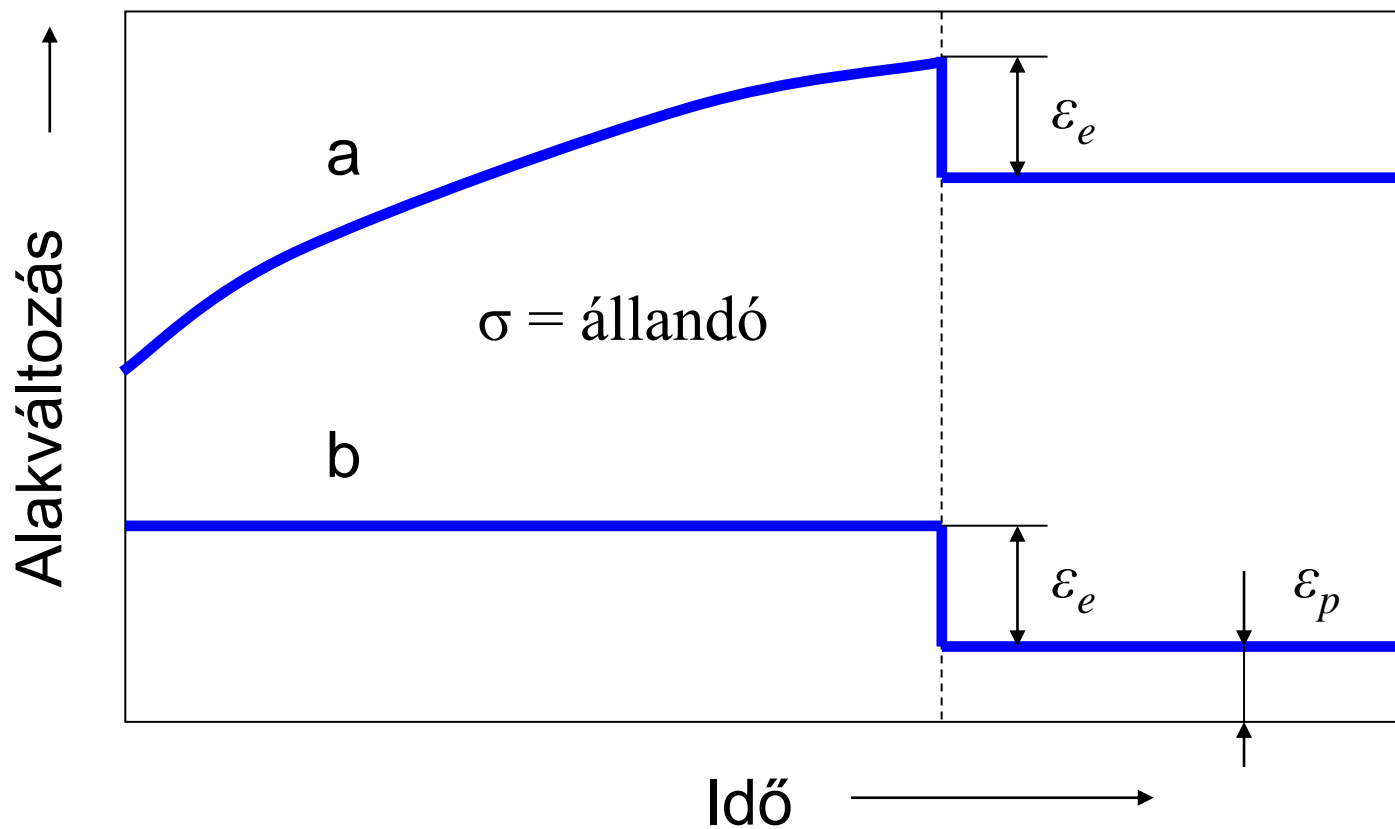


Ötvözetek leromlási folyamatai 2.

Kúszás

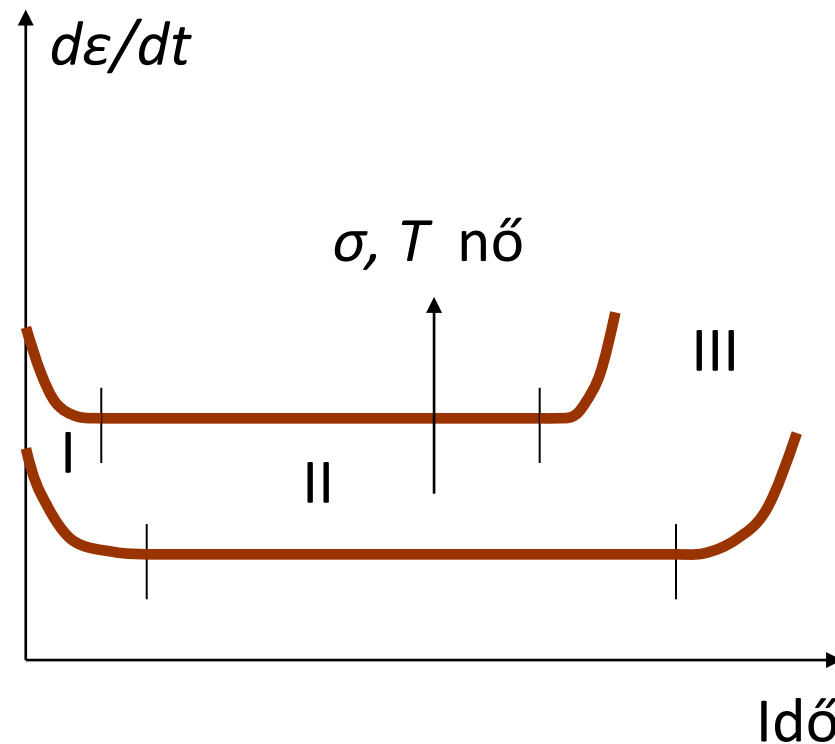
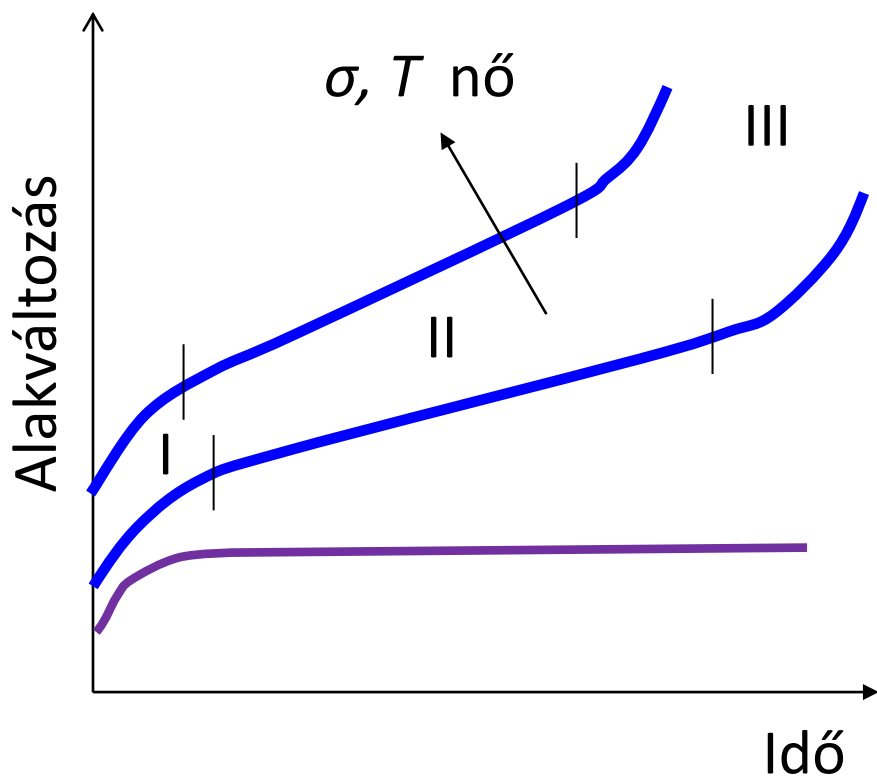
Korrózió

Anyagszerkezetten és anyagvizsgálat
BMEGEMTBGA1



- **Kúszás (tartósfolys):** állandó terhelés hatására növekszik az anyag alakváltozása.
- **Kúszáshatár:** az a feszültség, amely végtelenül hosszú idő alatt sem okoz az előírtnál nagyobb alakváltozást. ($\sigma_{T0.2}$)
- **Tartamszilárdság:** az a feszültség, amely t idő alatt előírt ϵ_t alakváltozást hoz létre. (pl. $\sigma_{0.2/10^3}$)
- A kúszás tipikusan nagy hőmérsékleten lejátszódó jelenség $T > 0,4 T_{olv.}$
- **Mézőki alkalmazás:** gázturbina üzemi hőmérséklete 1300°C , az utasszállító repülőgép leszállás nélkül átrepüli az óceánt.

$$\dot{\epsilon}_2 = A\sigma^{m'} \exp\left(\frac{-Q_c}{kT}\right)$$



A, m' - anyagjellemzők, Q_c - aktivációs energia,
 k – Boltzman állandó, σ - terhelő feszültség

I. Elsődleges kúszás

Az alakváltozási sebesség az idővel és az alakváltozással csökken. A diszlokáció sűrűség nő, a diszlokációs cellaméret csökken az idővel és az alakváltozással.

II. Másodlagos kúszás (állandósult állapot)

A keményedési és a megújulási folyamatok egyensúlyban vannak.

III. Harmadlagos kúszás

Rekrisztallizáció, a második fázisú részecskék durvulása kezdődik, az üregek és repedések kialakulása indul be.

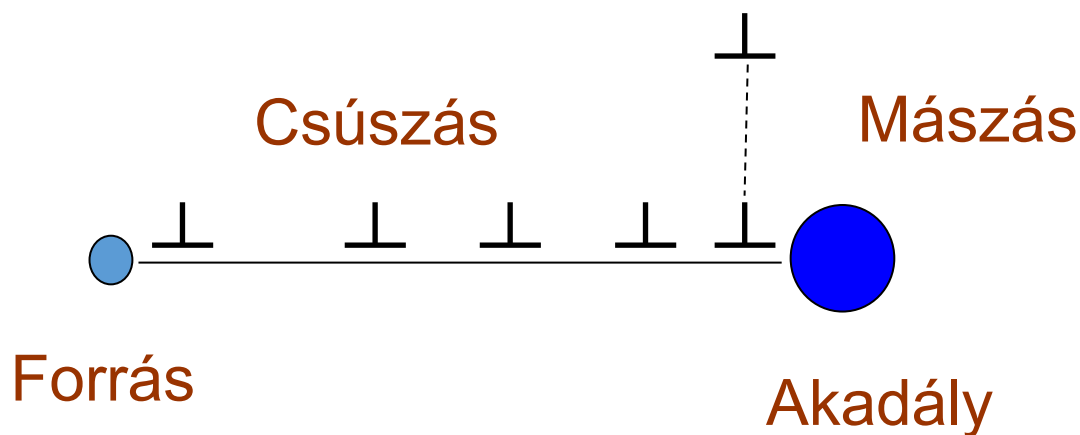
A kúszási folyamat megvalósulásában a feszültségtől és a hőmérséklettől függő különböző anyagszerkezeti folyamatok vesznek részt.

- a) A diszlokációs csúszás
- b) Diffúzió okozta alakváltozás
- c) Megújulás (diszlokációk mászása)

A képlékeny alakváltozás keményedést okoz.

Diszlokáció hálózat jön létre.

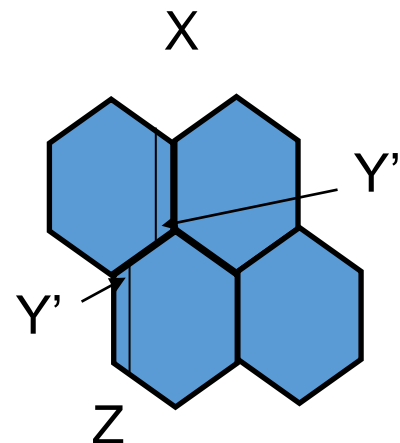
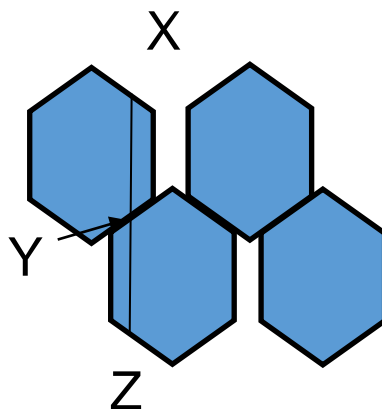
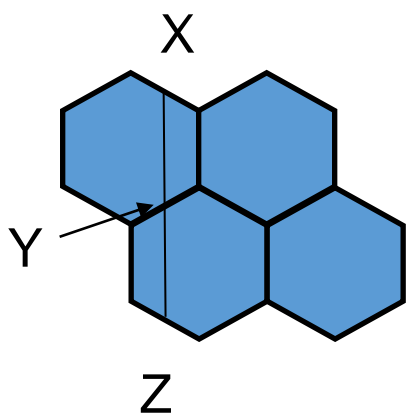
A keményedés és a megújulás (mászás) együttesen megy végbe.



Ponthibák rendezett áramlása a szemcsehatárok mentén fejt ki a hatását.

A szemcsén belül alakváltozást, a határokon üregeket eredményez.

A szemcse határmenti elcsúszása csökkenti az üregeket.



A kúszás általános egyenlete

$$\dot{\varepsilon}_i = A_i D_i \left(\frac{\sigma}{G} \right)^{m''} \left(\frac{\sigma \Omega}{kT} \right) \left(\frac{b}{d} \right)^{n'}$$

A_i, m'', n' – anyagjellemző paraméterek, D_i – diffúziós tényező
 G – csúsztató rugalmassági modulusz, Ω – atomtérfogot,
 k – Boltzman állandó, b – Burgers vektor abszolútértéke,
 d – szemcseméret, T – hőmérséklet

Kúszási ellenállás növelhető ($T = \text{állandó}$) :

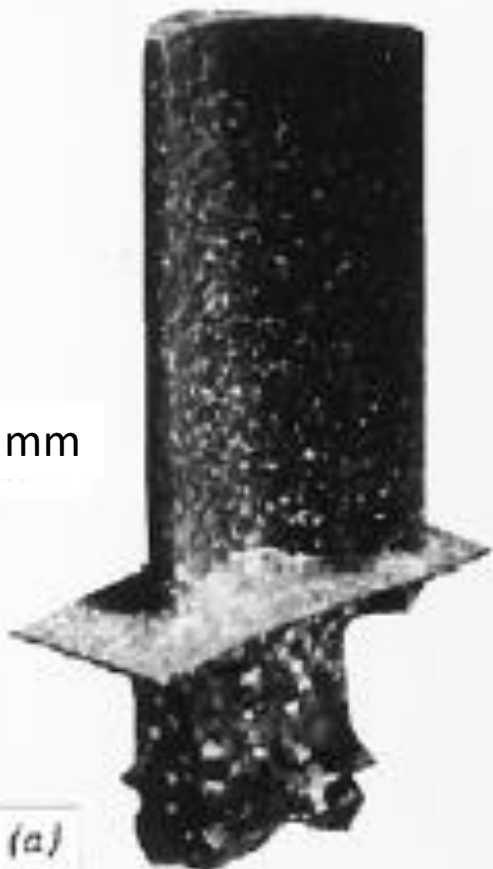
- Diffúziós tényező csökkentésével → nagy olvadáspontú anyagok alkalmazása;
- Csúsztató rugalmassági modulusz növelésével;
- Szemcseméret növelésével → egykristály alkalmazása;
- Második fázisú kiválások létrehozásával;

Öntött
szemcseszerkezet

Oszlopos
szemcsék

Egykristály

~100–150 mm



(a)

Szemcseméret ~1–2 mm



(b)

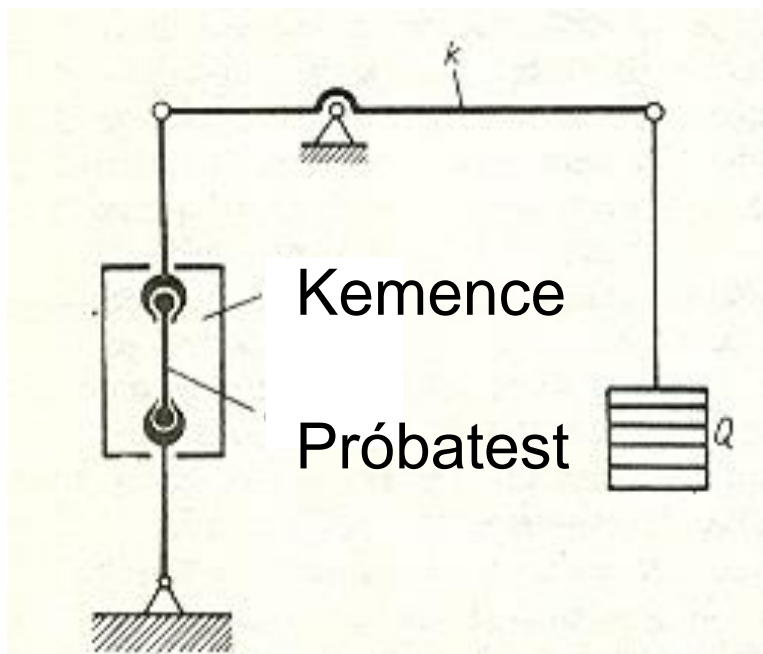
Irányított kristályosodás

[100]



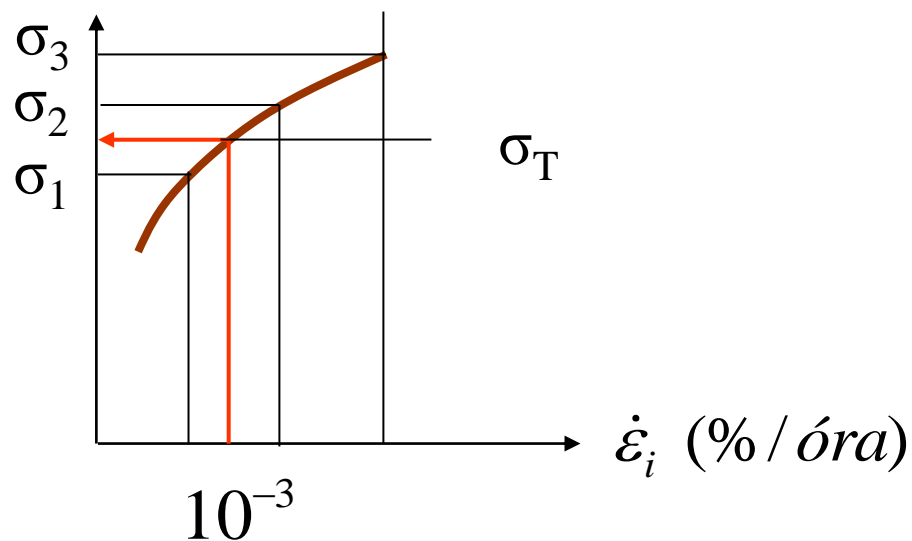
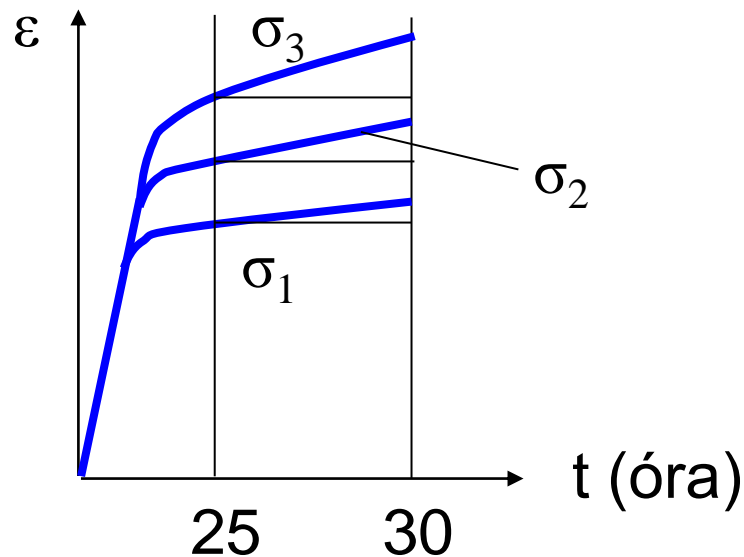
(c)

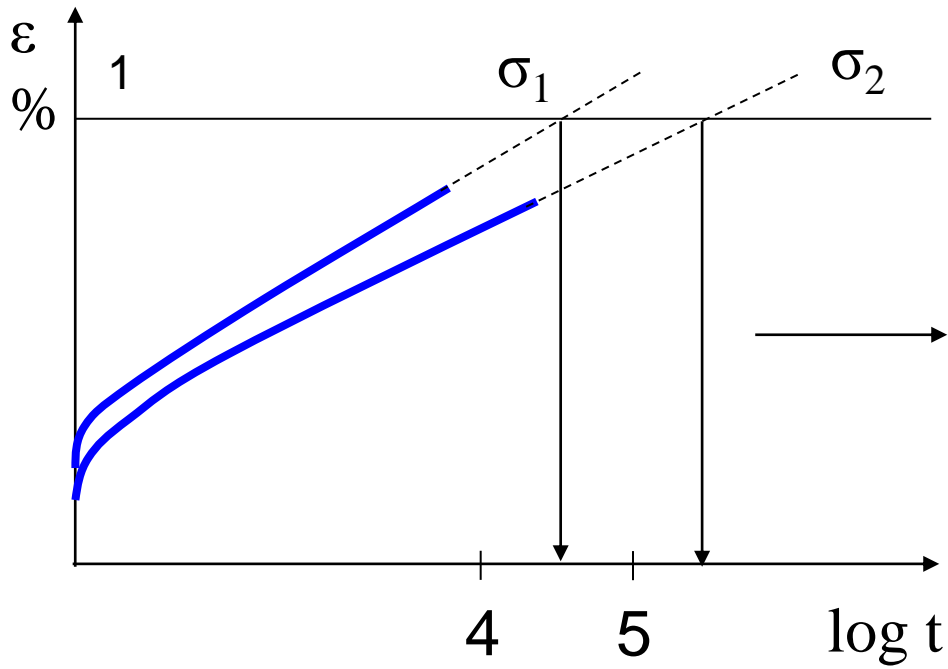
Nincs
szemcsehatár



$$\dot{\epsilon}_i = \frac{\epsilon|_{30} - \epsilon|_{25}}{5} \Big|_{\sigma_i}$$

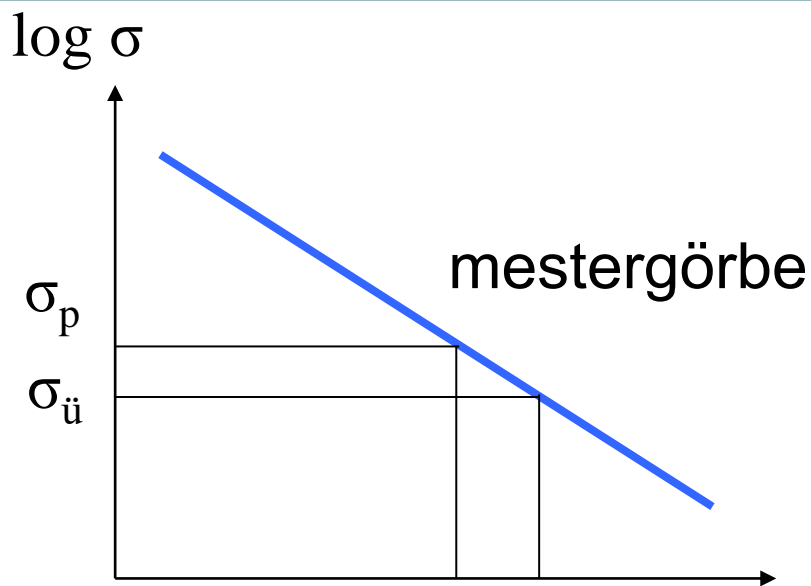
Rövidített kúszási vizsgálat





Több mérés után meghatározható az a feszültség, amely előírt idő alatt (10^5 óra) okoz 1%-os alakváltozást.

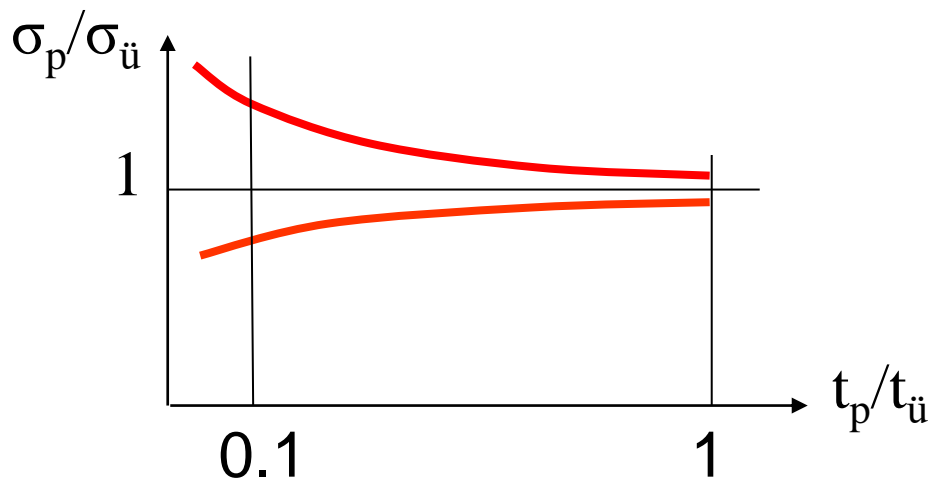
$$\sigma_{1/10^5}$$



$$T_1 (\log t_1 + C) = T_2 (\log t_2 + C) = P$$

$$\dot{\varepsilon} = A \sigma^{m'} \exp\left(\frac{-Q_c}{RT}\right)$$

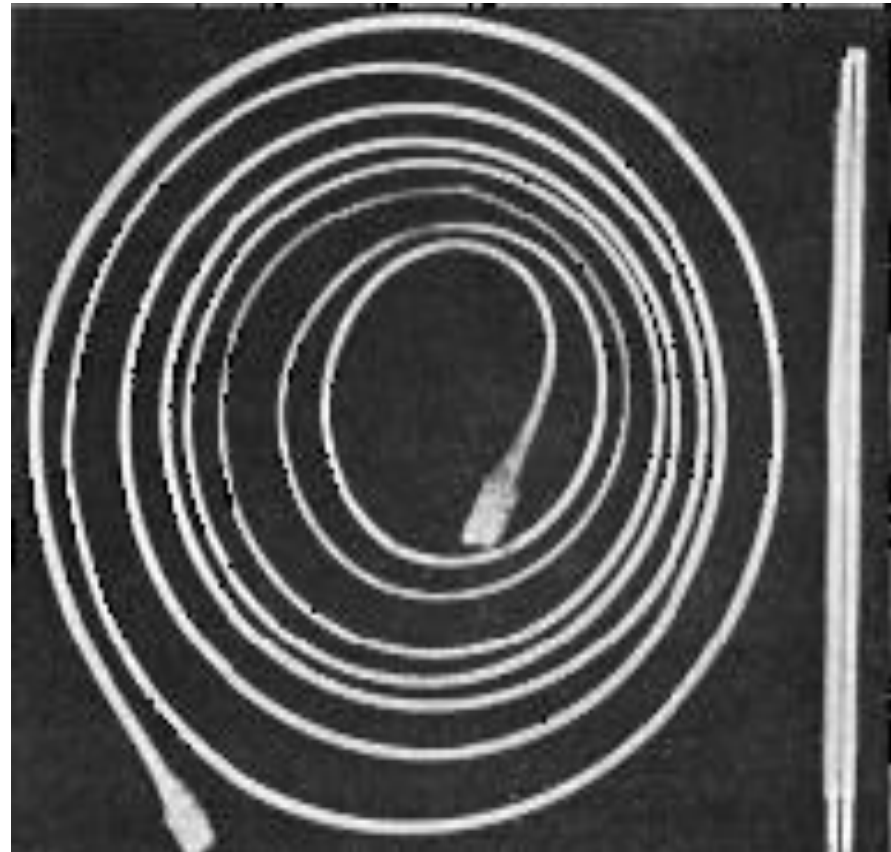
| Mérési adat | L-M extrapoláció |
|-------------|----------------------|
| 500 °C | 450 °C, t= 39000 óra |
| 1000 óra | 550 °C, t= 40 óra |
| | 600 °C, t= 2.3 óra |
| | 650 °C, t= 0.01 óra |



$$T_{\ddot{u}}, t_{\ddot{u}}, \sigma_{\ddot{u}} \rightarrow \varepsilon \leftarrow T_p, t_p, \sigma_{\ddot{u}} \quad LMP(\sigma_{\ddot{u}})$$

$$\leftarrow T_p, t_p, \sigma_p \quad LMP(\sigma_p)$$

$$T_p = T_{\ddot{u}} + \max .50^\circ \text{C}$$



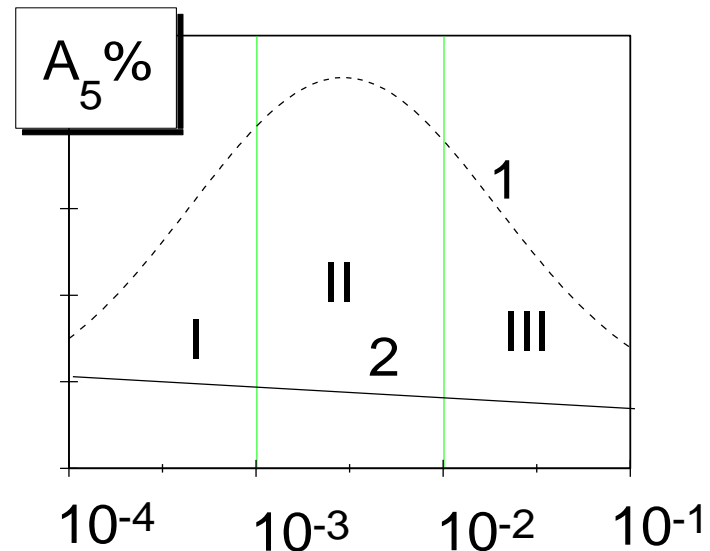
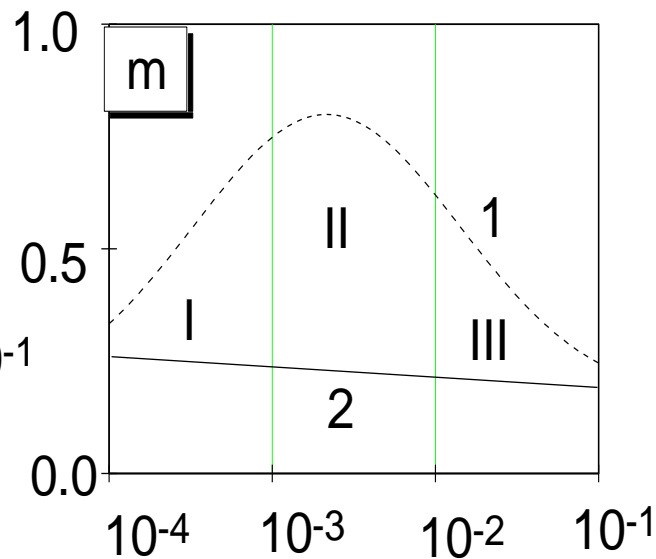
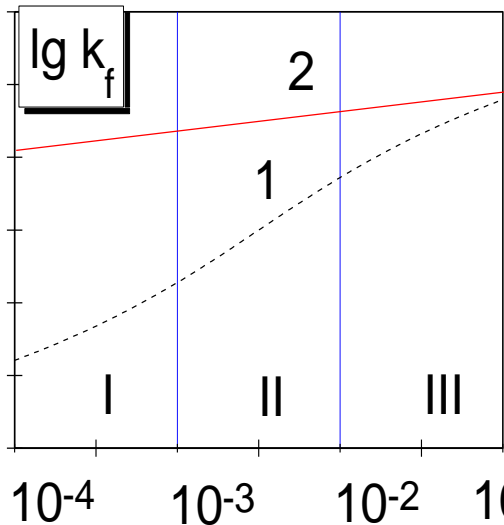
A szuperképlékenység jelensége fellép, ha a szemcsenagyság kisebb, mint **10 μm** , az alakváltozási sebesség a **10^{-5} – $10^{-1}/\text{s}$** intervallumba esik, és a hőmérséklet nagyobb mint **0,5 T_m** , ahol T_m az adott anyag olvadáspontja Kelvinben.

A szuperképlékeny alakváltozásra jellemző, hogy a folyási feszültség alacsony, és az anyag nagymértékű egyenletes alakváltozásra képes. Emiatt alkatrészek gyártására jól használható.

A szuperképlékeny anyag egyik legfontosabb mechanikai jellemzője a nagy alakváltozási sebesség érzékenység.

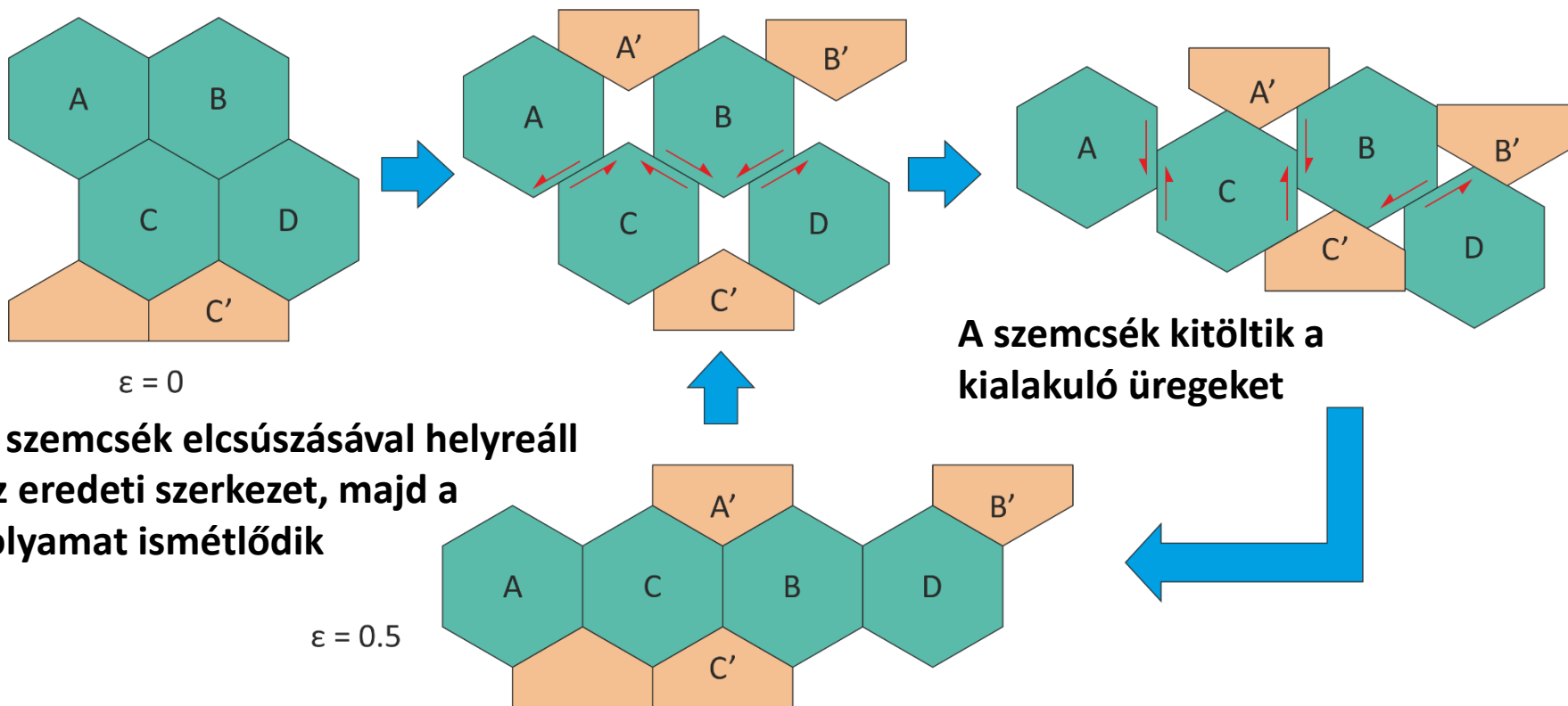
$$\sigma = k\dot{\varepsilon}^m$$

Ha az anyag szuperképlékenységre hajlamos, akkor a sebességkitevő $m > 0.5$. Legtöbb szuperképlékeny anyagnál a sebességkitevő 0.4-0.8 közé esik. Minél nagyobb az m értéke annál inkább ellenáll az anyag a lokális instabilitás fellépésének, és ennek következtében nagymértékű egyenletes megnyúlás jön létre.



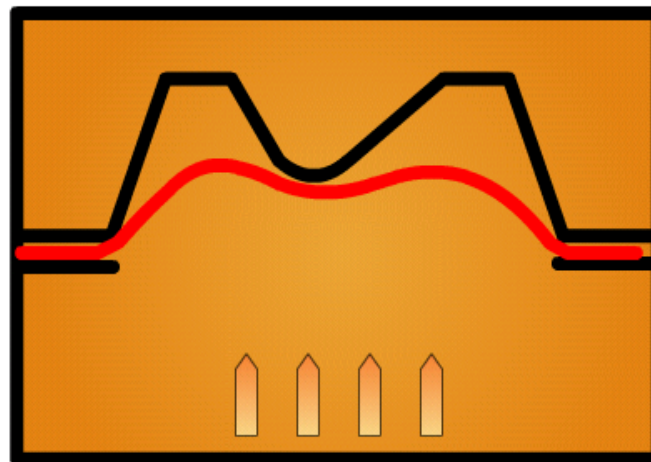
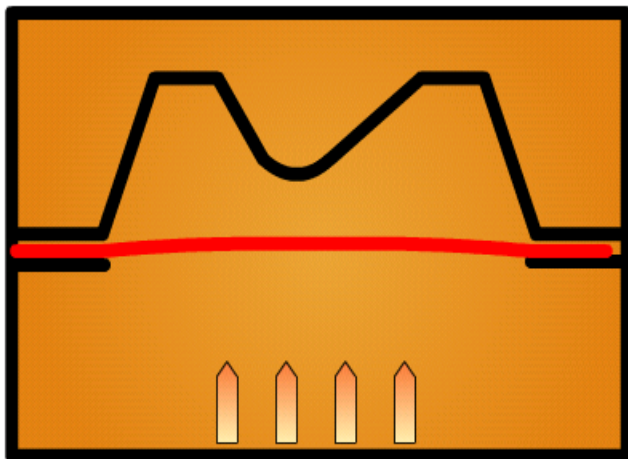
az alakváltozási sebesség függvényében

Szemcsehatármenti elcsúzás

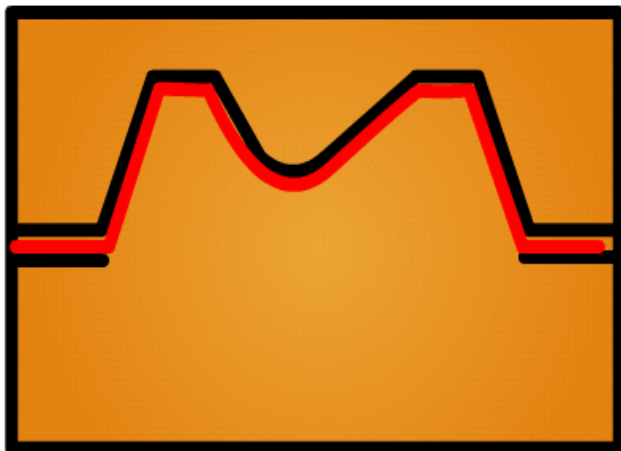


| Ötvözet | Összetétel | Hőmérséklet(°C) | Nyúlás (%) | m-érték |
|------------------|--|-----------------|------------|-------------|
| <u>Supral</u> | Al-6%Cu-0.4%Zr- 0.3%Mg | 400 to 480 | 1800 | 0.45 to 0.7 |
| <u>7475</u> | Al-5.5%Zn- 2.0%Mg-1.5%Cu- 0.2%Cr | 510 to 530 | 1400 | 0.5 to 0.8 |
| <u>2090</u> | Al-2.7%Cu- 2.2%Li-0.7%Mg- 0.12%Zr | 510 to 530 | 800 | 0.4 to 0.6 |
| <u>Weldalite</u> | Al-4.8%Cu- 1.3%Li-0.4%Mg- 0.4%Ag-0.14%Zr | 470 to 530 | 1000 | 0.45 |
| <u>Al-Ca-Zn</u> | Al-5%Ca-5%Zn | 450 to 550 | 600 | 0.4 to 0.5 |
| <u>5083-SPF</u> | Al-4.7%Mg- 0.7%Mn-0.15%Cr | 480 to 550 | 670 | 0.4 to 0.65 |
| <u>8090-SPF</u> | Al-2.5%Li- 1.2%Cu-0.6%Mg- 0.1%Zr | 500 to 540 | 1000 | 0.4 to 0.6 |

| Ötvözet | Összetétel (%) | Hőmérséklet (°C) | Nyúlás (%) | m-érték |
|----------------------|--|------------------|------------|--------------|
| <u>Ti-6Al-4V</u> | Ti-6%Al-4%V | 790 to 940 | 1400 | 0.6 to 0.8 |
| <u>IMI 834</u> | Ti-5.8%Al- 4%Sn-3.5%Zr- 0.5%Mo-0.3%Si- 0.05%C | 950 to 990 | 400 | 0.35 to 0.65 |
| <u>IMI 550</u> | Ti-4%Al-4%Mo- 2%Sn=0.5%Si | 810 to 930 | 1600 | 0.48 to 0.65 |
| <u>SP 700</u> | Ti-4.5%Al-3%V- 2%Fe-2%Mo | 750 to 830 | 700 | 0.5 to 0.55 |
| <u>Super Alpha 2</u> | Ti-14%Al- 20%Nb-3%V- 2%Mo | 940 to 980 | 1350 | 0.4 to 0.6 |
| <u>Ti-6242</u> | Ti-6%Al-2%Sn- 4%Zr-2%Mo | 880 to 970 | 900 | 0.5 to 0.7 |



A levegő nyomása az üregbe nyomja a lemezt



A levegő nyomása a szerszámhoz préseli a lemezt

Az eljárás ideális nagyméretű komplex alkatrészek gyártására.

Maximális alkatrészméret:

3x2x0.6 m, 6 mm vastagsággal.

Levegő, vagy más gáz alkalmazható.

Kis szerszámozási költség

Egyszerű, öntött szerszámok alkalmazásával jelentősen csökkenteni lehet a szerszámozás költségét.

Nagy panelek

Nagyméretű, bonyolult geometriájú panelek előállítására 3000mm x 2000mm x 600mm méretig.

Utólagos alakítás

Szuperképlékeny alakítás után az anyag visszanyeri a szobahőmérsékletre jellemző tulajdonságait, és lehetőség van viszonylag nagymértékű befejező alakító műveletek végzésére.

Kiváló felületi minőség

Bizonyos eljárásoknál a panelfelületek nem érintkeznek a szerszámmal, emiatt jó felületi minőség érhető el (gáznyomás alkalmazása).

- Nincs visszazugózás
- Nincs maradó feszültség – emiatt a szerelés sokkal egyszerűbb
- Hosszú szerszám élettartam
- Az elemek számának csökkentése – egy panel több elem feladatát valósítja meg
- Súlycsökkentés – nagyszilárdságú anyag alkalmazásával, a szerkezeti elemek összevonásával
- Jó felületi minőség (Lüders vonalak, szerszámnyomok megszűnése)
- Pontos szerszámozás – jó illeszkedés
- Gyakorlatilag megszűnnek a karcolások
- A hagyományos alakításhoz képest bonyolultabb geometriájú alkatrészek előállítására.



Ablak panel



Mozdony panel



Ülések



Ajtó panel



Hűtő borítás



Hátsó sárvédő

Karosszéria
elemek



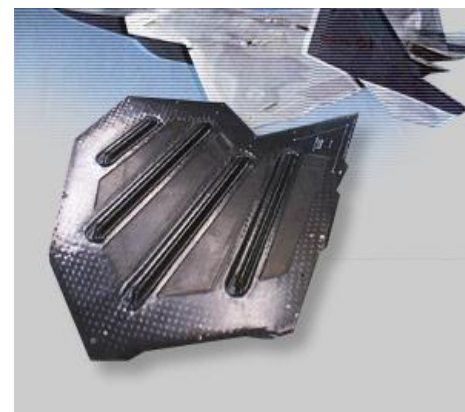
Szárnyvég elemek



Csomagtároló ajtó



Burkoló elem



Hőre lágyuló kompozit elem



Földalatti panelek



Sarokelemek



Dekoratív borítások



Kerékpár váz



- Az időtől függő és független alakváltozás
- Kúszáshatár, tartamszilárdság
- A kúszási görbe és szakaszai
- A kúszás anyagszerkezeti mechanizmusai
- A kúszási ellenállás növelésének módjai
- Rövidített kúszási vizsgálat
- A szuperképlékenység fogalma és feltételei.
- A szuperképlékenység mechanizmusa
- Szuperképlékeny anyagok feldolgozása
- A szuperképlékeny alakító eljárások előnyei

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)

A korrózió valamely anyagnak (fémnek, kerámiának, polimernek) a környezetével való irreverzibilis határfelületi reakciója (kölcsonhatása), melynek eredményeképpen vagy az anyag fogy el fokozatosan, vagy a környezet valamely alkotórésze épül be az anyagba.

MSZ EN ISO 8044:2003

A korrózió a fém és környezete közötti fizikai-kémiai kölcsönhatás, amelynek következtében a fém tulajdonságai megváltoznak, és gyakran bekövetkezik a fém, a környezet, illetve az ezekből álló műszaki rendszer funkcionális jellemzőinek a romlása.

A szerkezeti anyag és a környezet közötti kölcsönhatás szerint megkülönböztetünk: **elektrokémiai** és **kémiai** korróziót.

- Elektrokémiai korrózió
- Kémiai korrózió

- Mindkét esetben egy anódos oxidáció és egy katódos redukció történik:
 - elektrokémiai korróziónál térben elkülönülten
 - kémiai korróziónál egy helyen

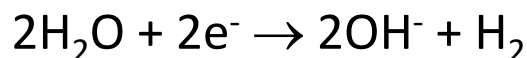
- Elektrokémiai korrózió játszódik le, amikor a fém egy ion-vezető közeggel, általában vizes elektrolittal kerül kapcsolatba, melyben a fémionok oldódni képesek. Az alapfolyamat minden esetben legalább egy anódos oxidáció és egy katódos redukció.

Katódos redukció:

- hidrogénionok töltésvesztése

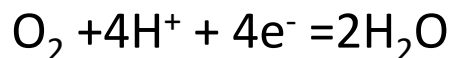


- vízbontás

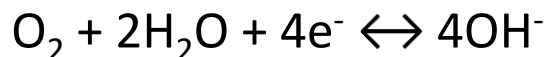


- vízben oldott oxigén redukciója, amely:

- savas közegben ($\text{pH} < 7$)

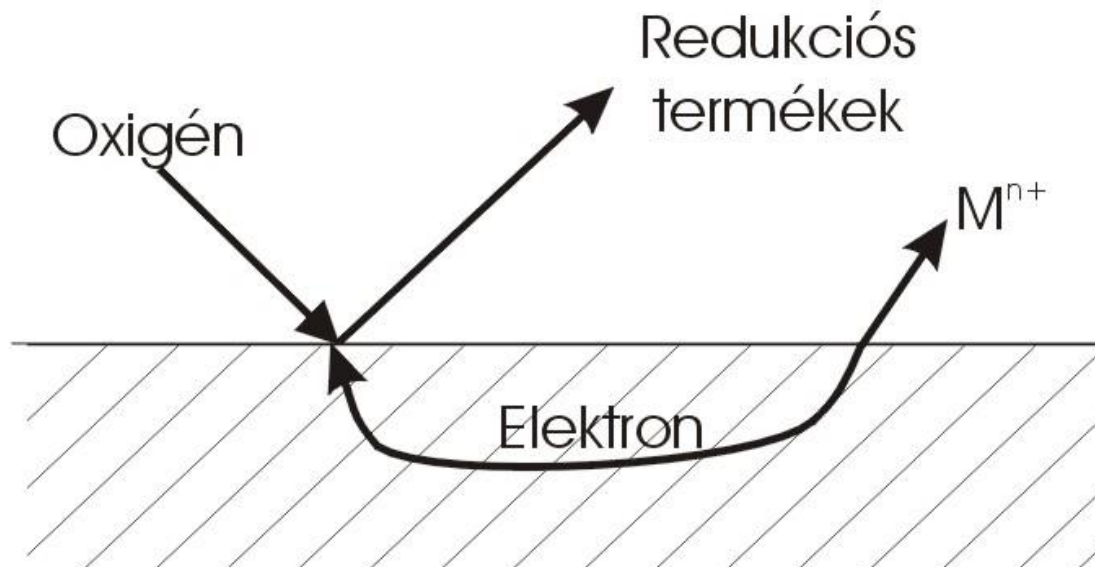


- semleges és lúgos közegben ($\text{pH} \geq 7$)



Anódos oxidáció:

- $\text{Me} \rightarrow \text{Me}^{2+} + 2\text{e}^-$



Az oxidációs és redukciós folyamat térben elválasztva, egymástól bizonyos távolságban játszódik le, helyi galvánelementa létrehozásával.

- Ha egy fém a saját ionjait tartalmazó oldatba merül, akkor a fémből fémionok lépnek az oldatba, és az oldatból színfém válik ki, egyensúlyi mennyiségben.
- A fém felülete és az oldat között elektromos potenciálkülönbség jön létre.
- Ezt a potenciálkülönbséget a hidrogénelektrodhoz képest adják meg, ez a normál- vagy standardpotenciál.
- Azok a fémek, amelyek több iont bocsátanak vizes oldatba, mint a hidrogén, könnyebben oldódnak, és a hidrogénhez képest negatívabb potenciál lesz a felületükön. Ezeknek negatív a standardpotenciáljuk (pl. Zn).
- Azok a fémek, amelyek kevesebb iont bocsátanak vizes oldatba, mint a hidrogén, nehezebben oldódnak, és a hidrogénhez képest pozitívabb potenciál lesz a felületükön. Ezeknek pozitív a standardpotenciáljuk (pl. Cu).

A standard hidrogénelektrod 1 mol/dm³ koncentrációjú oxóniumion (H₃O⁺) oldatba merülő platinalemez. Működés közben az oldatban 0,1 MPa nyomású 25°C-os hidrogéngázt buborékoltatnak keresztül. Az elektrod reakcióban nem a platina, hanem a hidrogén vesz részt, ezért nevezik hidrogénelektrodnak. A platina szerepe részben az, hogy a hidrogéngázt H-atomok formájában oldja, s így a hidrogén mintegy "fémes" állapotba jutva, részt tud venni az elektrodreakcióban, másrészt a platina adja meg az elektromos csatlakozást. Tehát az elektronleadás - elektronfelvétel a H₂/2H⁺ rendszer között történik a fém/fémion rendszerhez hasonlóan.

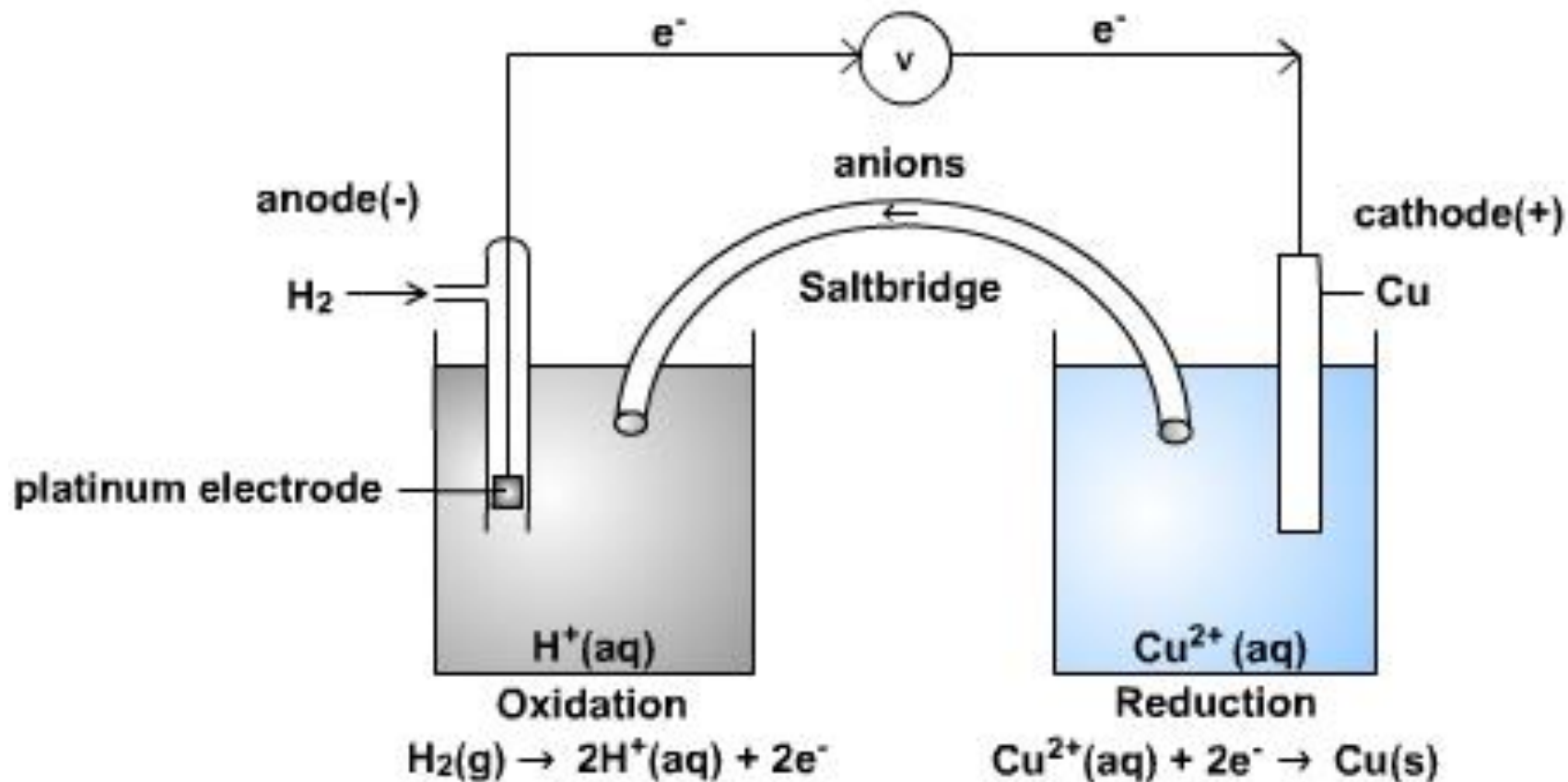
A hidrogénelektrodon az alábbi félcella-reakciók játszódhatnak le:



vagy



Azt, hogy a fenti két félcella-reakció közül melyik játszódik le, a H-elektroddal összekapcsolt másik elektrod elektronleadó képessége (potenciálja) határozza meg. A hidrogénelektrod standardpotenciálja definíciószerűen 0,00V.



| | | |
|---|--------------------------------------|--------|
| Au | $\rightarrow \text{Au}^{3+} + 3e$ | +1.498 |
| $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e$ | $\rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ | +1.229 |
| Pt | $\rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2e$ | +1.2 |
| Pd | $\rightarrow \text{Pd}^{2+} + 2e$ | +0.987 |
| Ag | $\rightarrow \text{Ag}^+ + e$ | +0.799 |
| Hg | $\rightarrow \text{Hg}^{2+} + 2e$ | +0.788 |
| $\text{Fe}^{3+} + e$ | $\rightarrow \text{Fe}^{2+} + 0.771$ | |
| $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e$ | $\rightarrow 4\text{OH}^-$ | +0.401 |
| Cu | $\rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e$ | +0.337 |
| $\text{Sn}^{4+} + 2e$ | $\rightarrow \text{Sn}^{2+} + 0.15$ | |
| $2\text{H}^+ + 2e$ | $\rightarrow \text{H}_2$ | 0.000 |
| Pb | $\rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2e$ | -0.126 |
| Sn | $\rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2e$ | -0.136 |
| Ni | $\rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2e$ | -0.250 |
| Co | $\rightarrow \text{Co}^{2+} + 2e$ | -0.277 |
| Cd | $\rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2e$ | -0.403 |
| Fe | $\rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e$ | -0.440 |
| Cr | $\rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3e$ | -0.744 |
| Zn | $\rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e$ | -0.763 |
| Al | $\rightarrow \text{Al}^{3+} + 3e$ | -1.662 |
| Mg | $\rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e$ | -2.363 |
| Na | $\rightarrow \text{Na}^+ + e$ | -2.714 |
| K | $\rightarrow \text{K}^+ + e$ | -2.925 |

Fémek
standardpotenciálja
25°C-on meghatározva
normál
hidrogénelektrodával
szemben

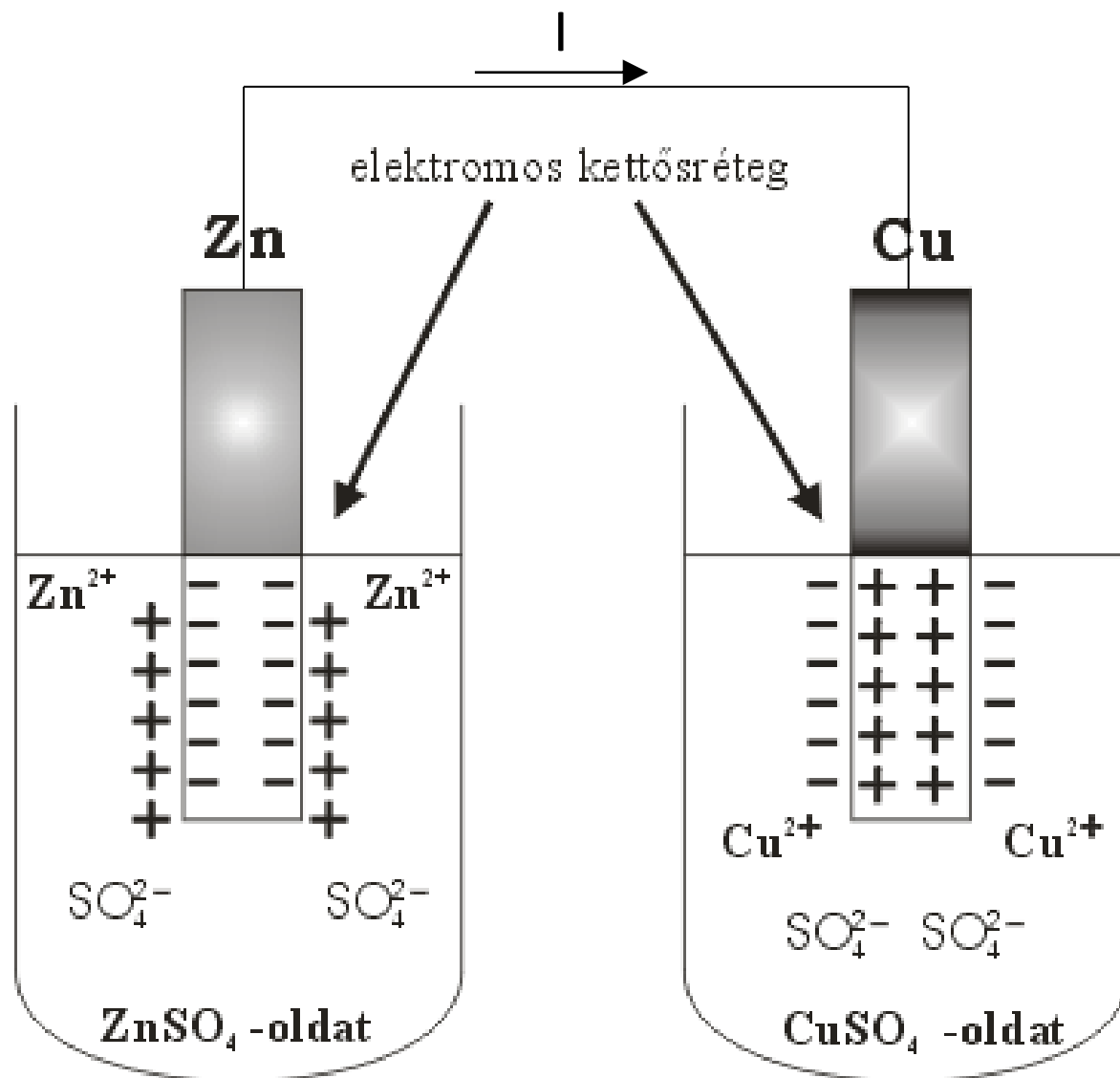
- A standardpotenciál sor lehetővé teszi, hogy termodinamikai szempontból megállapítsuk egy elektrokémiai rendszer esetében az elektródfolyamatok irányát és a rendszer korróziós potenciálját.



- Elektrokémiai reakció esetén (két fém érintkezésekor) a nagyobb elektródpotenciállal rendelkező fém redukálódni, az alacsonyabb potenciállal rendelkező pedig oxidálódni fog (oldatba megy, vagyis korrodálódik).



Galváneella:

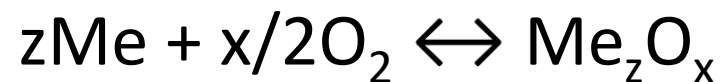
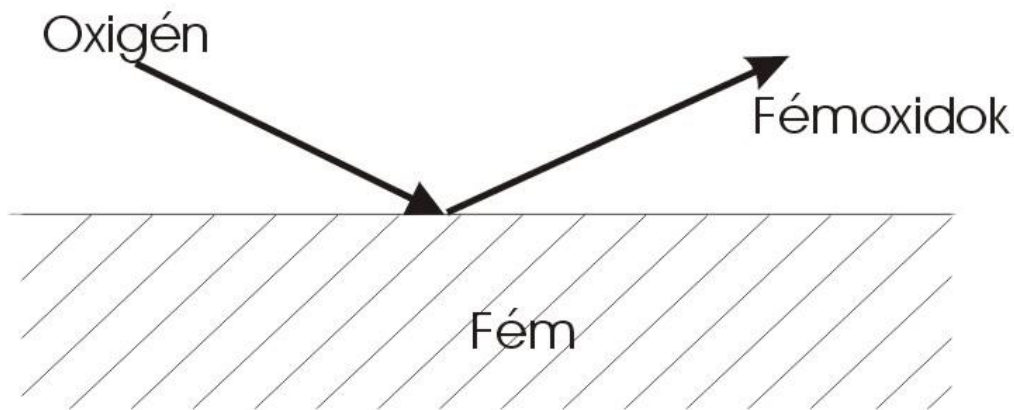


- $E_{\text{Zn}} = - 0,763 \text{ V}$
- $E_{\text{Cu}} = + 0,337 \text{ V}$
- $E_{\text{cella}} = E_{\text{Cu}} - E_{\text{Zn}} = 0,337\text{V} - (-0,763\text{V}) = 1,1 \text{ V}$

Minél nagyobb a cella elektromotoros ereje, annál gyorsabban megy végbe az oxidációs/redukciós folyamat.

Elektrokémiai korrózió során tehát a fém felületén egy galvánelella jön létre.

A kémiai korrózió a fémek és ötvözetek felületén lejátszódó olyan folyamat, ahol a fém oxidációja és a korróziós közeg oxidáló komponensének redukciója egy lépésben, egy helyen megy végbe.



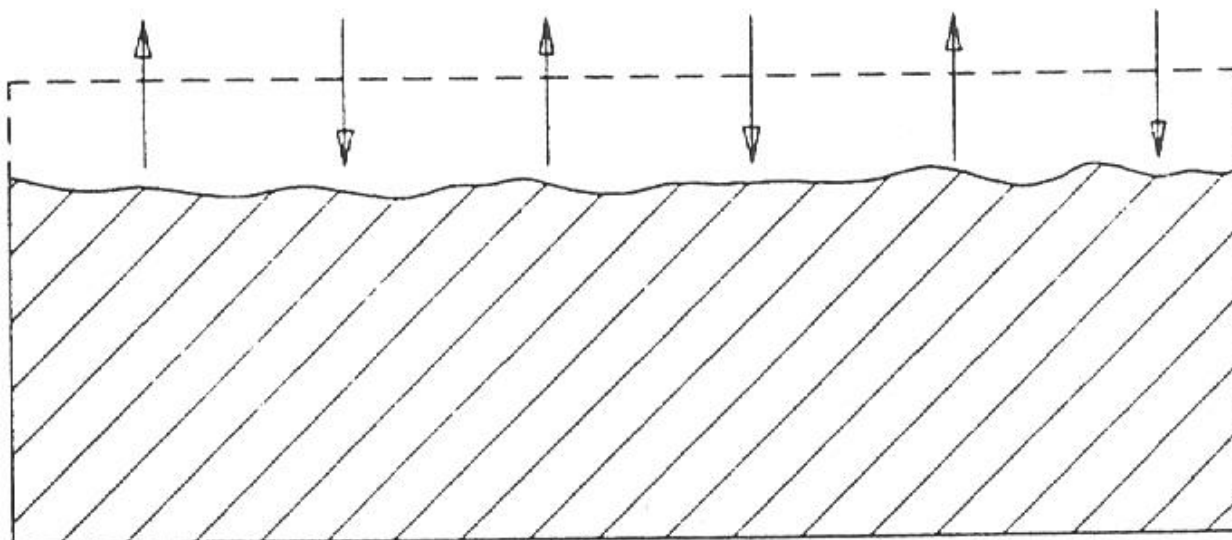
- A kémiai korrózióval szemben a különböző ötvözetek érzékenységét, ill. ellenállását a szabadenergia-különbségen kívül elsősorban az szabja meg, hogy a keletkezett vegyület (korróziótermék) képes-e olyan összefüggő, tömör réteget képezni a határfelületen, amely a fémet a külső korrodáló közegtől mintegy elválasztva, csökkenti az eredő korróziós sebességet.
- Ilyen esetekben a károsodási folyamat előrehaladását a kémiai reakcióban részt vevő elemek korróziós rétegbeni diffúziós sebessége irányítja.
- Az először keletkezett reakciótermékek a változó környezeti feltételek (pl. hőmérséklet-ingadozás) hatására összetételükben és szerkezetükben is megváltozhatnak. Így keletkezik például az acélok revéjének réteges szerkezete.

Elektrokémiai korrózió

- Egyenletes korrózió
- Galvánkorrózió
- Réskorrózió
- Lyukkorrózió
- Szemcsehatármenti korrózió
- Szelektív korrózió
- Mechanikai igénybevétellel párosuló korrózió (eróziós, ütközési és kavitációs korrózió, berágódásos, vagy súrlódási korrózió)
- Feszültségi korrózió (beleértve a korróziós kifáradást)

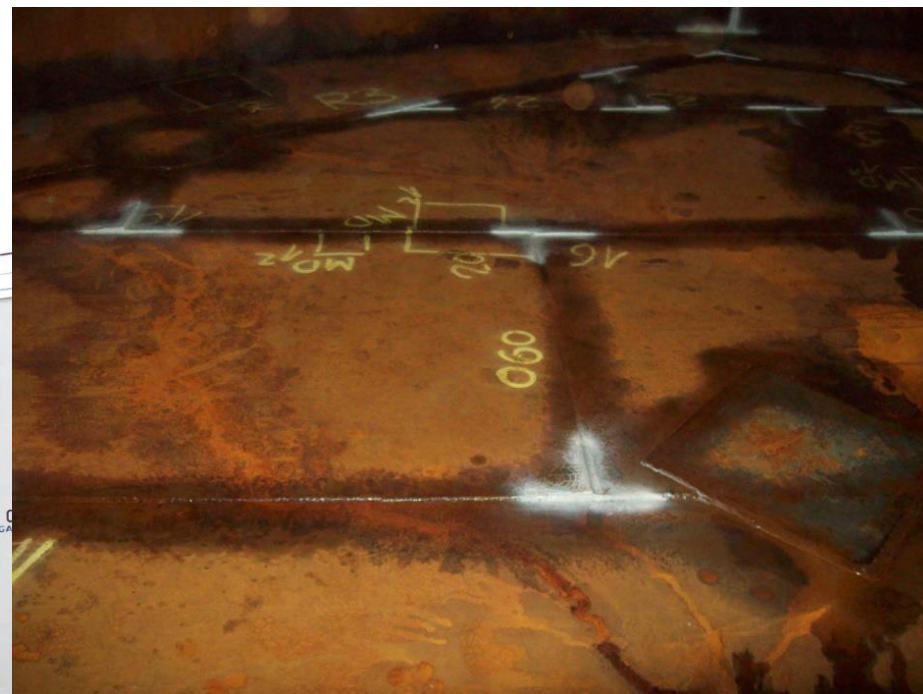
Kémiai korrózió

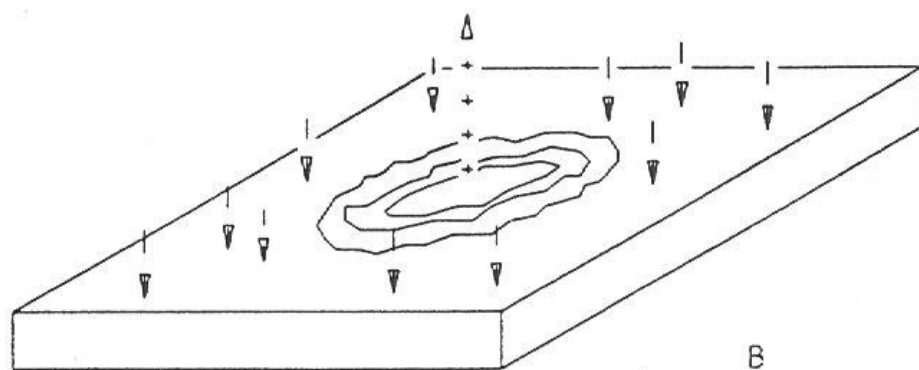
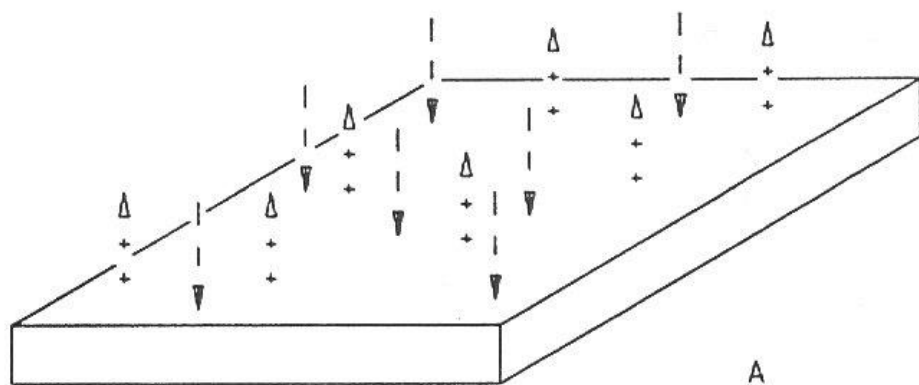
- Nagy hőmérsékletű korrózió
- Sóloldadékban lejátszódó korrózió
- Fémolvadék okozta korrózió



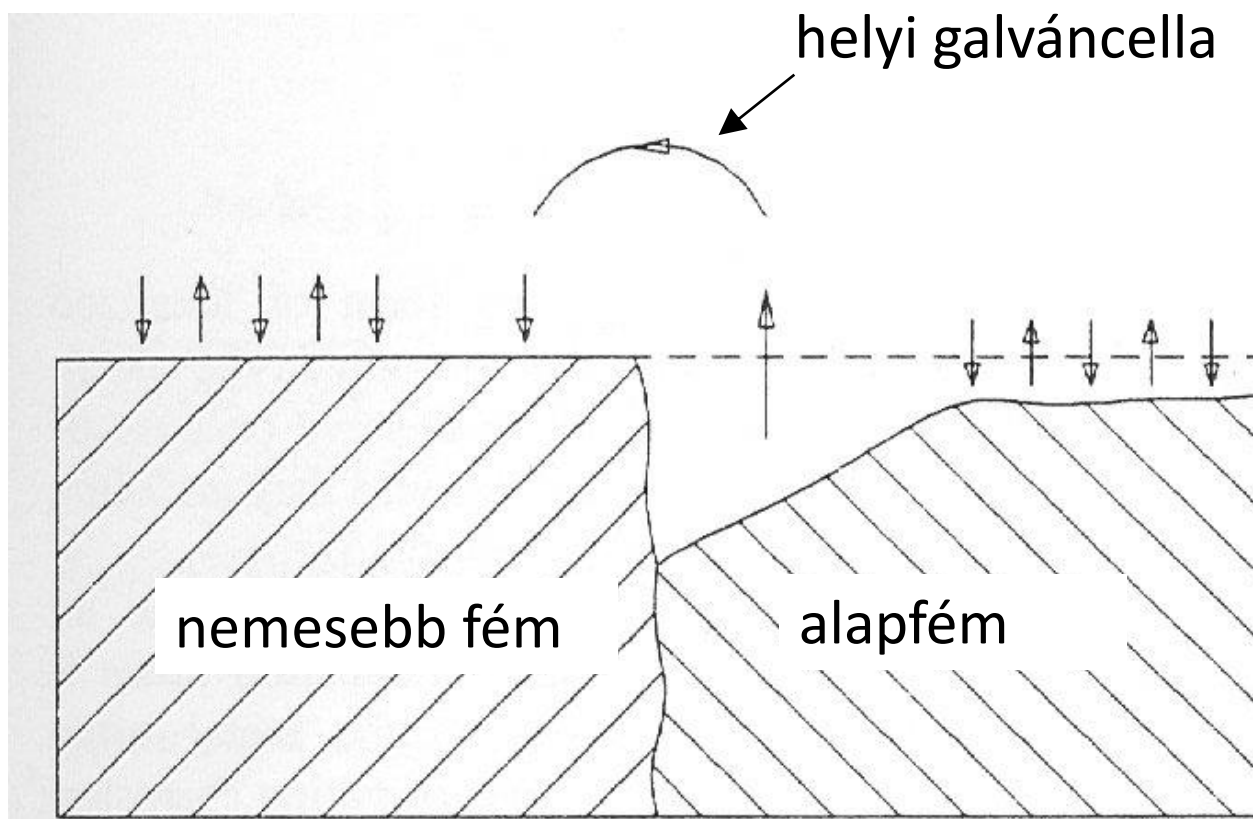
Az anódos és katódos részreakciók a felületen vándorló anódos és katódos jellegű területeken váltakozva mennek végbe → egyenletes fogyás

Egyenletes korrózió tárolótartály külső és belső felületein

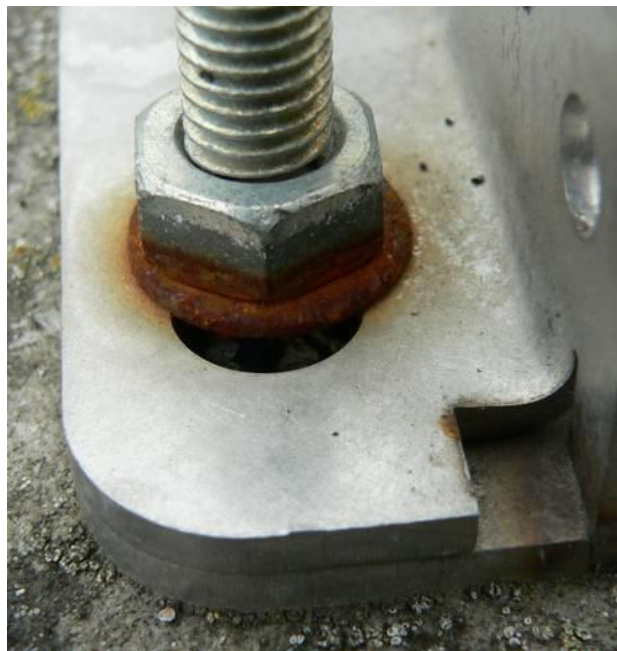




Az anódos és katódos reakciók létrejöttének valószínűsége nem azonos a felület minden pontján.

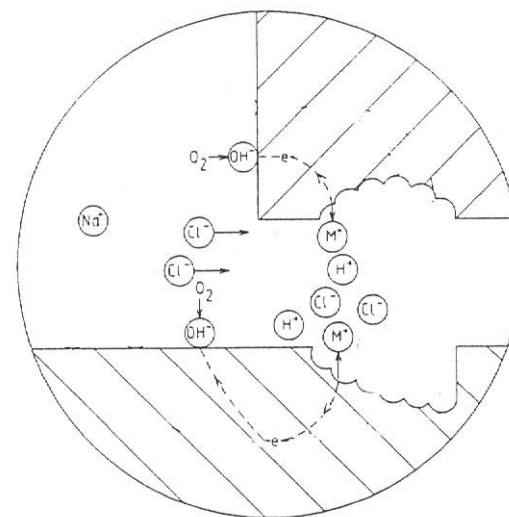
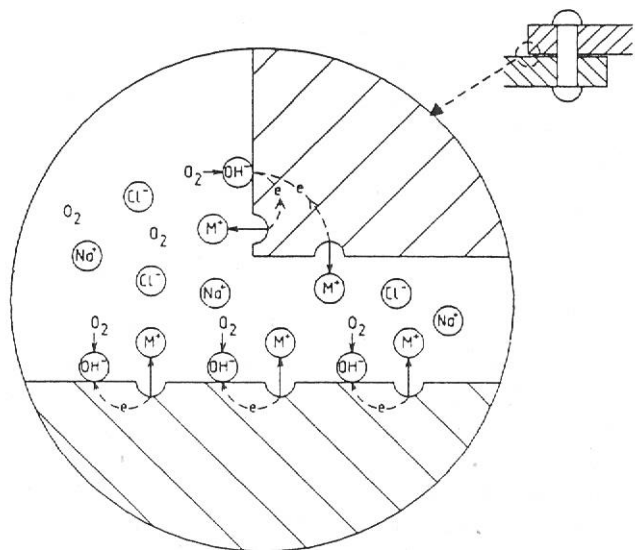


Rozsdamentes acél lemezeket rögzítő horganyzott alátét és csavar galvánkorróziós károsodása



Különböző anyagminőségek párosítása tárolótartály tetőcsonkon

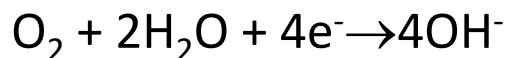




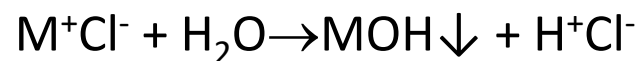
anódreakció:



katódreakció:



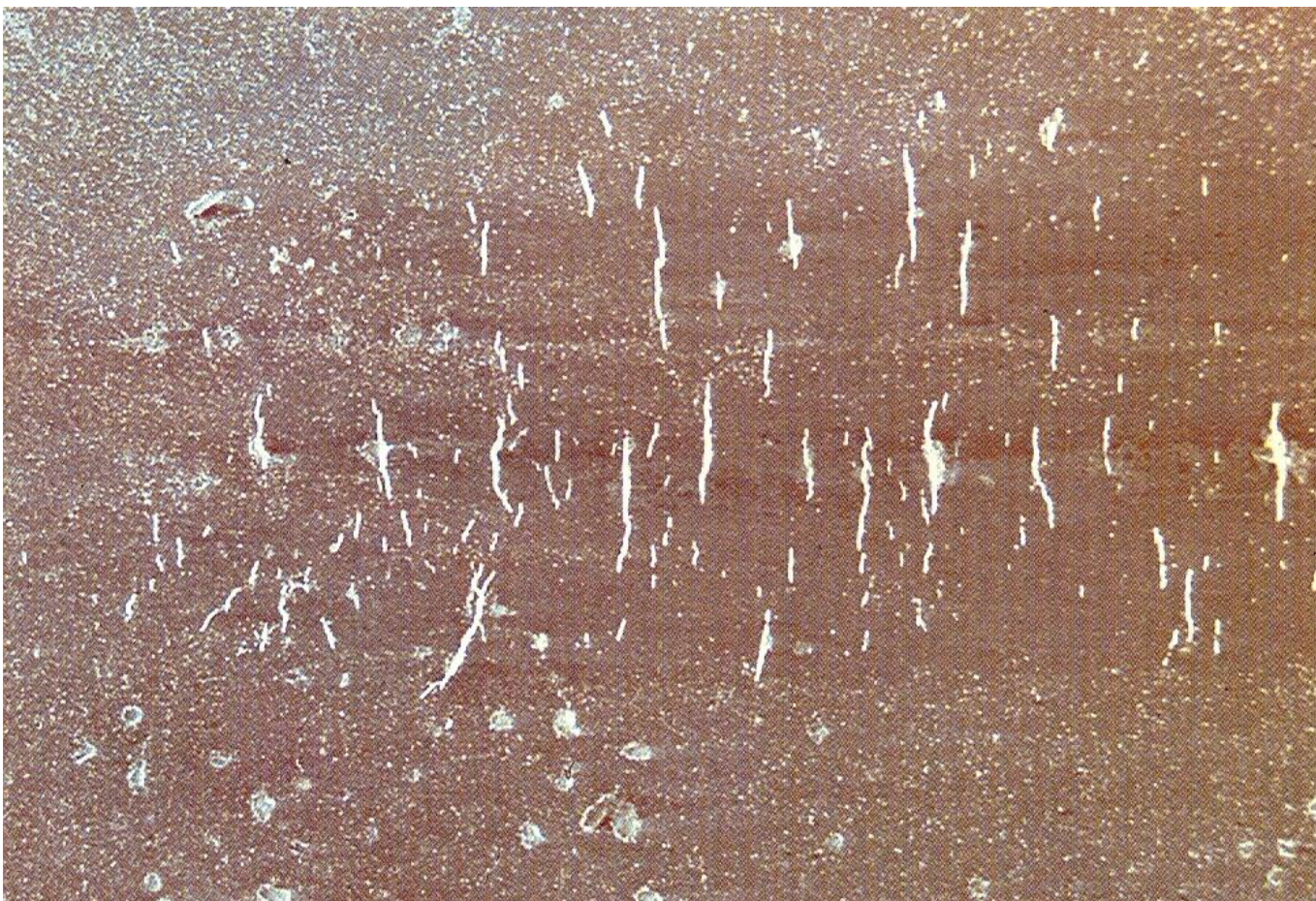
A résben lecsökken az oxigénkoncentráció, így a pozitív töltéstöbbletet a jelenlévő Cl^- ionok kompenzálják.



Sósav keletkezik, amely további korróziót generál.



- A krisztallithatáron lévő, a kristályosodás utolsó részfolyamatában megdermedt, kis olvadáspontú, nagy rácshiba-sűrűségű, a krisztallit anyagánál legtöbbször elektropozitívabb szennyeződés (pl. króm-karbid) sok esetben hajlamos elektrokémiai oldódásra, miközben a krisztallitok közötti szilárdtest kapcsolat lényegében megszűnik
- Erősen hajlamosak a kristályközi korrózióra a ferrites és ausztenites rozsdamentes acélok
- Védekezés: meg kell akadályozni a karbon szemcsehatár-menti kiválását, pl. Ta, Ti vagy Nb stabilizátorokkal



Feszültségkorróziós repedések hegesztési varrat környezetében
Szénacél, 15 év üzemi idő, gáztalanító

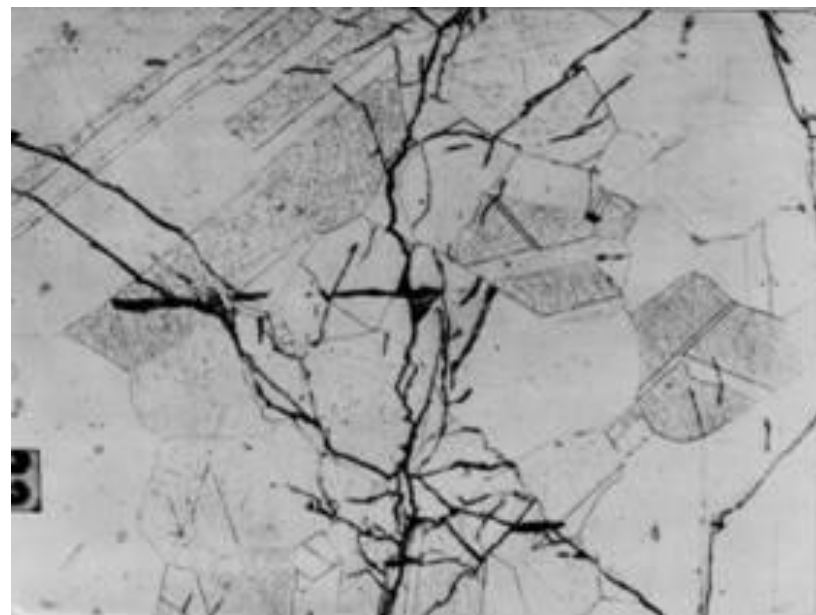
- a szerkezeti anyag hajlamossága
- a korróziós közeg, amely ezt a fajta korróziót képes kiváltani
- elegendő nagyságú mechanikai húzófeszültség jelenléte
- elegendő idő (az inkubációs idő akár több hónap is lehet)



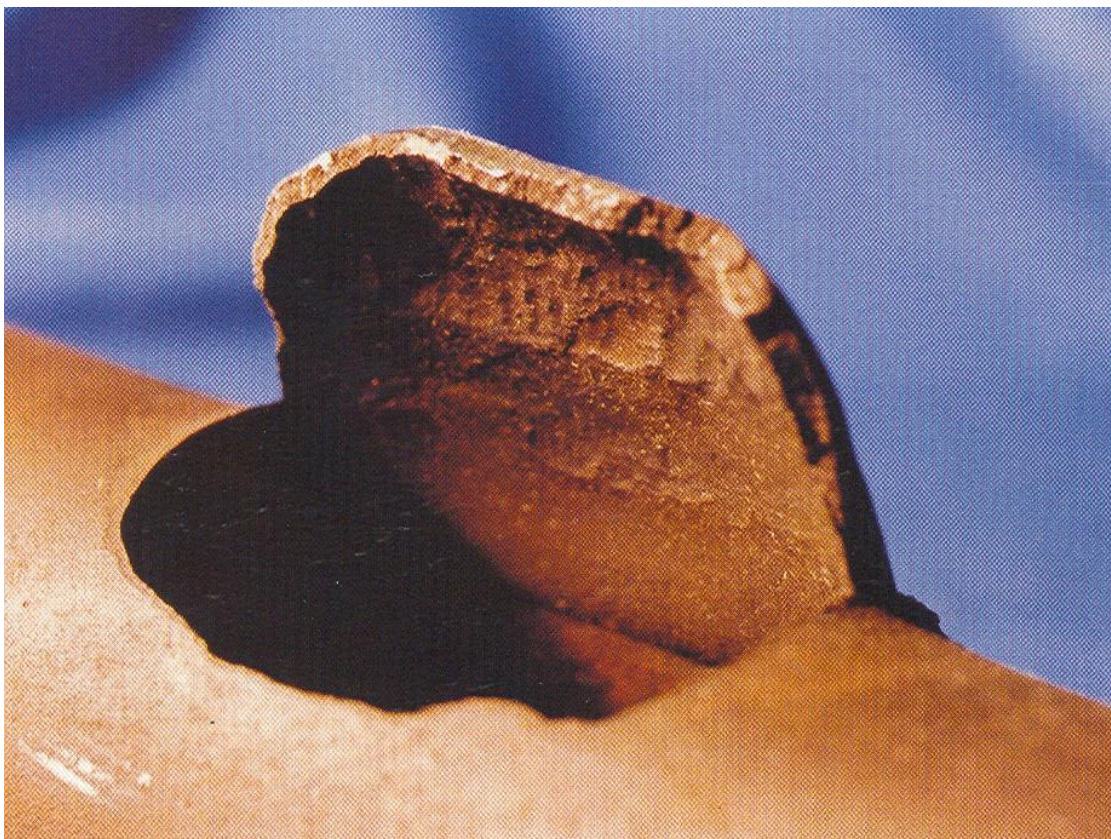
Szénacél lúg hatására bekövetkező szemcsehatármenti korróziója



Interkristallin repedésterjedés



Transzkristallin repedésterjedés



Hidrogén hatására bekövetkező, nagy hőmérsékletű korrózió
Perlit kiválás és mikrorepedések a szövetszerkezetben (szénacél)