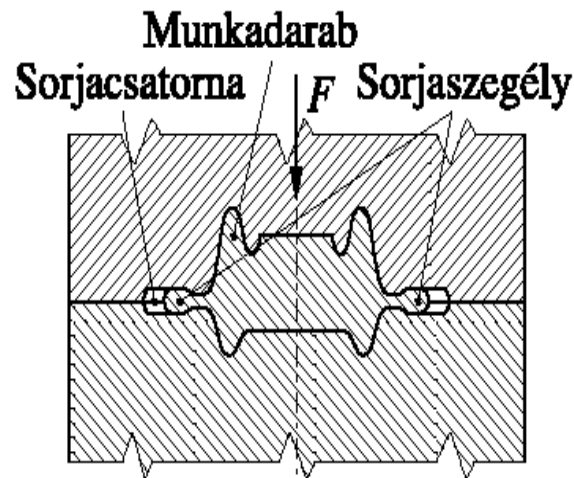
b)



c)

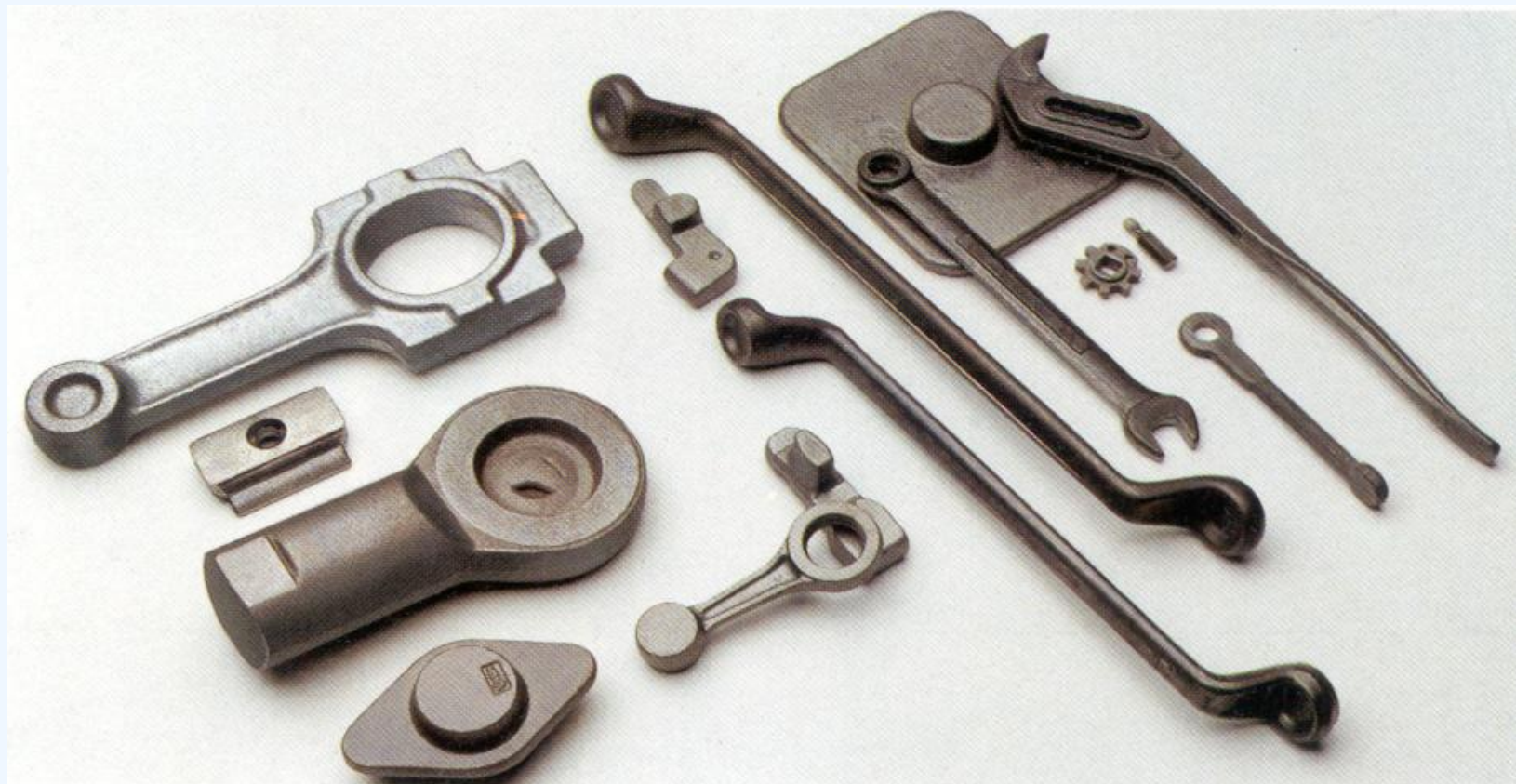


d)



e)

Egyéb kovácsolt alkatrészek



Melegalakíthatósági vizsgálatok

Melegalakíthatósági próbák

- **Zömítő vizsgálat az alakítás hőmérsékletén**
Mérőszám:
magasságcsökkenés az első repedés megjelenéséig



Melegalakíthatósági próbák

- **Hajlító vizsgálat** az alakítás hőmérsékletén
Mérőszám: a behajlás mértéke az első repedés megjelenéséig
- **Csavaró vizsgálat** az alakítás hőmérsékletén
Mérőszám: az elcsavarodás mértéke az első repedés megjelenéséig

Az **alakítási szilárdság** a képlékeny alakítási technológia legfontosabb paramétere.

Azt fejezi ki, hogy az adott fém alakításakor mikor, milyen mechanikai feszültség elérésekor kezd el képlékenyen alakváltozni. Precízebben: *az alakítási szilárdság a fémek egytengelyű feszültségállapotban mért folyáshatára.*

Az alakítási szilárdság (k_f) nagysága több tényezőtől függ:

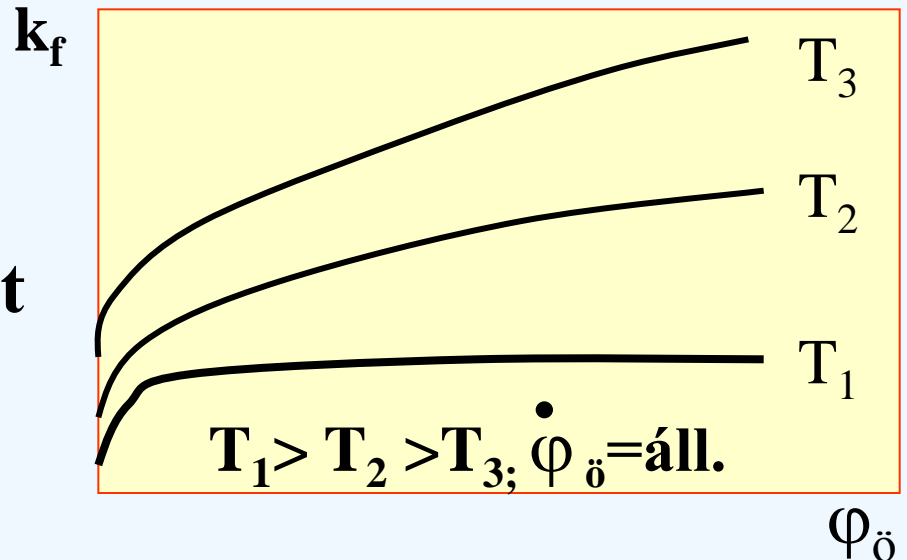
- az adott fém anyagától, annak kémiai összetételétől;
- a darab hőmérsékletétől (T);
- az alakváltozás mértékétől, nagyságától (ε vagy φ);
- attól, hogy az alakváltozás milyen sebességgel megy végbe .

A melegalakíthatóság jellemzése a folyási görbével

- Az alakítási hőmérsékleten felvett folyási görbe jellemzi az anyag alakítási szilárdságát
- A magas hőmérsékleten felvett folyási görbe erősen sebesség függő

$$k_f = k_f(\varphi_{\ddot{o}}; \dot{\varphi}_{\ddot{o}}; T)$$

$$k_f = c \cdot \varphi_{\ddot{o}}^n \quad (\text{ha } \dot{\varphi}_{\ddot{o}}; T = \text{áll.})$$

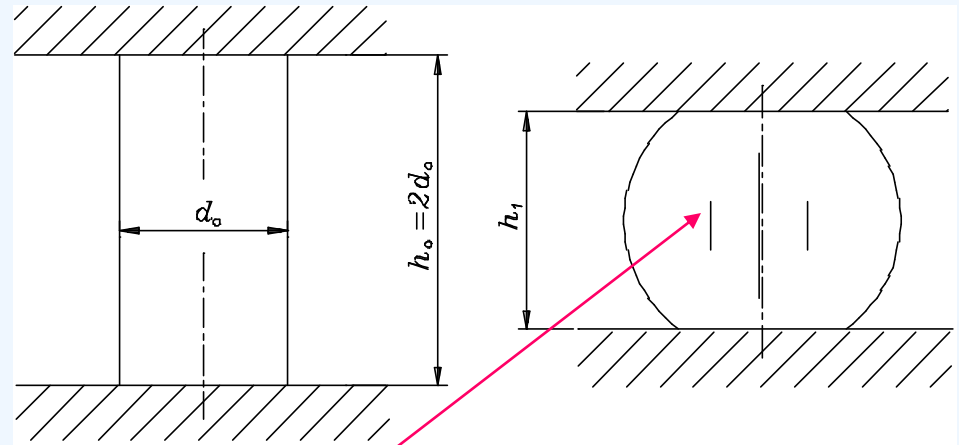


Vöröstörékenységi hajlam vizsgálata (1)

- Az acélok a 900-1100 C° hőmérséklet tartományban repedésre hajlamosak alakítás közben, ez a vöröstörékenység
- A jelenséget a **kén jelenléte** okozza, amely **vasszulfidként** alacsony olvadáspontú **eutektikumot** alkot. Ez az alakítás hőmérsékletén megolvad, és folytonossági hiányokat, repedéseket okoz
- Ez a melegalakíthatósági próbákkal kimutatható

Vöröstörékenységi hajlam vizsgálata (2)

- Nyomóvizsgálat az alakítás hőmérsékletén
- A vizsgálat mérőszáma az első repedés megjelenésekor mért magasság csökkenés

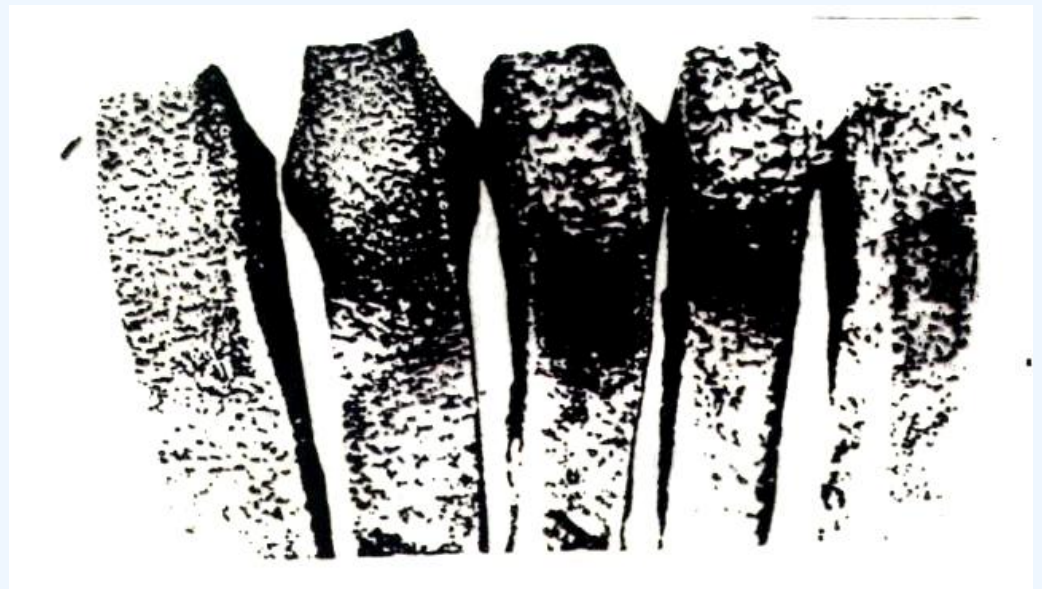


Felületi repedés



Vöröstörékenységi hajlam vizsgálata (3)

- Hajlító vizsgálattal
- A vizsgálat mérőszáma az első repedés megjelenésekor mért magasság csökkenés



Alakított előgyártmányok vizsgálata

- Roncsolásos
- Roncsolásmentes vizsgálatok

Alakított darabok vizsgálata

Roncsolásos vizsgálatok

- **zárványosság vizsgálata**
 - makroszkópos
 - mikroszkópos
- **szövetvizsgálat**
 - hőkezelt szövet (normalizálás, nemesítés ellenőrzése)
- **keménységmérés**

Zárványsorosság

- **Az acél öntése során zárványok keletkeznek**
- **Ezek a zárványok a meleghengerlés következtében sorokká rendeződnek, amely a hossz- és keresztirányú mechanikai tulajdonságok különbözőségét okozza (anizotrópia)**
- **A zárványsorok hidegalakítás során követik az alakváltozás irányát, mélymaratással „szálas” szerkezet mutatható ki.**

Makroszkópos vizsgálatok

⇒lépcsős próbával

⇒kék töret próbával

⇒Baumann kénlenyomat

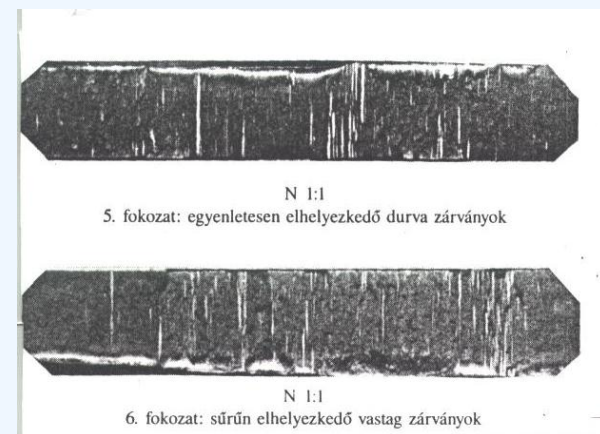
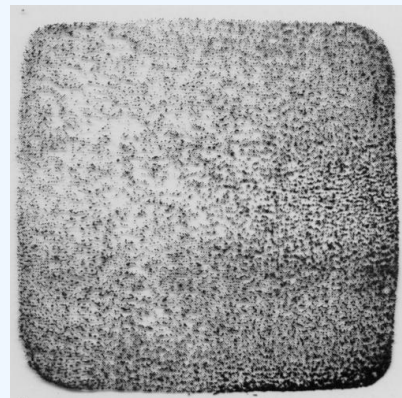
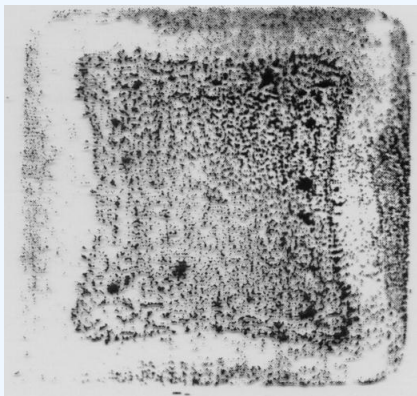
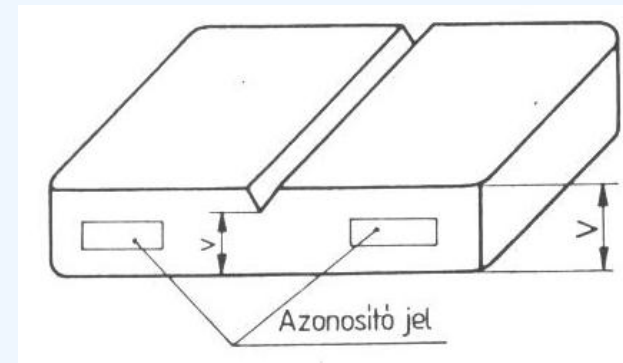
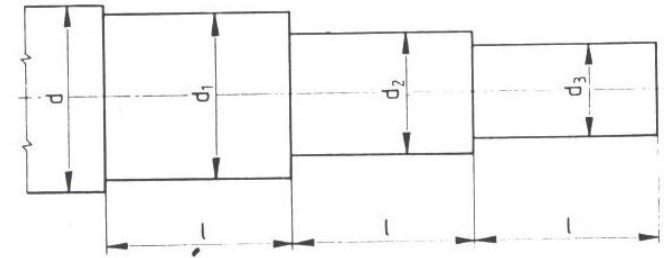
⇒mélymaratás

Nem fémes zárványok meghatározása

Lépcsős próba (MSZ 2638/1)

Kéktöret vizsgálat (MSZ 2638/2)

Baumann féle kénlenyomat (MSZ 2638/3)



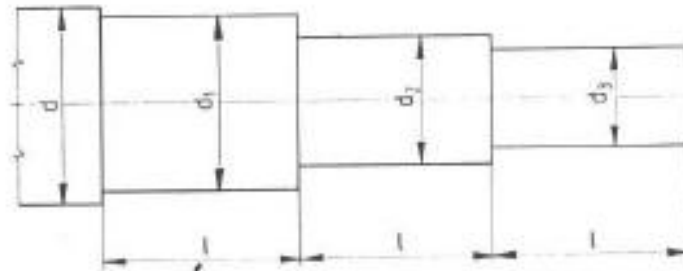
Nem fémes zárványok meghatározása

- Lépcsős próba
(MSZ 2638/1)



Nem fémes zárványok meghatározása

•Lépcsős próba
(MSZ 2638/1)



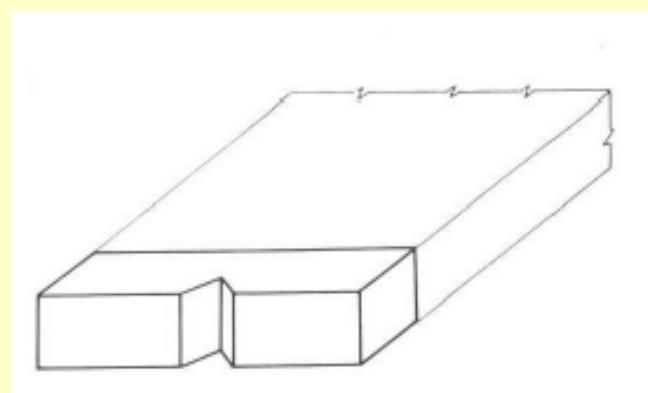
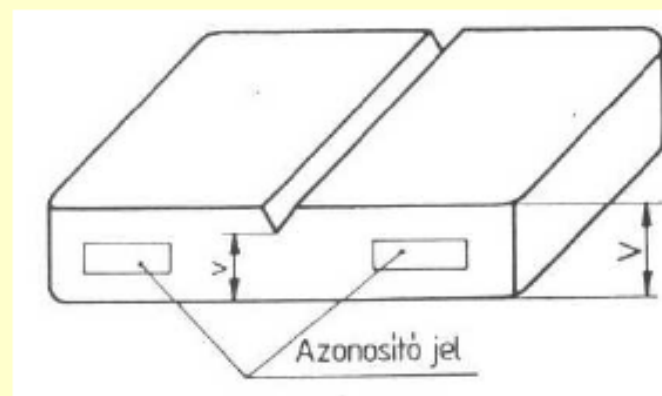
a zárvány mért hossza	Jelzőszám
1 - 2	1,5
2 - 5	3,5
5 - 10	7,5
10 - 20	15
20 felett	30

Kéktöret vizsgálat (MSZ 2638/2)

a melegen hengerelt vagy
kovácsolt
acéltermékekben
előforduló nemfémes
makrozárványok

- nagyságának,
- alakjának és
- eloszlásának meghatározására alkalmas.

Nem alkalmas erősen ötvözött acélok (pl. korrózióálló-, vagy hőálló) és csillapítatlan acélok vizsgálatára.

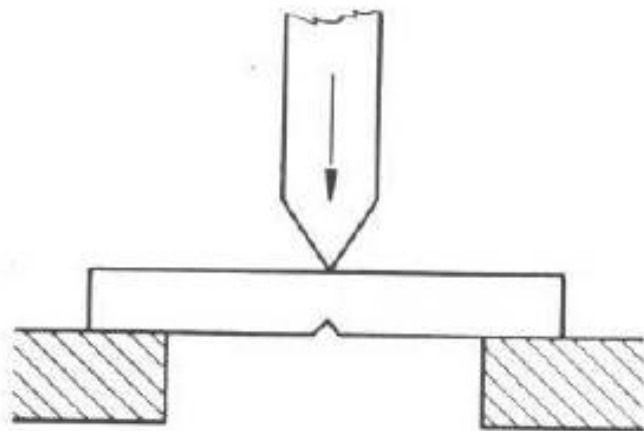


Kéktöret vizsgálat (MSZ 2638/2)

a melegen hengerelt vagy
kovácsolt
acéltermékekben
előforduló nemfémes
makrozárványok

- nagyságának,
- alakjának és
- eloszlásának
meghatározására alkalmas.





N 1:1

1. fokozat: a töret zárványmentes



N 1:1

2. fokozat: néhány vékony zárvány



N 1:1

3. fokozat: középén csoportosan elhelyezkedő zárványok



N 1:1

4. fokozat: csoportos zárvány elhelyezkedés szélek irányában



N 1:1

5. fokozat: egyenletesen elhelyezkedő órva zárványok



N 1:1

6. fokozat: sűrűn elhelyezkedő vastag zárványok

Mélymaratás MSZ 2638/4

- **A marószer: 50 ml HCl + 50 ml H₂O**
- **Jellegzetes hibafajták:**
 - **M1 Központi porózusság**
 - **M2 általános pontszerű dúsulás**
 - **M3 általános foltszerű dúsulás**
 - **M5 belső dúsulási koszorú**
 - **M6 fogyási üreg**
 - **M7 felületközeli gázhólyagosság**
 - **M8 réteges szerkezet**

Mélymaratott darab



Szálfutás vizsgálata (primer maratás)

- Kimutatható mélymaratással
- speciális primer marószerekkel (a különböző P tartalmú részeket másként marja)



- Köszörülési
repedés



80. ábra
Marott köszörülési
repedés

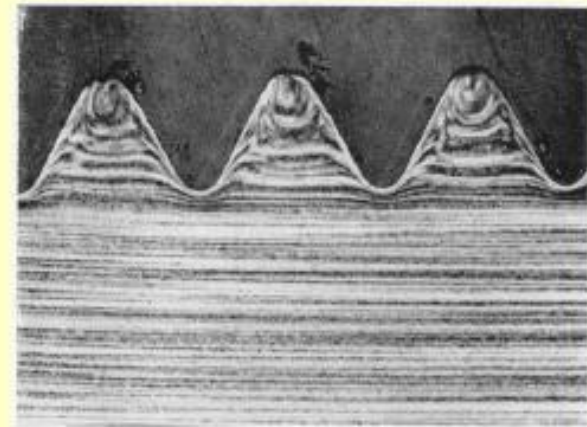
- kovácsolási
repedés



81. ábra
Kovácsolási repedés

Primer maratások

- A marószerek a különböző foszfortartalmú részeket másképpen marják, így a foszforeloszlás segítségével kimutathatjuk az öntött dendrites vagy az alakított soros szövetszerkezetet

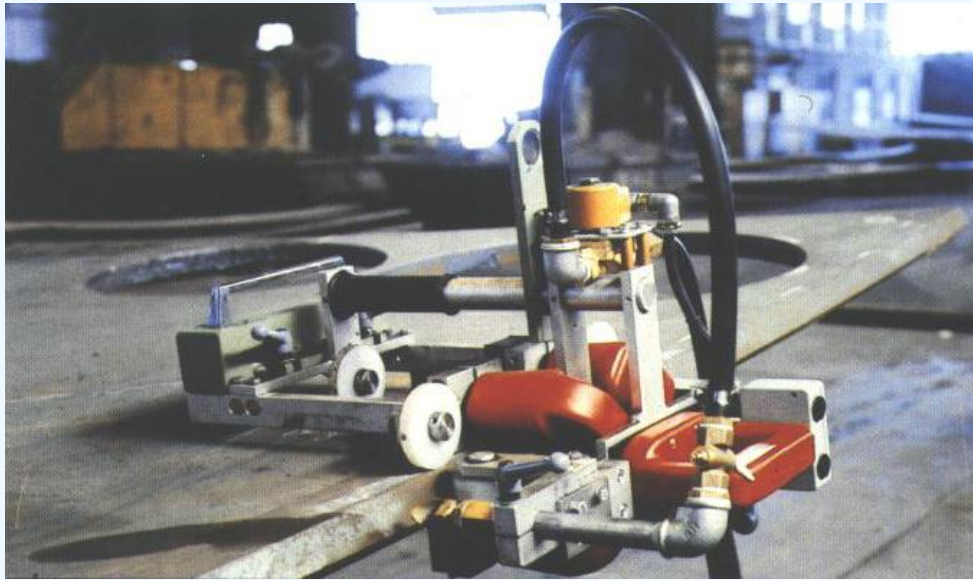


Alakított darabok roncsolásmentes vizsgálatai

- **Mágneses
repedésvizsgálat
(hőkezelés előtt és után)**



Mágneses repedésvizsgáló gépek, alkalmazási példák

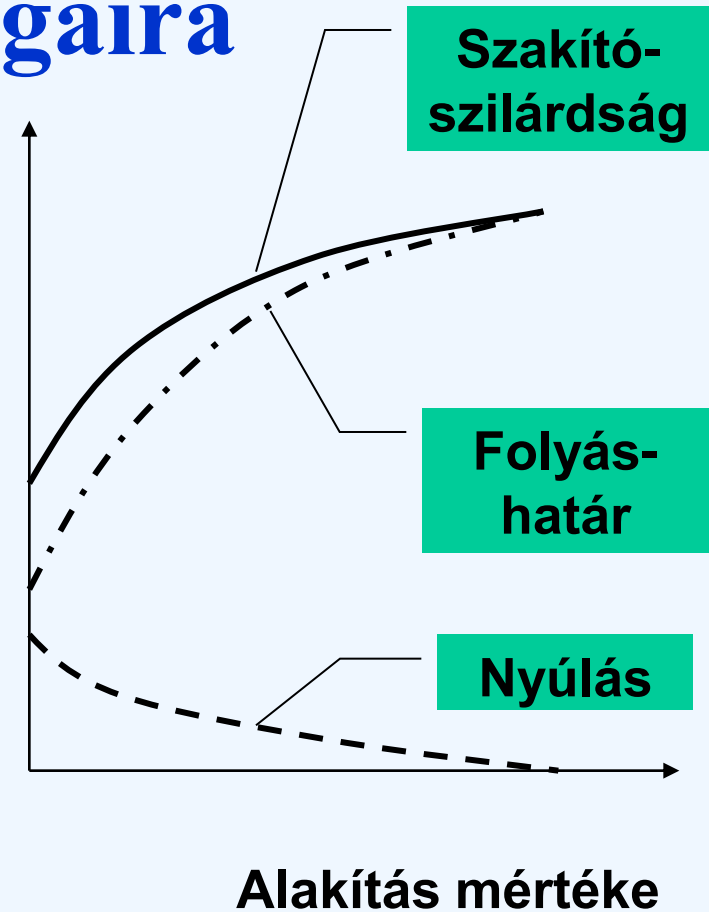


Hidegalakítás

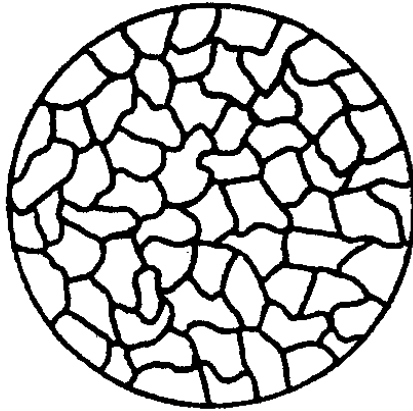
**Az alakítást az újrakristályosodási
hőmérséklet alatt végezzük!**

A hidegalakítás hatása az anyag tulajdonságaira

- Alakítás hatására nő a diszlokáció sűrűség
- Emiatt nő a szilárdság és romlik az alakíthatóság
- Összefoglalóan: az anyag felkeményedik

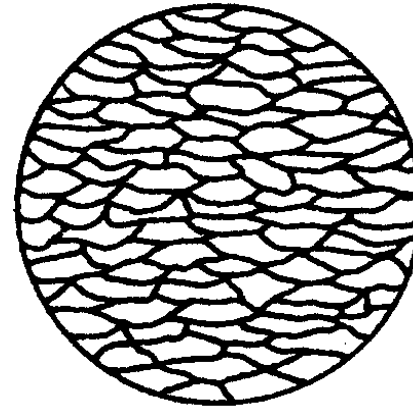


A hidegalakítás hatása a kristallitok alakjára



$$V_0$$

a./ alakítás előtt

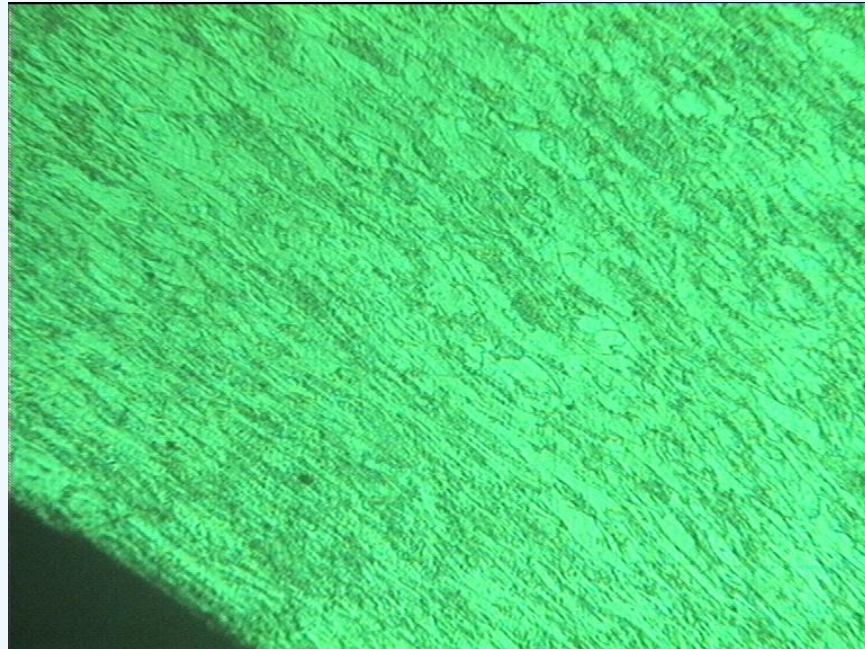
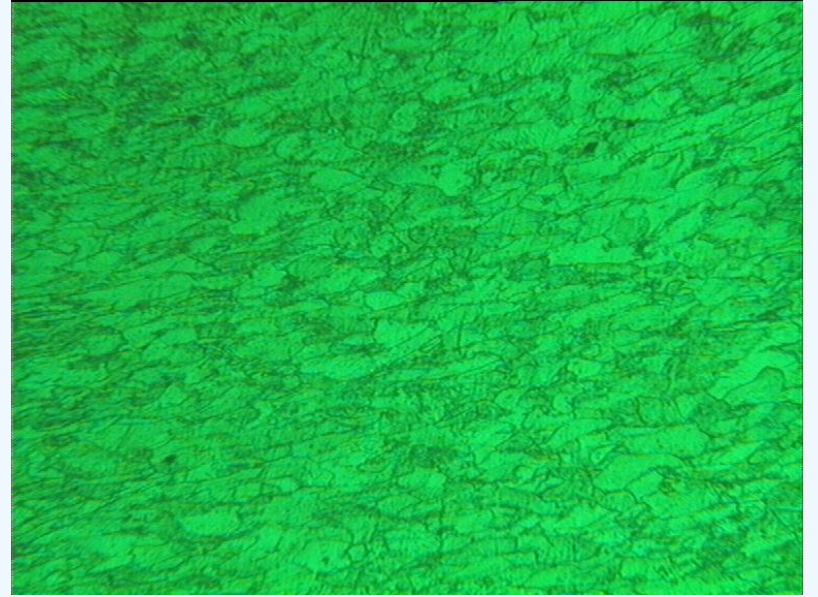
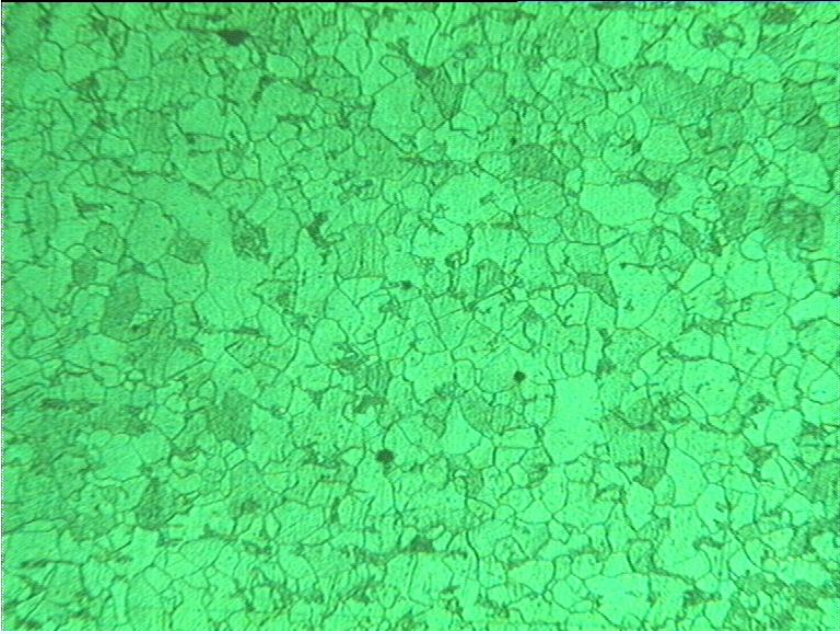


$$V_1 = V_0$$

b./ hidegalakítás után

V_0 = átlagos szemcsetérfogat alakítás előtt

V_1 = átlagos szemcsetérfogat hidegalakítás után



Hidegalakítás

- **Térfogatalakítás**
- **Lemezalakítás**
 - **az anyag szétválasztása nélkül**
 - **az anyag szétválasztásával**

Az alakváltozás mértéke

- **Valódi vagy logaritmikus alakváltozás: φ**
- **A méretváltozást az aktuális, a pillanatnyi mérethez viszonyítjuk, pl. hossz méretváltozásnál:**

$$d\varphi = \frac{dL}{L} \quad \varphi = \int_{L_0}^{L_1} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L_1}{L_0}$$

Eredő (összehasonlító) alakváltozás

- Ha egy test méretei változnak, értelmezhetők a 3 főtengely menti logaritmikus alakváltozások:

$$\varphi_1 = \varphi_L$$

$$\varphi_2 = \varphi_b$$

$$\varphi_3 = \varphi_h$$

- Ezek eredője az összehasonlító (vagy redukált) alakváltozás:

$$\varphi_{\ddot{o}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_1 - \varphi_3)^2}$$

Folyási görbék

- A folyási görbe az alakítási szilárdság változását mutatja az alakítás függvényében:

$$k_f = k_f(\varphi_{\ddot{o}})$$

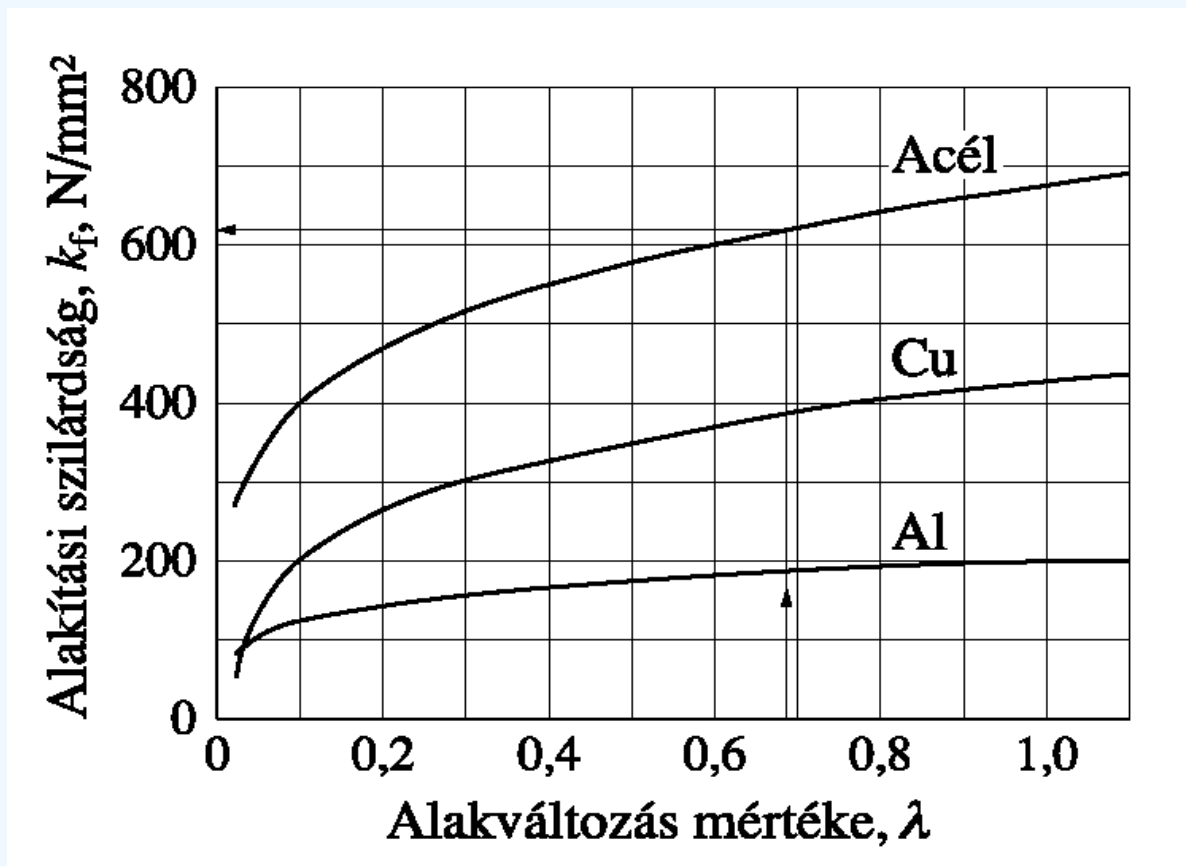
ha a hőmérséklet (T) és az alakváltozási sebesség, $\dot{\varphi}_{\ddot{o}} = \frac{d\varphi}{dt}$ is állandó

- Általánosan: $k_f = k_f(\varphi_{\ddot{o}}; \dot{\varphi}_{\ddot{o}}; T)$
 $k_f = c \cdot \varphi_{\ddot{o}}^n$ (ha $\dot{\varphi}_{\ddot{o}}; T = \text{áll.}$)

A folyási görbe együtthatóinak meghatározása

- A $k_f = c \varphi_{\ddot{o}}^n$ alakban adott folyási görbe paramétereinek értelmezése:
 - **c**: az egységnyi alakváltozáshoz tartozó alakítási szilárdság
 - **n**: a keményedési kitevő, amely azonos az egyenletes nyúlás határán mért logaritmikus alakváltozással:
$$n = \varphi_{\ddot{o}u} = \ln(L_u/L_0)$$
- A „c” és „n” a kísérletileg felvett folyási görbéből határozható meg, és kapcsolatba hozható az anyagok alakíthatóságával is

Néhány fém folyási görbéje



Alakíthatósági vizsgálatok

- **Alakíthatósági jellemzők**
- **A hideg térfogat alakíthatóságra való alkalmasság vizsgálata**
- **Lemezalakításokra való alkalmasság meghatározása**

Az alakíthatósági jellemzők térfogat alakításhoz

- **Anyagvizsgálati mérőszámok:**
szakadási nyúlás (A_5), kontrakció (Z),
keményedési kitevő (n)
- **Egyéb mechanikai vizsgálatokból
nyerhető mérőszámok:**
zömíthetőség, alakíthatósági diagram
- **Technológiai próbák**

Anyagvizsgálati mérőszámok

- **Az a fém alakítható jobban, amelynek magas a nyúlása (20% fölött) és kontrakciója (50% fölött)**
- **A folyási görbe egyenletében szereplő paraméterek is kapcsolatba hozhatók az alakíthatósággal (c , n)**
- **Az alakítás erőszükséglete szempontjából az a fém kedvezőbb, amelyiknek a folyási görbéje laposabb (c kicsi)**

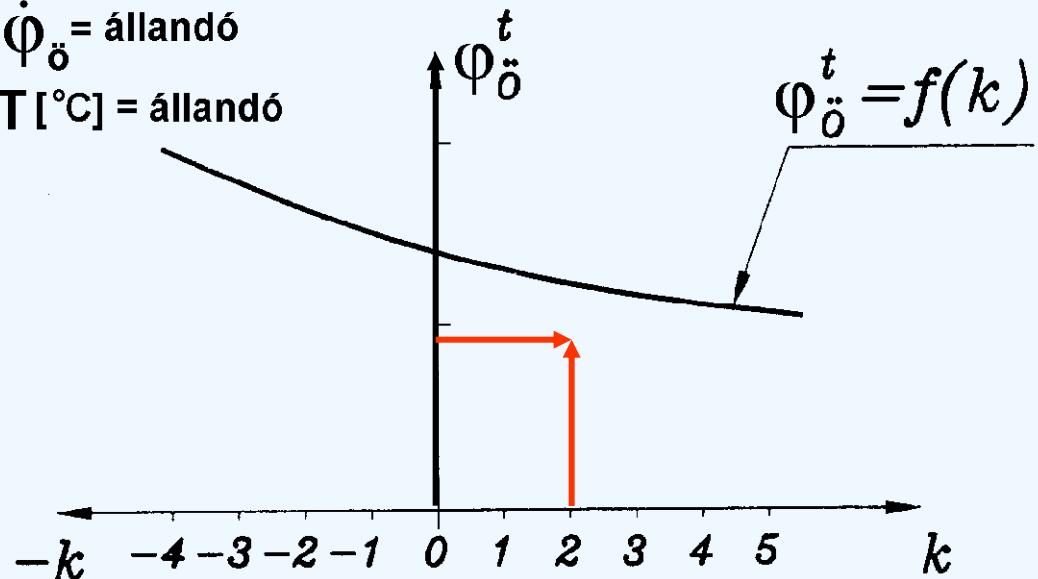
Alakíthatósági diagram

$\varphi_{\ddot{o}}$: egyenértékű
alakváltozás

k : feszültségi
állapot mutató

$$k = \sigma_m / \sigma_{\ddot{o}}$$

$\dot{\varphi}_{\ddot{o}} = \text{állandó}$
 $T [^\circ\text{C}] = \text{állandó}$



A görbe alatti terület a biztonságos

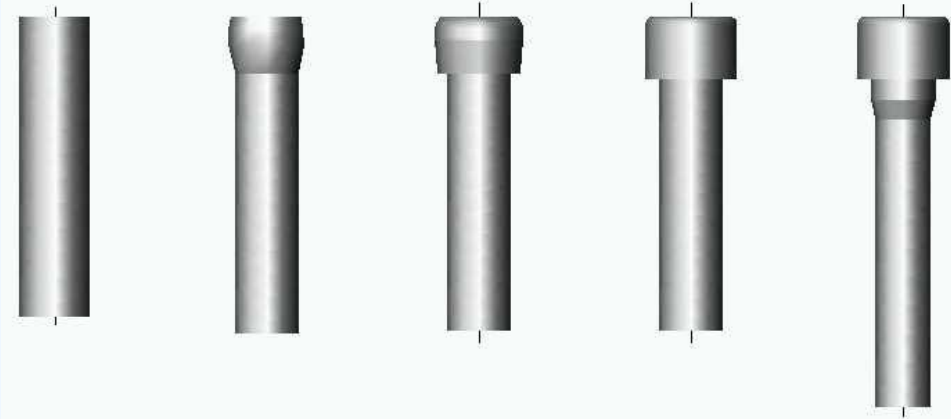
(pl. $k=2$; $\varphi_{\ddot{o}}=0,9$)

Alakításkor a számított k és $\varphi_{\ddot{o}}$ ismeretében megítélhető, hogy az alakítás végrehajtható-e?

Hideg térfogatalkítás

Anyag:

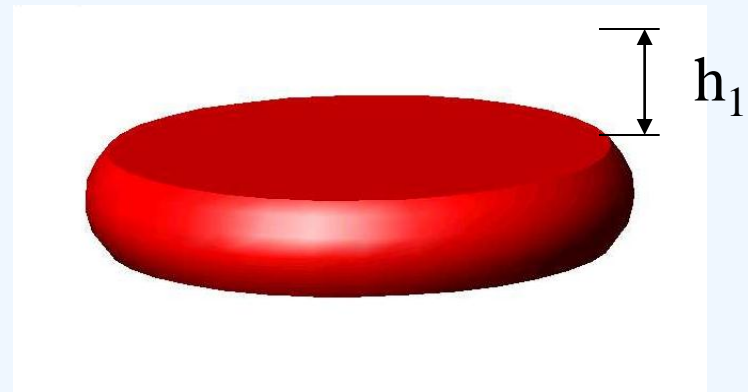
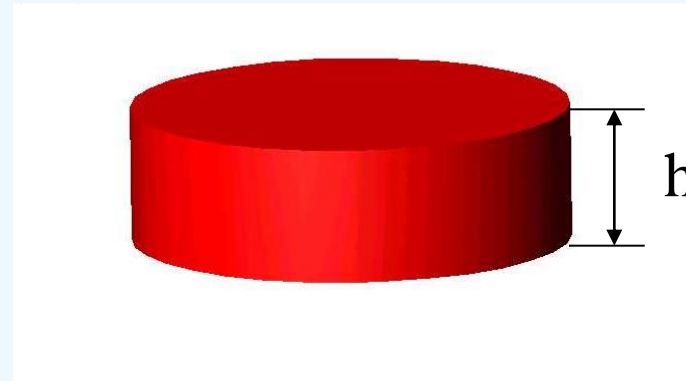
- felület (nem lehet oxidréteg) gyakran foszfátózzák
- szemcsenagyság
- zárványosság



Egyéb mechanikai vizsgálatok:

zömíthetőség

- Zömítés az első repedés megjelenéséig - mérőszáma:
 $(h_0 - h_1) / h_0 \times 100\%$
- Minél nagyobb a repedés megjelenéséig tapasztalható magasság csökkenés, annál jobb az alakíthatóság

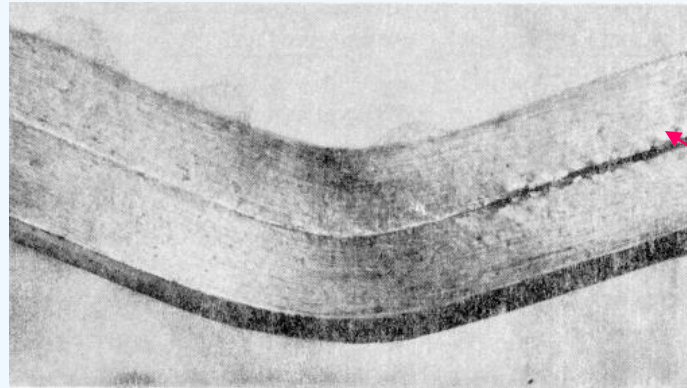
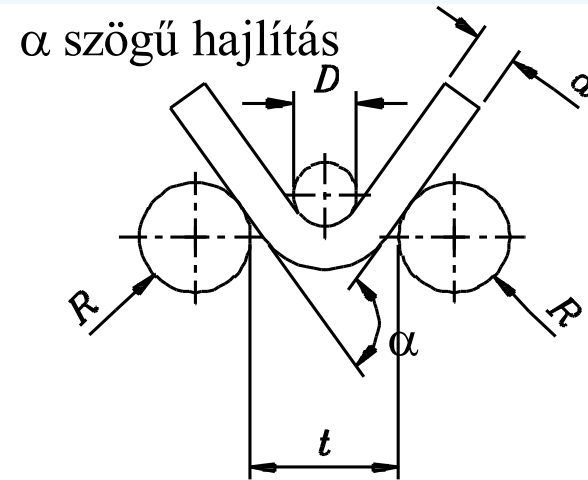
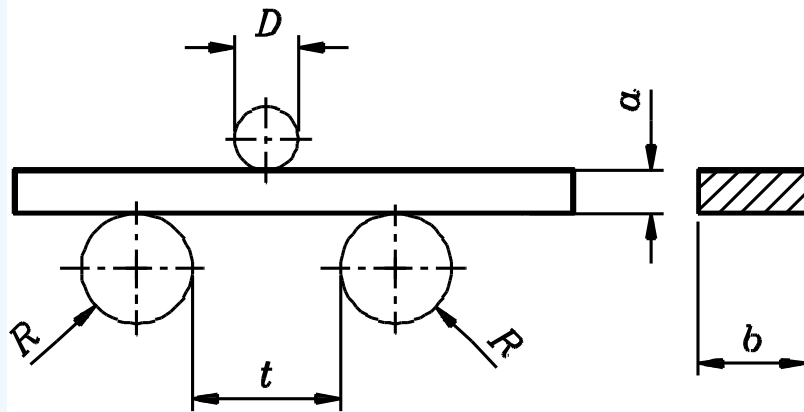


Lemezanyagok vizsgálata

Lemezanyagok vizsgálata

- **Durvalemez $s > 3$ mm**
- **Roncsolásos vizsgálatok**
 - szakítóvizsgálat
 - technológiai hajlítóvizsgálat (rétegeesség)
- **Roncsolásmentes vizsgálatok**
 - ultrahangos vizsgálat (rétegeesség)

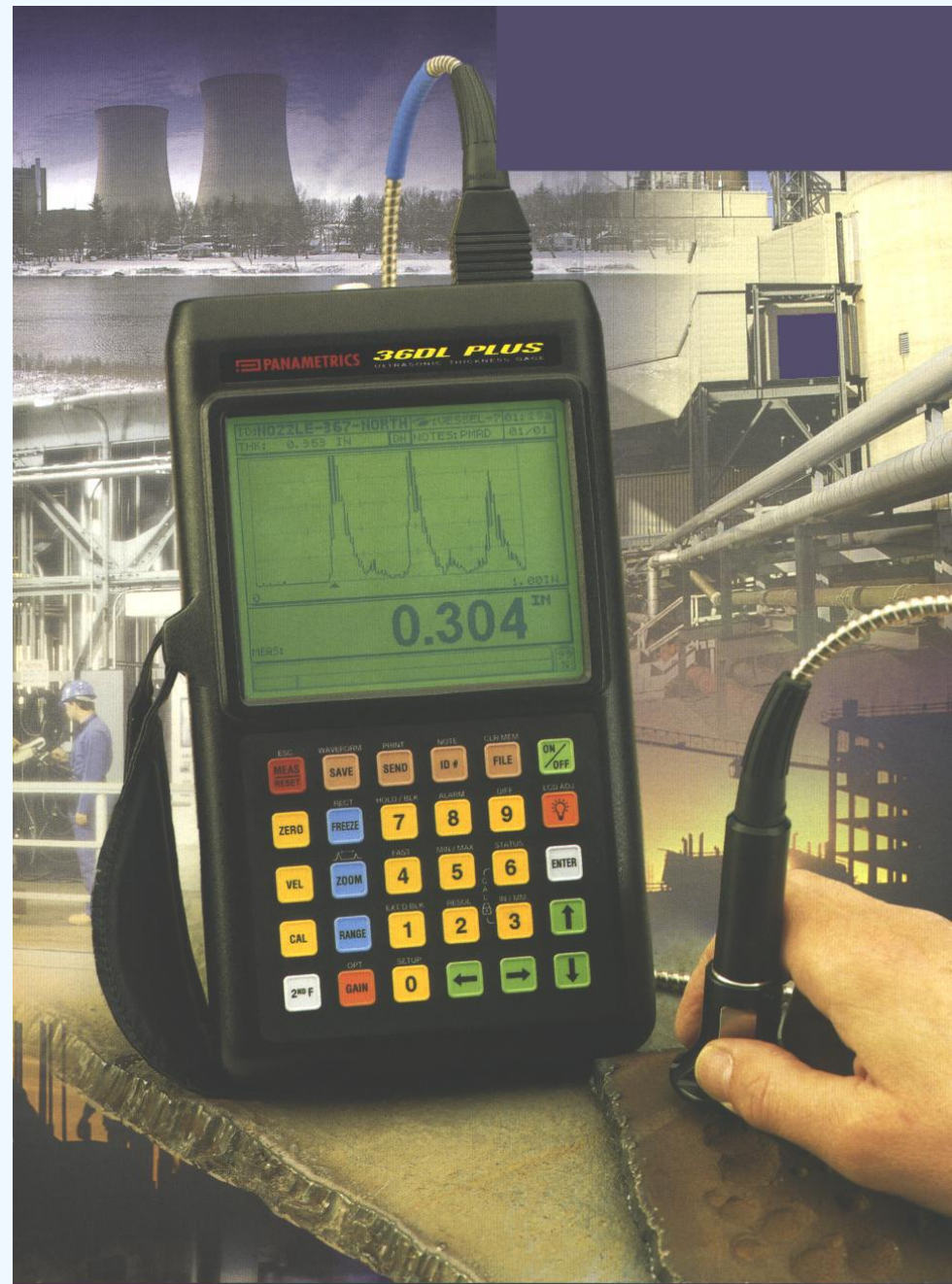
Technológiai próbák: hajlítóvizsgálat



rétegeesség

Ultrahangos vizsgálat

hengerelt lemezek
rétegességének
vizsgálata

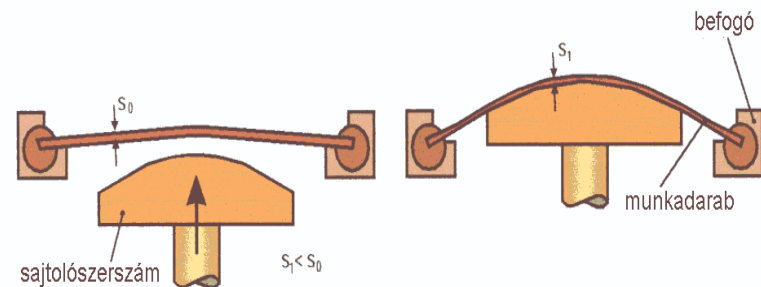
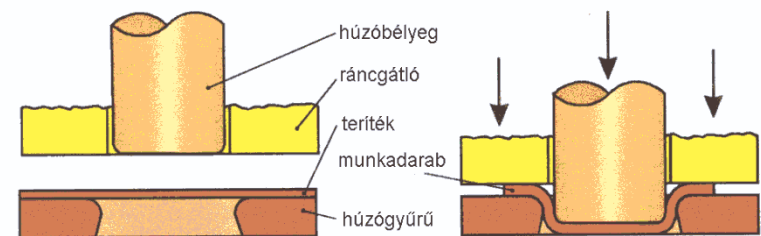
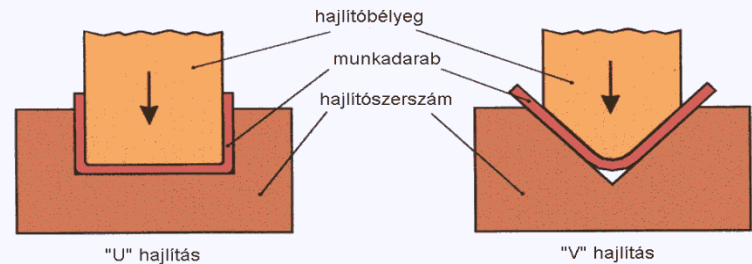


Finomlemezek vizsgálata

- **Technológiai vizsgálatok**
 - Erichsen
 - Csészehúzó vizsgálat
 - Félgömb kupola teszt
- **Szakítóvizsgálaton alapuló**
(Lankford MI-05 33.022-77)

Alakíthatóság szempontjából igényes lemezalakítások

- **Hajlítás**
- **Mélyhúzás és rokon műveletek**
- **Nyújtva húzás és rokon műveletek**

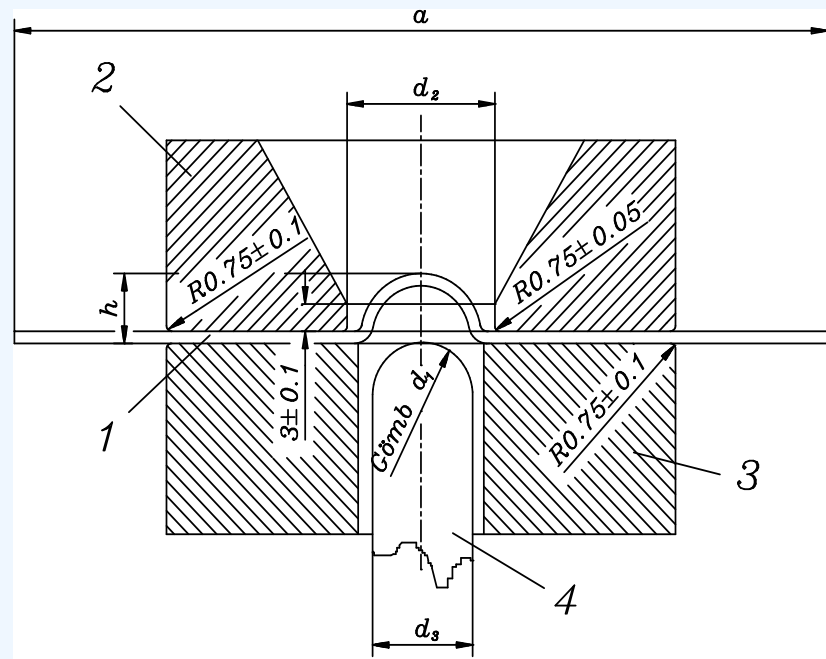


Technológiai próbák

Erichsen- féle vizsgálat

Ráncgátlóval lezorított lemezbe acél golyót nyomnak, és mérik az első repedés megjelenéséig elért csésze magasságot

A vizsgálat korrelál az n keményedési kitevővel és a nyújthatósággal



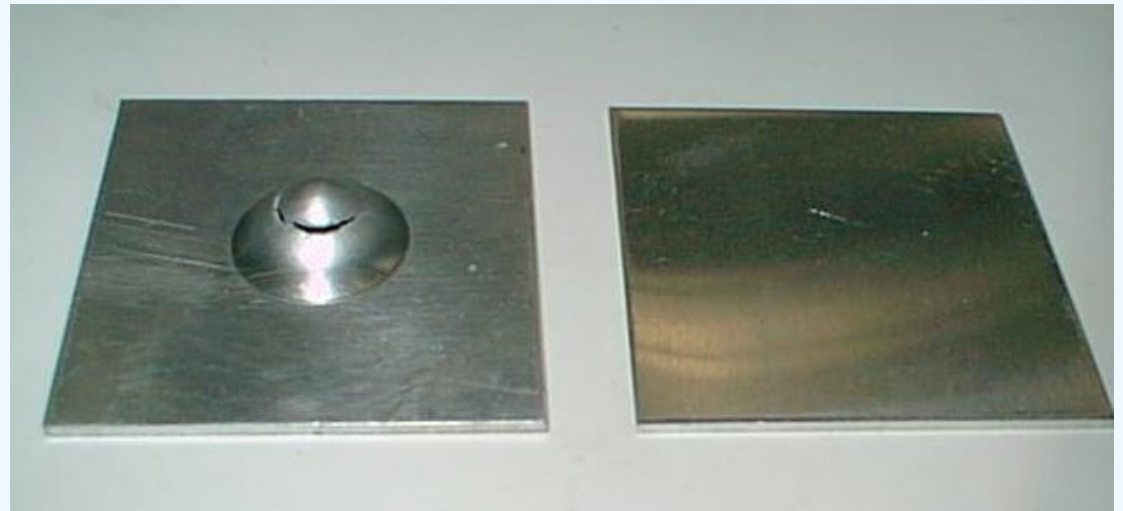
1: lemez; 2: lezorító gyűrű;
3: húzógyűrű; 4: bélyeg

Erichsen- féle vizsgálat

- **Acél lemez**



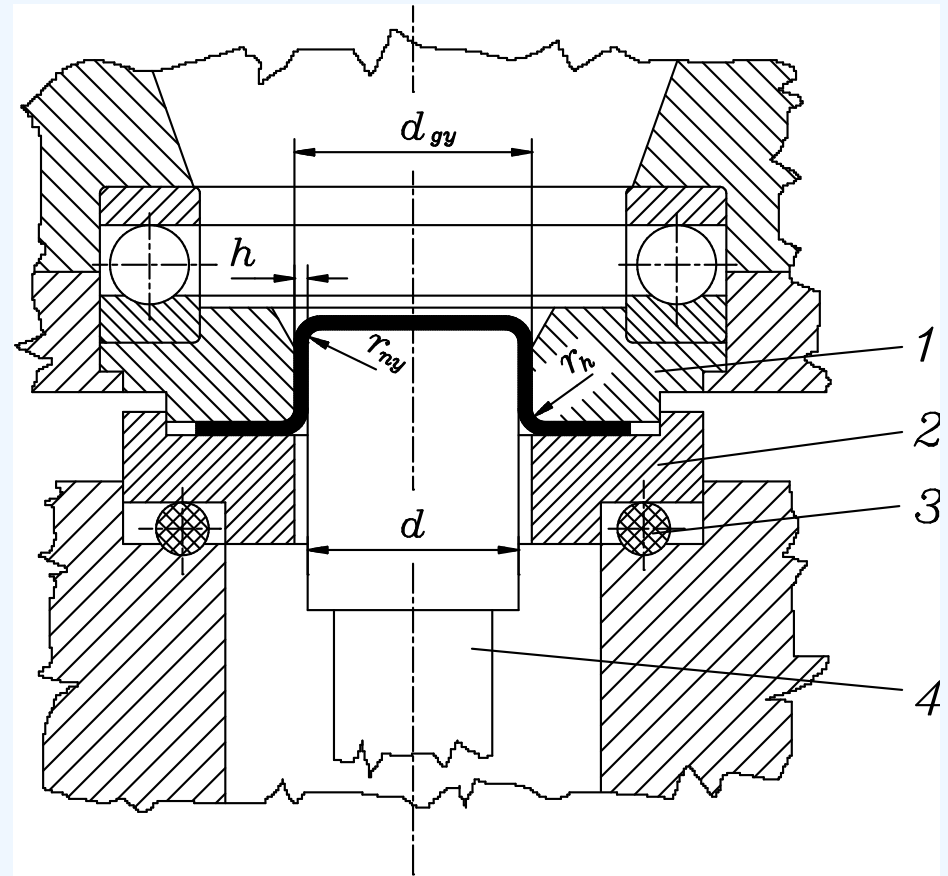
- **Alumínium lemez**



Technológiai próbák

Csészehúzó vizsgálat

- A mélyhúzás folyamatát modellező vizsgálat
- Különféle teríték átmérőjű lemezeket alkalmazva a mélyhúzási viszony meghatározható
- Ez közvetlenül használható a technológiai tervezésben



Csészehúzó vizsgálat



Mélyhúzási hibák: fülesedés



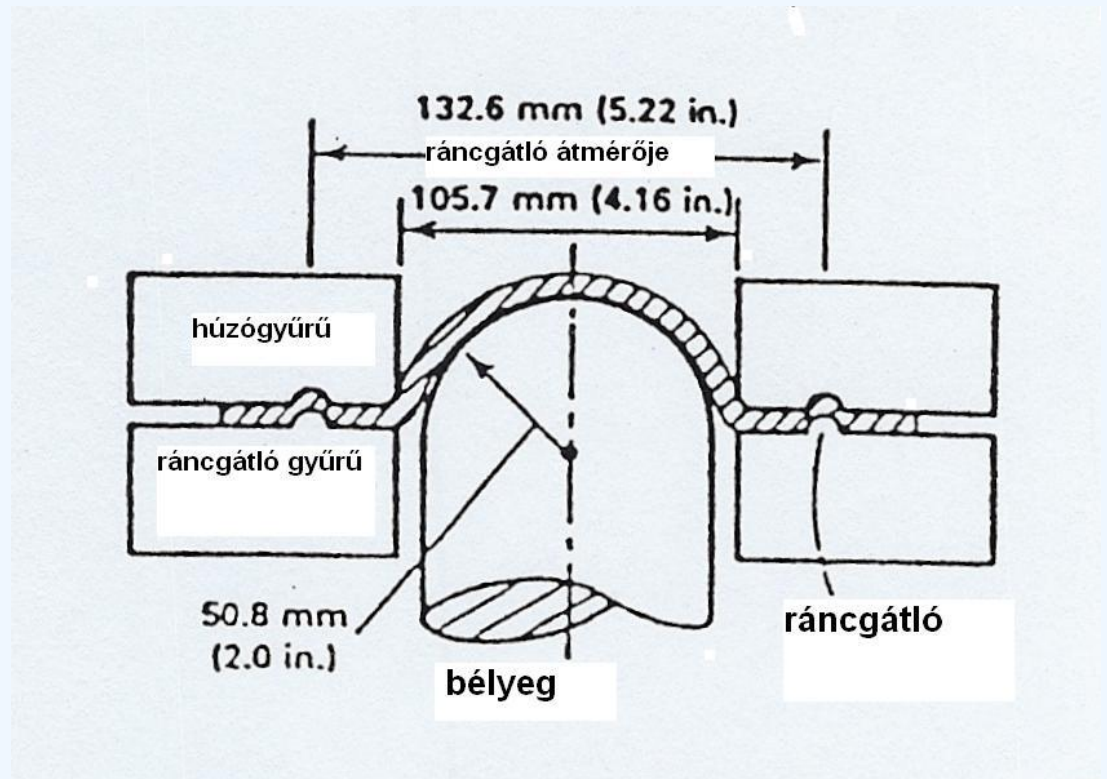
Mélyhúzási hibák: ráncosodás



Technológiai próbák

Félgömb kupola teszt

- Az Erichsen-vizsgálathoz hasonlóan az első repedés megjelenéséig elért magasságot mérik
- A bélyeg és lemez között kenőanyag van
- Jól reprodukálható eredményt ad



**Lemezek alakíthatóságának
minősítése szakítóvizsgálat
alapján (Lankford vizsgálat)**

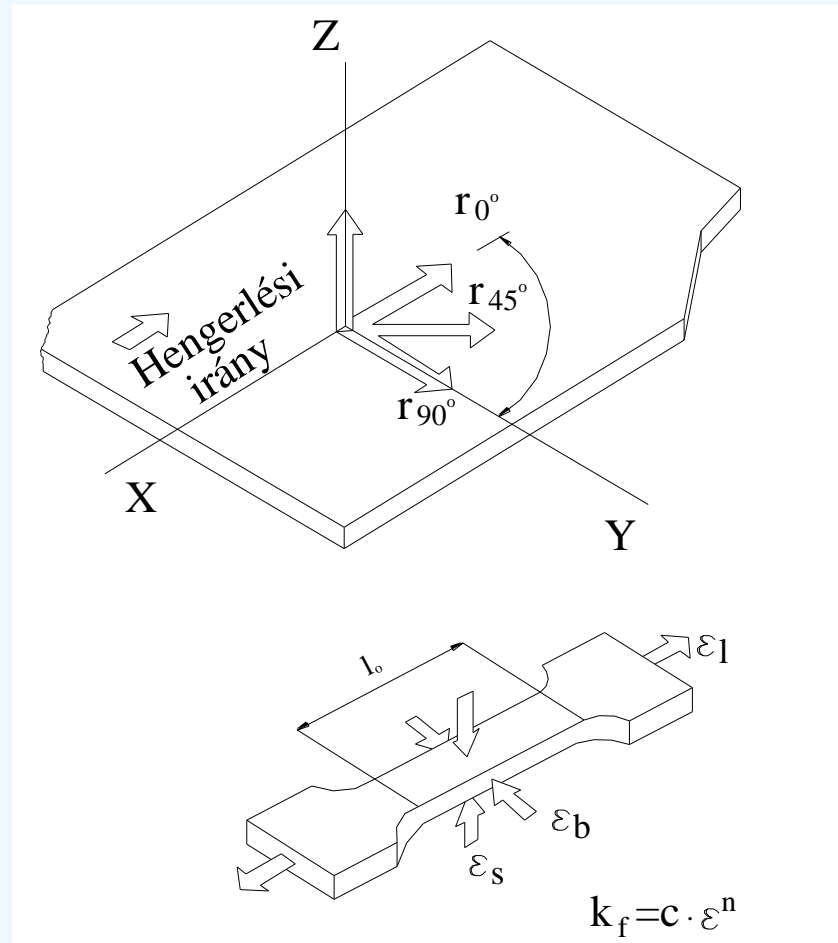
Lemezek alakíthatóságának minősítése szakítóvizsgálat alapján

- **A lemez alakíthatóságát jellemzi**
- **képlékenységi anizotrópiát /r/**
- **keményedési tényezőt /n/**
- **Képlékenységi anizotrópia /r/ alatt a szakítópálcán mérhető szélesség (ε_b) és vastagság irányú (ε_s) valódi nyúlás hányadosát értjük.**

$$\varepsilon_b = \ln \frac{b_0}{b} \qquad \varepsilon_s = \ln \frac{S_0}{S}$$

Képlékenységi anizotrópia /r/

$$r = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_s} = \frac{\ln \frac{b_0}{b}}{\ln \frac{S_0}{S}} = \frac{\ln \frac{b_0}{b}}{\ln \frac{L_x \cdot b_x}{L_0 \cdot b_0}}$$

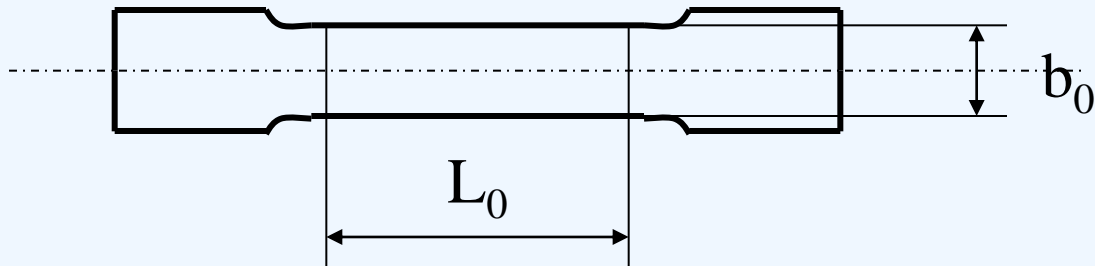


A képlékenységi anizotrópia meghatározása (1)

- Lemez szakítóvizsgálatával meghatározzuk a hossz- kereszt és vastagság irányú nyúlást, ez legyen ε_L , ε_b ill. ε_s
- A gyakorlatban elegendő két mennyiséget mérni, a harmadik számítható az $\varepsilon_L + \varepsilon_b + \varepsilon_s = 0$ összefüggésből

A képlékenységi anizotrópia meghatározása (2)

- Példa a számításra:



$$\varepsilon_L = \ln(L_1/L_0); \quad \varepsilon_b = \ln(b_1/b_0);$$

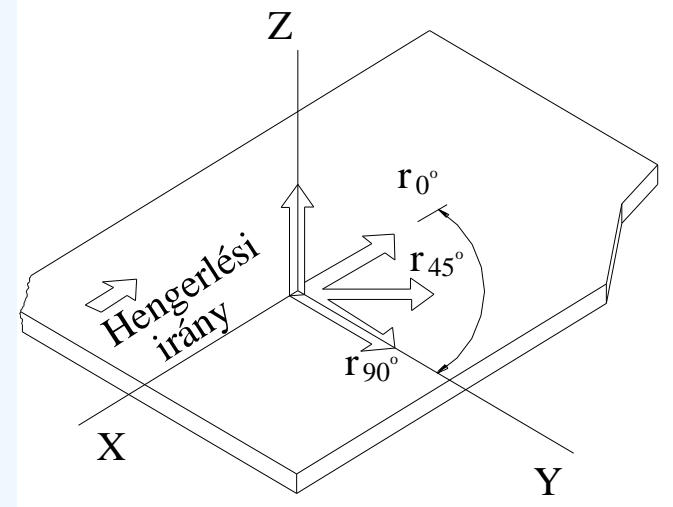
$$\varepsilon_s = -(\varepsilon_L + \varepsilon_b)$$

A képlékenységi anizotrópia meghatározása (3)

- **Képlékenységi anizotrópia:**

$$r = \varepsilon_s / \varepsilon_b$$

- **Értelmezése: a vastagság- és szélesség irányú alakváltozás hányadosa**
- **A lemez anizotrópiájának jellemzése érdekében a próbatesteket a hengerlés irányában (0°), illetve arra merőlegesen (90°), és ferdén (45°)-ban kell kivenni**



A lemez anizotrópiájának meghatározása

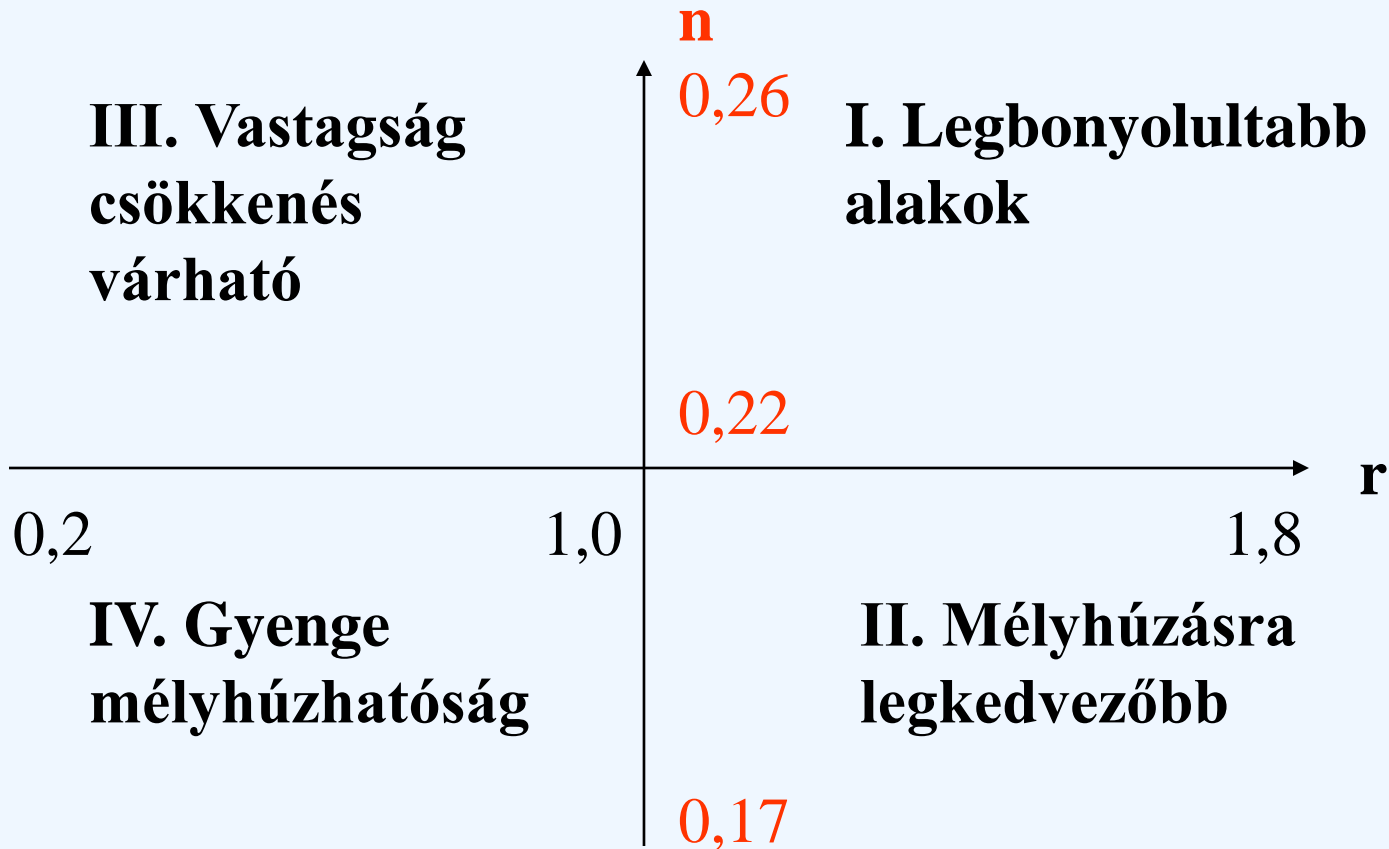
- **Átlagos anizotrópia:**
$$\bar{r} = \frac{r_0 + 2r_{45} + r_{90}}{4}$$
- **Síkbeli anizotrópia:**
$$\Delta r = r_{45} - \frac{r_0 + r_{90}}{2}$$

Izotróp a lemez (legkedvezőbben mélyhúzható fülesedés nélkül) ha az átlagos anizotrópia 1, és a síkbeli anizotrópia 0.

Mélyhúzásra ható anyagjellemzők

- A mélyhúzási viszony (D/d) annál nagyobb lehet, minél jobb az alakíthatóság
- A fülesedés annál kisebb, minél közelebb van a síkbeli anizotrópia az 1-hez
- Az átlagos anizotrópiához hasonlóan értelmezhető **a keményedési kitevő (n) átlagos értéke is**. A kettő kapcsolata mutatja a mélyhúzhatóságot összefoglalóan

Az átlagos anizotrópia és keményedési kitevő hatása a mélyhúzhatóságra



Anyagok átlagos anizotrópiája és keményedési kitevője

	n	r
Csillapítatlan ac.	0,2-0,5	1,0-1,4
Csillapított acél	0,22-0,26	1,4-1,8
Ausztenites acél	0,4-0,55	0,9-1,2
Réz	0,35-0,5	0,6-0,9
Alumínium	0,2-0,3	0,6-0,8
Alfa titán	0,05	3,0-5,0