

A korrózió elleni védekezés módszerei

Megfelelő szerkezeti anyag kiválasztása és alkalmazása

Elektrokémiai védelem

A korróziós közeg agresszivitásának csökkentése (inhibitorok alkalmazása)

Korrózió-elleni védőbevonatok alkalmazása

Fémes bevonatok

Nemfémes szerves bevonatok

Szerves bevonatok alkalmazása

Megfelelő szerkezeti anyag alkalmazása

A korrózió megelőzésének, csökkentésének legegyszerűbb módja az adott korróziós igénybevételnek ellenálló fém, illetve ötvözet kiválasztása.

A kiválasztásnál azonban figyelembe kell venni az alkalmazni kívánt szerkezeti anyag mechanikai tulajdonságait, megmunkálhatóságát és a gazdaságossági szempontokat is. A drágább szerkezeti anyag nem minden esetben a leginkább korrózió-álló is egyúttal.

Az alábbi táblázatban láthatunk áttekintést hogy egyes fémek, illetve ötvözetek milyen korróziós közegnek állnak ellen. Ez a felsorolás egyáltalán nem teljes. A tiszta fémek korrózió-állósága általában jobb mint amelyek szennyezőket, illetve kis mennyiségű ötvözőt tartalmaznak, áruk viszont magas, és sokszor mechanikai tulajdonságaik sem megfelelők.

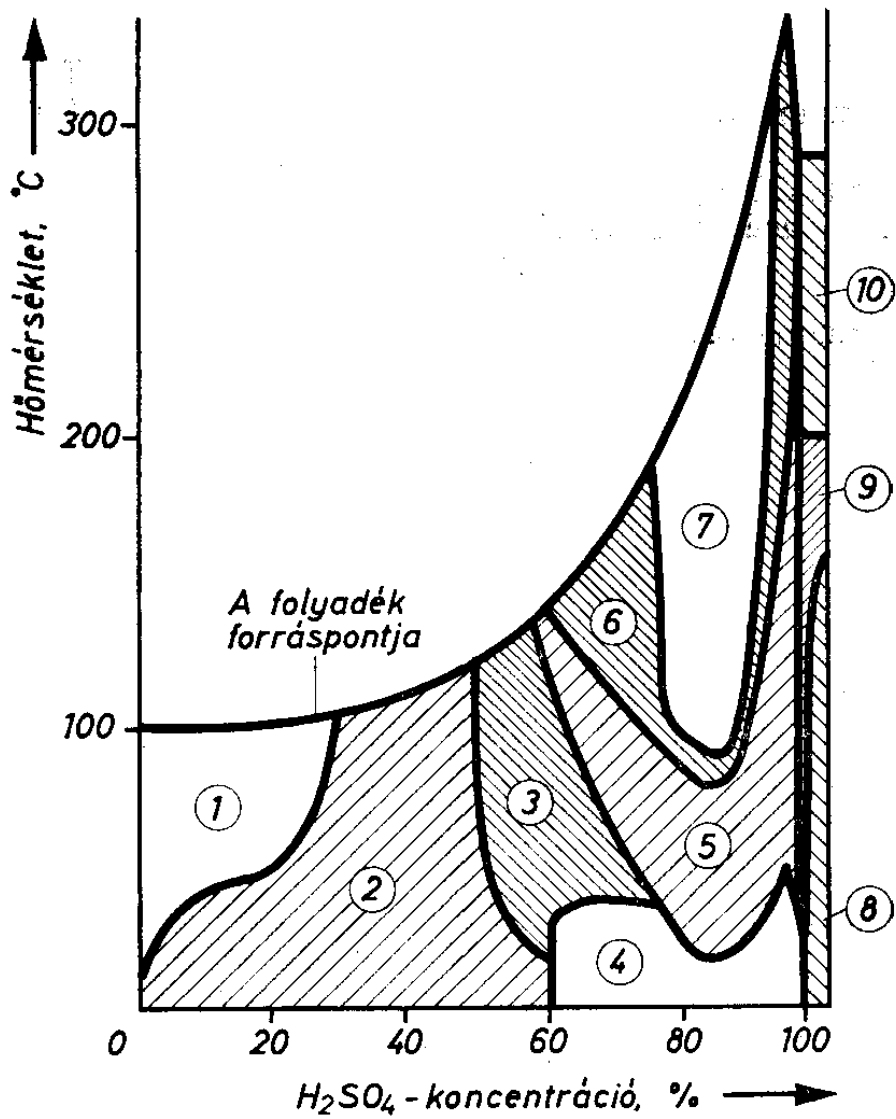
Azok a közegek, amelyekben egyes fémek és ötvözetek felhasználása a leggyakoribb

Szerkezeti anyag	Közeg
Rozsdamentes acélok	Salétromsav
Nikkel és ötvözetek	Tömény lúg
Monel-fém	Hidrogén-fluorid
Hastelloy	Forró sósav
Ólom	Híg kénsav
Alumínium	Szennyezetlen levegő
Ón	Desztillált víz
Titán	Forró, koncentrált oxidálóoldatok
Acél	Koncentrált kénsav
Tantál	Majdnem minden közeg

Az egyes fémek, ötvözetek viselkedését a gyakrabban előforduló korróziós közegekben az ún. izokorróziós diagramokban szokták ábrázolni. Ezek a diagramok a korrozív anyag és a hőmérséklet függvényében különböző zónákat tartalmaznak, és az egyes zónákra nézve megadják azokat a szerkezeti anyagokat melyeknek a korróziósebessége az adott zónában nem halad meg egy bizonyos értéket. Példaképpen először kénsavra majd sósavra mutatunk be ilyen izokorróziós diagramokat, megadva azokat a szerkezeti anyagokat, amelyek korróziósebessége nem haladja meg az 500 $\mu\text{m}/\text{év}$ értéket.

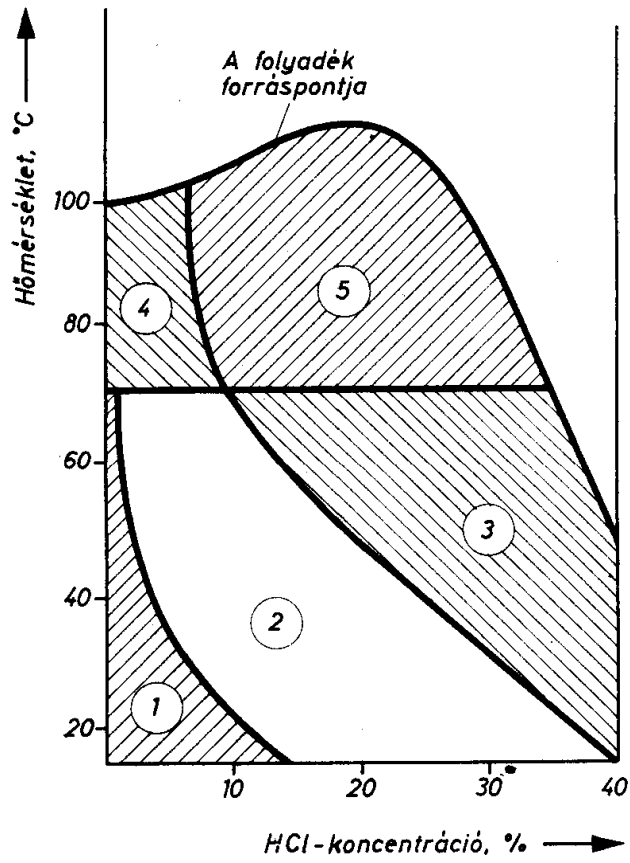
Ezek a diagramok csak tájékozódásra valók és az általános, egyenletes korrózióról adnak felvilágosítást.

Konkrétabb információhoz egyenként meg kell vizsgálni az egyes szerkezeti anyagok felhasználási körülményeit.



A vizes kénsavoldatok izokorróziós diagramja
 (az egyes zónákban a korróziósebesség 500 μm/év-nél kisebb).

	<i>1. zóna:</i>	
10%-os alumíniumbronz (levegőtől mentesen)		Arany Platina Ezüst Cirkónium
Hastelloy B (kb. 61% Ni, 26...30% Mo, 4...7% Fe)		
Ólom		Volfrám
Réz (levegőtől mentesen)		Molibdén
Monel-fém (66% Ni, 31,5% Cu, levegőtől mentesen)		(Üveg) (Gumi)
Tantál		
Rozsdamentes acél (16...18% Cr, 10...14% Ni)		(Grafit)
	<i>2. zóna:</i>	
Szilíciumtartalmú vas		Tantál
Hastelloy B		Arany
Ólom		Platina
Réz (levegőtől mentesen)		Ezüst
		Cirkónium
Volfrám		Molibdén
Monel-fém (levegőtől mentesen)		(Üveg)
10%-os alumíniumbronz (levegőtől mentesen)		(Grafit)
Rozsdamentes acél (mint előbb)		(Gumi)
	<i>3. zóna:</i>	
Szilíciumtartalmú vas		Arany
Hastelloy B		Platina
Ólom		Cirkónium
Monel-fém (levegőtől mentesen)		Molibdén
		(Üveg)
Tantál		(Grafit)
	<i>4. zóna:</i>	
Acél		Tantál
Szilíciumtartalmú vas		Arany
Hastelloy B		Platina
Ólom (96% H ₂ SO ₄ -ig)		Cirkónium
Rozsdamentes acél (mint előbb)		(Üveg)
	<i>5. zóna:</i>	
Szilíciumtartalmú vas		Arany
Hastelloy B		Platina
Tantál		(Üveg)
	<i>6. zóna:</i>	
Szilíciumtartalmú vas		Arany
Hastelloy B		Platina
Tantál		(Üveg)
	<i>7. zóna:</i>	
Szilíciumtartalmú vas		Platina
Tantál		(Üveg)
Arany		
	<i>8. zóna:</i>	
Acél		Platina
Rozsdamentes acél (18% Cr, 8% Ni)		(Üveg)
Arany		
	<i>9. zóna:</i>	
Rozsdamentes acél (18% Cr, 8% Ni)		Platina
Arany		(Üveg)
	<i>10. zóna:</i>	
Arany		(Üveg)
Platina		



A vizes sósavoldatok izokorróziós diagramja
 (az egyes zónákban a korróziósebesség 500 $\mu\text{m}/\text{év}$ -nél kisebb)

	1. zóna:	
Ezüst		Nikkel (levegőtől mentesen)
Platina		
Tantál		Monel-fém (levegőtől mentesen)
Hastelloy B		Cirkónium
Szilikonbronz		
(1,5 . . . 4,0% Si, levegőtől mentesen)		Volfrám
Réz (levegőtől mentesen)		(Üveg)
		(Gumi)
	2. zóna:	
Ezüst		Cirkónium
Platina		Molibdén
Tantál		
Hastelloy B		(Üveg)
Szilikonbronz		(Gumi)
(levegőtől mentesen)		(Grafit)
	3. zóna:	
Ezüst		Molibdén
Platina		Cirkónium
Tantál		(Üveg)
Hastelloy B		(Gumi)
(oldott klórgáztól mentesen)		(Grafit)
	4. zóna:	
Ezüst		Cirkónium
Platina		Volfrám
Tantál		(Üveg)
Hastelloy B		
(oldott klórgáztól mentesen)		(Grafit)
	5. zóna:	
Ezüst		Cirkónium
Platina		(Üveg)
Tantál		(Grafit)
Hastelloy B		
(oldott klórgáztól mentesen)		

Legfontosabb és leggyakrabban alkalmazott fémes szerkezeti anyagunk a vas és acél. Az ötvözetlen, illetve alacsonyán ötvözött acél korróziós sajátásaival már részletesen foglalkoztunk.

Külön kell megemlíteni az ún. rozsdamentes acélokat, melyek fő ötvöző eleme a legalább 11 – 12 %-ban jelenlévő króm. Jó passzíválhatóságuk miatt sok közegben alkalmazhatók. Több típusuk van, melyek korrózióállósága, mechanikai tulajdonságai és ára tág határok között változik.

A rozsdamentes acélok osztályozásának egyik alapja, a kristályszerkezetük, így beszélünk ausztenites, ferrites és martenzites acélokról.

A martenzites rozsdamentes acélok a közönséges acélokhöz hasonlóan hőkezeléssel keményíthetők, Növekvő keménységgel a szilárdságuk nő, duktilitásuk csökken. Keményített állapotban korrózió-állóságuk rendszerint jobb mint lágyítva. Olyan helyen használják őket ahol közepes korrózió-állóság, de nagy keménység és szilárdság szükséges.

A ferrites rozsdamentes acélok hőkezeléssel általában nem keményíthetők, de hidegmegmunkálással igen. Feszültségkorróziós ellenállásuk nagy. Különféle típusaik jól ellenállnak az atmoszférikus korróziónak, a salétromsavnak, nagy hőmérsékleten végbemenő oxidációnak és kéntartalmú gázoknak.

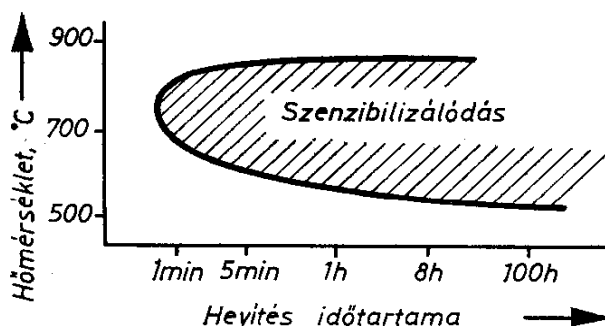
Az ausztenites acélok képezik a rozsdálló acélok leginkább elterjedt csoportját. Hőkezeléssel szintén nem keményíthetők, csak hidegmegmunkálással. Jelentős mennyiségű nikkelt tartalmaznak és korrózió-állóságuk is jobb az előző két csoporténál. Korrózióállóságuk és hőállóságuk króm-, és nikkeltartalmuk növelésével nő.

Léteznek ezenkívül még ausztenites-ferrites és ausztenites-martenzites rozsdamentes acélok is. Korrózió-állóságuk a két fázis között kialakuló galvánkorrózió miatt az előző típusukénál rosszabb.

A rozsdamentes acélok szenzibilizálódása

A nem megfelelő hőkezelés a rozsdamentes acélok szenzibilizálódását, és kristályközi korrózió következtében a mechanikai tulajdonságok katasztrofális leromlását okozhatja. A szenzibilizálódás körülményei az acél típusától függenek.

Az ausztenites rozsdamentes acélok szenzibilizálódása a 400 – 850 °C hőfoktartományban következik be. A szenzibilizálódás körülményei függenek az összetételtől is (karbon-tartalom) és a folyamathoz szükséges idő kisebb hőmérsékleten jóval nagyobb mint nagyobb hőmérsékleten. Tipikus példaként nézzük meg a következő ábrát, mely egy 18,2% Cr, 11,0% Ni, 0,05 % C és N összetételű acél szenzibilizálódására jellemző.



Az ausztenites rozsdamentes acél szenzibilizálódásának körülményei



Az acélt nagy hőmérsékletről lehűtve, a hűtési sebességtől függ a szenzibilizálódás. Gyors hűtéskor nem tapasztalható, ezért hegesztés után ajánlatos az acélt edzéssel lehűteni. A nikkeltartalom növelése csökkenti, az Mo pedig növeli az időt. A kristályközi korróziós károsodás 1050 – 1100 °C-ról való edzéssel, a széntartalom csökkentésével, illetve az acél stabilizálásával előzhető



A ferrites rozsdálló acélok a kristályközi korrózió szempontjából az ausztenitesekkel ellentétesen viselkednek. A szenzibilizálódás 925 °C fölött következik be, és hatását 10 – 60 perces, 650 – 815 °C közötti hőkezeléssel lehet megszüntetni. A magasabb szenzibilizálódási hőfok miatt, a szenzibilizálódás közvetlen a varratnál következik be. A hőkezelésen kívül előnyös a karbon-tartalom csökkentése (ha lehet!) is.

Haloid ionokat tartalmazó közegben lyukkorrózió alakul ki a rozsdamentes acélokon, ha passzív – aktív cella keletkezhet. Így nincs lyukkorrózió levegőtől mentes kloridion-tartalmú oldatokban, illetve erős savakban (még ha van is jelen levegő). A martenzites és ferrites acélok lyukkorróziós hajlama nagyobb mint az auszteniteseké.



A rozsdamentes acélok ellenállók a következő körülmények között:

u salétromsavban tág hőmérséklet-, és koncentrációtartományban;

- u igen híg kénsavban szobahőfokon, nagyobb koncentrációnál csak akkor ha a közeg oxidáló ionokat (Fe^{3+} , Cu^{2+}), vagy salétromsavat tartalmaz, illetve ha az acélhoz kis mennyiségű nemesfémot ötvöznek;
- u sok szerves sav oldatában;
- u kénessav (H_2SO_3) oldatában;
- u lúgokban (kivéve ha forró tömény lúgban mechanikai feszültség is jelen van egyidejűleg);
- u atmoszférában;



nA rozsdamentes acélok nem ellenállóak az alábbi körülmények között:

- u haloidsavak (HCl , HBr , HF) híg, illetve töményoldataiban;
- u oxidáló kloridoldatokban (FeCl_3 , HgCl_2 , CuCl_2 , NaOCl);
- u tengervízben, kivéve ha katódos védelemmel látják el;
- u néhány szerves sav (hangyasav, tejsav, oxálsav) oldatában;
- u klorid-iont és oldott oxigént tartalmazó vizekben $80\text{ }^\circ\text{C}$ felett, mechanikai feszültség jelenléte esetén (csak az ausztenites acélokra vonatkozik)

A réz ellenálló az alábbi körülmények között:

- tengervízben;
- meleg és hideg édesvízben;
- meleg és hideg légtelenített híg kénsav-, foszforsav-, ecetsav-, és egyéb nem oxidáló savoldatokban;
- atmoszférában

A sárgarézek az ütközési korrózióknak a réznél jobban ellenállnak (kazánok kondenzátorvezetékének csövei). A sárgarézen üledékek jelenlétében, vagy nagy áramlási sebességnél pittingek alakulnak ki.

A sárgaréze hajlamos az elcinktelenedésre, annál nagyobb mértékben, minél nagyobb a cinktartalma.

A cinktartalom növeli a sárgarézek feszültségkorróziós érzékenységét, amely oxigén vagy más katódos depolarizátor és nedvesség jelenlétében már az ammónia nyomainak jelenléte esetén is létrejön. A feszültségkorrózió szempontjából az aminok jelenléte is káros.

A feszültségkorróziós hajlam megszüntethető kb. 1 órás, $300 - 350\text{ }^\circ\text{C}$ -on végzett feszültségmentesítő hőkezeléssel, vagy katódos védelemmel, illetve a káros anyagok eltávolításával.

Az alumínium könnyű, jól vezeti a hőt és az elektromosságot, jó atmoszférikus korrózióállósággal rendelkezik, de ellenálló sokfajta vizes közegben is, passzíválódási hajlamából következően.

Mivel szennyezőelemeinél (az Mg-t kivéve) kevésbé nemes, a tiszta alumínium jobban ellenáll a korrózióknak mint a szennyezett, vagy ötvözött.

Klorid-iontartalmú vizekben pittingesedik. Ha az oldat Fe^{3+} , vagy Cu^{2+} ionokat tartalmaz, ezek a felületre kicementálódva galvánkorróziót idéznek elő, illetve a potenciált a kritikus pittingképződési potenciál fölé emelve, pittingképződést idéznek elő.

Katódos védelem alkalmazásánál el kell kerülni az un. túlvédelmet, mert a túlzott hidrogénfejlődés miatt a közeg helyileg lúgosodhat, ez pedig korróziót idézhet elő.

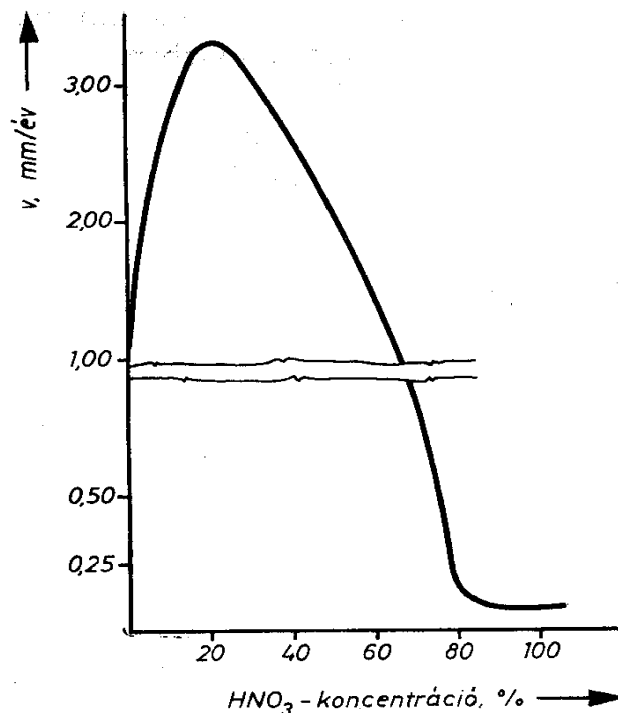
Higannyal, vagy higanyvegyületek oldatával érintkezve az alumínium katasztrofális gyorsasággal korrodálódik. A higany (kicementálódva a felületre) az Al-el amalgámot képez, amely felületén az Al gyorsan oldódik, majd a Hg újabb Al-t amalgámál, stb.

Rézrel, rézötvezetekkel, illetve a legtöbb közegben vassal érintkezve galvánkorrózió alakul ki az Al-en. A kadmium és az ón potenciálja sok közegben közel esik az Al-éhez, így ezekkel érintkezve nincs nagy korrózió.

A cink savas és semleges közegben katódosan védi az Al-t, lúgos közegben azonban megfordul a polaritás és az alumínium károsodik. Magnézium a legtöbb esetben túlvédelmet idéz elő AL-on, így kerülendő a két fém direkt érintkezése.

Az alumínium ellenálló a következő körülmények között:

- u meleg és hideg ammónium-hidroxid oldatokban;
- u meleg és hideg ecetsav-, citromsav- és maleinsav oldatokban;
- u zsírsavak oldataiban;
- u 80 % fölötti koncentrációjú salétromsavban, 50 oC alatt (a kereskedelmi tisztaságú Al korróziósebességét a HNO₃ koncentráció függvényében a következő ábrán mutatjuk be);
- u desztillált vízben;
- u atmoszférában (kivétel a tengeri atmoszféra);
- u kén, hidrogén-szulfid és egyéb kénvegyületek esetén;
- u fluortartalmú hűtőgázokban (freon).



A kereskedelmi tisztaságú alumínium korróziósebessége szobahőmérsékleten, a HNO₃-koncentráció függvényében



Az alumínium nem ellenálló az alábbi közegekben:

erős savakban (HCl, HBr, HF, HClO₄, H₂SO₄, H₃PO₄), hangyasavban, oxálsavba, triklórecetsavban;
alkáliákban (erős lúgok oldatai, oltott mész, friss beton, alkalikus szerves aminok, szappanoldatok);
higany és higany sók jelenlétében;
tengervízben;
klórozott szénhidrogénekben;
vízmentes etil-, propil-, butil-alkoholban (víz nélkül nem épül ki a passzív réteg);
nedves fával történő érintkezés során;
nehézfémionokat tartalmazó vizekben.

Az alumíniumban a réz, szilícium, magnézium, cink, mangán és a vas használatosak ötvözőelemként.

A duralumínium jelentős mennyiségű rézet tartalmaz. Ez 480 °C felett homogénean oszlik el az ötvözetben és gyors hűtéskor nem következik be heterogén kiválás. Az ötvözet szilárdságát a szemcsehatárokon megjelenő CuAl₂ fázisnak köszönheti, mely kialakulását 120 °C felett végzett mesterséges öregítéssel gyorsítják meg. Ez azonban a szemcsék felülethez közeli részein rézben való elszegényedést okoz, és így az ötvözet kristályközi korrózióra hajlamosá válik. További hevítés (túlöregítés) kissé rontja a mechanikai tulajdonságokat, viszont a szemcsén belül egyenletes rézeloszlást eredményez, ami megszünteti a kristályközi korróziós hajlamot.

A tiszta Al nem hajlamos feszültségkorrózióra, a duralumínium igen. 4,5 % fölötti magnézium, illetve 4 % fölötti Zn szintén növeli a feszültségkorróziós érzékenységet.

A magnézium ellenáll a korrózióknak az alábbi esetekben:

atmoszférán (belső feszültségtől mentesített állapotban);
desztillált vízben (szintén feszültségmentesen);
2 %-nál töményebb HF oldatban (magnéziumfluorid védőréteg alakul ki);
alkáliákban (ebben eltér az alumíniumtól);

A nikkelt a hidrogénnél kevésbé nemes, de nem-oxidáló savak oldataiban (HCl, híg H₂SO₄) oldott oxigén jelenléte nélkül csak lassan korródálódik. Levegőmentes vízben nikkelt(II)hidroxid védőréteg képződik rajta. Nagyon sok vizes oldatban passzíválódik.

Tengervízben és hipoklorit oldatokban passzív – aktív cellák képződése miatt pittingesedik. Meleg és hideg alkáliáknak, sőt nátrium-hidroxid olvadékának is ellenáll. Levegőzött ammóniaoldatokban komplexképződés közben oldódik.

Feszültségkorrózió csak koncentrált alkáliákban és lúgolvadékokban keletkezik rajta.

A levegő oxidáló hatásának 800 – 900 °C-ig ellenáll. Váltakozó oxidáló és redukáló atmoszférákban nagy hőmérsékleten a szemcsehatárok mentén oxidálódik. Hasonló károsodás alakul ki rajta kéntartalmú környezetben 315 °C felett.

A nikkelt ellenáll a korrózióknak:

hideg és meleg alkáli oldatokban, alkáli olvadékokban;
híg nem oxidáló szerves és szerves savakban (az ellenállóképesség nő a levegő eltávolításakor);
atmoszférában (a levegő oxigénjének magas hőmérsékleten is ellenáll).

A nikkelt nem áll ellen a korrózióknak:

oxidáló savak (pl. HNO₃) oldataiban;

oxidáló hatású sók (pl. FeCl_3 , CuCl_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) oldataiban;
levegőzött ammóniumhidroxidban;
hipokloritoldatokban;
tengervízben;
kéntartalmú redukáló közegben 315 °C felett.

A nikkel rézzel történő ötvözése (pl. Monel-fém: 70% Ni, 30% Cu) növeli az ellenálló-képességet a nem-oxidáló savakban és csökkenti a pittingesedési hajlamot.

A krómmal alkotott ötvözete (pl. Inconel: 76% Ni, 16% Cr, 7% Fe) könnyebben passzíválódik, de nagyobb a pittingképződés veszélye is sósavban és klorid-iontartalmú oldatokban.

Molibdénnel (turner, vagy sokkomponensű ötvözetként) ötvözve nagy ellenálló-képesség érhető el nem-oxidáló közegekben. Ilyen ötvözetek a Hastelloy B (60% Ni, 30 % Mo, 5 % Fe), a Hastelloy C (54% Ni, 15 % Cr, 16 % Mo, 4 % W, 5 % Fe), Ni-Resist (13 – 32 % Ni, 1,7 – 5,5 % Cr, 0,4 – 1,5 % Mn, 1 – 6 % Si, < 3 % C, Fe maradék)

A Hastelloy B pl. redukáló környezetben a teljes koncentrációtartományban ellenáll sósavnak és kénsavnak.

A gömbszéntes Ni-Resist anyagok több mint 400 különféle agresszív közegben ellenállóak irodalmi adatok szerint.

A titán szerkezeti anyagként magas olvadáspontjával és sűrűségéhez képest nagy szilárdságával tűnik ki, már híg savakban is könnyen passzíválódik az oldott oxigén hatására. Passzivitása csak erős savak és lúgok hatására törik le.

Oxidáló közegben ellenáll a klorid-ion hatásának, a királyvíznek és nedves klórgáznak szobahőmérsékleten. Salétromsavban nagy hőmérsékleten kisebb a korróziója mint a rozsdamentes acélnak.

A lyukkorrózióknak tengervízben és talajban is ellenáll, csak nagy klorid-ion koncentráció, és csak magas hőmérséklet esetén pittingesedik.

Füstölő salétromsavban, cseppfolyós dinitrogén-tetroxidban hajlamos feszültségkorrózióra. Szobahőmérsékleten klorid, bromid és jodid-ionokat tartalmazó oldatokban ötvözetei is hajlamosak feszültségkorrózióra.

A titán ellenáll a korrózióknak:

tengervízben, nagy áramlási sebességek esetén is;
nedves klórgázban (száraz klórgázban olyan hevesen reagál hogy meg is gyulladhat!);
salétromsavban, a koncentrációtól és a (forráspontig) hőmérséklettől függetlenül;
meleg és hideg oxidáló hatású oldatokban (FeCl_3 , CuCl_2 , CuSO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$);
hipokloritokban.

A titán nem áll ellen a korrózióknak:

vizes hidrogén-fluorid oldatban;
fluorgázban;
töményebb sósav és kénsav oldatban;
oxálsavban, hangyasavban és vízmentes ecetsavban;
55 %-nál töményebb forró kalcium-klorid oldatban;
tömény, forró alkáliákban;
sóolvadékokban;
levegőben, nitrogénben és hidrogénben nagy hőmérsékleten (az oxid- és nitridképződés 450 °C felett, a hidridképződés pedig 250 °C felett megy végbe).

A cirkónium ellenáll a korrózióknak:

alkáliákban, koncentrációtól és hőmérséklettől függetlenül (még olvadékokban is);
salétromsavban és sósavban egészen a forráspontig koncentrációtól függetlenül;
forró kénsavban (max. 70 %), foszforsavban (max. 55 %);

forró hangyasavban, ecetsavban, tejsavban és citromsavban.

A cirkónium nem áll ellen a korrózióknak:

oxidáló fém-kloridoknak (FeCl_3 , CuCl_2);
HF-ben és H_2SiF_6 -ban, nedves klórgázban, királyvízben;
forró trklórecetsavban, oxálsavban,
forró 55 %-nál töményebb kalcium-klorid oldatban

A tantál ellenáll a korrózióknak:

foszforsavban, salétromsavban és sósavban a forrpontig, koncentrációtól függetlenül;
kénsavban 175 °C-ig koncentrációtól függetlenül;
hideg, meleg krómsavban, királyvízben;
száraz, vagy nedves halogéneknben, szerves savakban (tejsav, oxálsav, ecetsav);
oxidáló fém-kloridok oldataiban (FeCl_3 , CuCl_2).

A tantál nem áll ellen a korrózióknak:

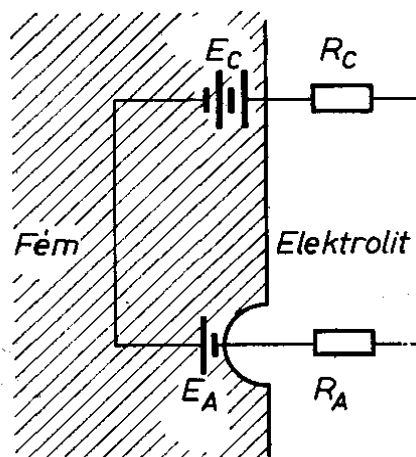
alkáliákban (ridegedés jön létre, pl 5%-os NaOH 100 °C-on);
HF-ben és flouridokban (már nyomok esetén is);
füstölő kénsavban;
oxigénben, nitrogénben és hidrogénben nagy hőmérsékleten.

Elektrokémiai védelem

Az elektrokémiai védelem lényege, hogy a védendő tárgyra olyan potenciált kényszerítünk, amely az adott közegben érvényes Pourbaix diagram immunitási tartományába esik, és így termodinamikai alapon nem lehetséges a korrózió.

Ez kétféleképpen érhető el:

külső áramforrás alkalmazásával, ez az ún. katódos védelem.
belső, vagy autonom, vagy anódos védelem (mártír)anód alkalmazásával



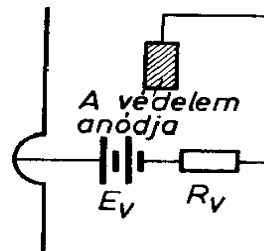
A korróziós rendszer elektromos helyettesítő kapcsolása



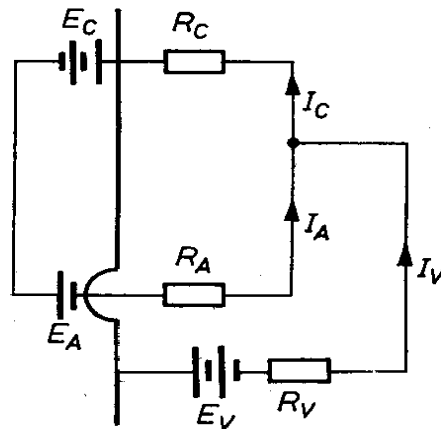
Ohm törvénye szerint a korróziós áram:

$$I_{\text{korr}} = (E_C - E_A) / (R_C + R_A)$$

A katódos védelemhez természetesen szükség van egy új anódra is, amint ez a következő ábrán látható



A katódos védelem kapcsolása



A katódos védelem korróziós rendszerre való alkalmazásának helyettesítő kapcsolása

A korróziós elem és a védelmi áramkör, kölcsönösen hatással vannak egymásra, a közös rendszer a következő ábrán látható.

I_A az anódos áram, I_C a katódos áram, I_V a védelmi áramkör árama. Kirchoff törvénye szerint:

$$I_A + I_V = I_C$$

A feszültségeket illetően pedig:

$$E_C - E_A = I_A R_A + (I_A + I_V) R_C = I_A (R_A + R_C) + I_V R_C$$

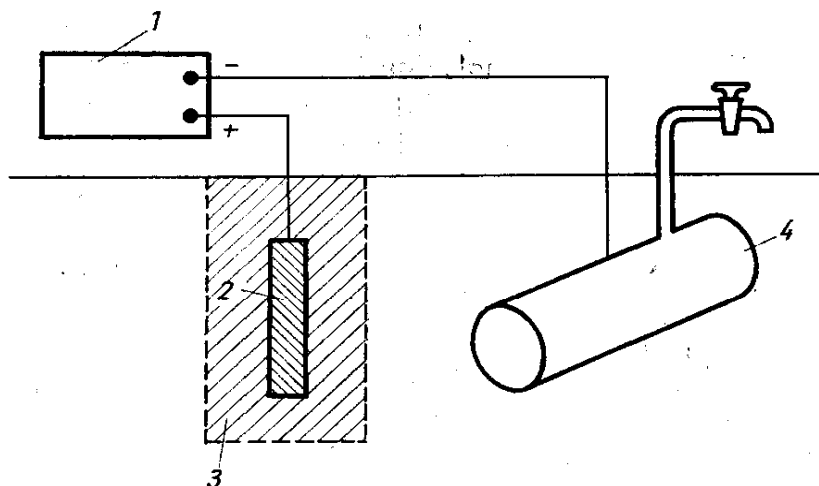
$$I_A = [(E_C - E_A) - I_V R_C] / (R_A + R_C)$$

I_A az anódos áram, mely I_V megfelelő megválasztásával 0-vá tehető (kinullázható). R_C értékét tanácsos nagyra választani, hogy a védelmi áram kicsi maradjon.

A védelmi áram kis értéken történő tartása érdekében a védendő tárgyat több mm vastag, esetleg több rétegű védőbevonattal, ún. passzív védelemmel látják el. Leggyakrabban alkalmazott bevonatok az üvegszövettel erősített bitumen, illetve kátrány, illetve műanyag-bevonatok. Természetesen bevonat nélküli tárgyak is védhetők katódosan, ilyenkor azonban nő az I_V , és ezzel együtt a védelem költségei is.

Az egyenletről az is látható, hogy csak védőbevonatok alkalmazása önmagában nem szünteti

meg, csak csökkenti a korróziót, hiszen $I_V = 0$ esetben is kapunk egy véges I_A korróziós áramot. Teljes korróziómentességet csak a katódos védelem nyújt. A katódos védelem esetén a katódreakciók (hidrogénfejlődés, oxigén redukciója) miatt a pH lokálisan nő (lúgosodik a közeg), ami elősegíti a felület passzíválódását is, ez szintén kedvező a korrózióvédelem szempontjából.



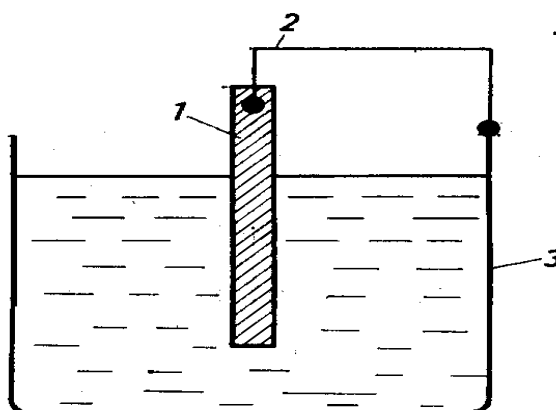
A külső árammal való katódos védelem vázlata
 1 áramforrás; 2 grafitanód; 3 anódágy; 4 védendő tárgy



A külső árammal történő védelem áramforrása lehet telep, egyenáramú generátor, leggyakrabban pedig a hálózati váltóáramot egyenirányító berendezés. Az áramot a védendő objektumra mint katódra, és egy, szintén a korróziós közegbe elhelyezett anódra kapcsolják. Az anód legtöbbször grafit, de lehet pl. ócskavas is. A grafit használata előnyösebb, mert nem oldódik, az ócskavasat pedig, oldódása miatt időnként pótolni kell. Az anódokat rendszerint speciális összetételű, jó elektromos vezetőképességű talajréteggel, ún. anódágyal veszik körül.

Egyszerűbb megoldásoknál az áramerősséget manuálisan állítják be, illetve időszakos utánállításal szabályozzák.

Természetesen léteznek olyan megoldások is, amelyek a rákapcsolt védőáramot a szükségleteknek megfelelően automatikusan szabályozzák, ilyen alkalmaznak pl. hajótestek védelmekor.



Az autonóm anódos védelem vázlata
 1 anód; 2 összekötő kábel; 3 védendő fém (pl. víztároló)

Az autonóm (vagy galvanikus) védelem esetén a védendő fémet egy kevésbé nemes fémmel kötik össze. Ennek következtében egy galvánelem jön létre, mely ha a védelmet megfelelően

tervezik meg, gondoskodik a szükséges katódos áramról.

Anódként csak a legkevésbé nemes fémek (gyakorlatilag csak a cink, magnézium és alumínium), valamint ötvözeteik jöhetnek számításba., a többiek ugyanis nem képesek olyan nagy áramot szolgáltatni, amely a védelemhez szükséges. A védelmet itt a kontaktkorróziós galvánelem adja, melyben az anód oldódik, elfogy, ezért meghatározott időnként pótolni kell azt. A fémet ebben az esetben tehát az anód oldódásával, feláldozásával védjük. Ha az anód a környezetében nem jól oldódik, esetleg passzíválódik, akkor a védelem (a védő hatás) el is maradhat. Ennél a módszernél tehát talajokban különösen fontos a megfelelő anódagy létesítése.

A külső árammal történő védelem előnyei:

nagy feszültség, nagy áramerősség érhető el, az értékek változtathatóak, szabályozhatóak, nagy ellenállású közegekben is használható, nagyméretű objektumok védelmére is alkalmas (pl. jó szigetelőképességű, passzív védőréteg esetén egy – egy anóddal 70 – 80 km hosszú, talajban elhelyezett csővezeték is védhető).

A külső árammal való védelem hátrányai:

viszonylag magasak a beruházási költségek, nagyobbak a fenntartási, szerelési költségek, képzettebb kezelőszemélyzetet igényel, nagyobb a kóbor áramok keletkezésének veszélye, a hálózati áramvezetéknek vagy generátornak a közelben kell lennie (áramellátási zavarok lehetségesek), a polaritás felcserélése fokozott korróziót okoz.

Az autonóm védelem előnyei:

nincs szükség külső áramforrásra, hálózati vezetékre, generátorra, nem lehetnek áramellátási zavarok, kis beruházási, fenntartási, szerelési költségek, nem igényel magasabb képzettségű kezelőszemélyzetet, ritkán károsítja a védelembe be nem kapcsolt környező műtárgyakat (kicsi a kóboráram keletkezésének veszélye), nem lehet polaritás-csere

Azt autonóm védelem hátrányai:

viszonylag kis feszültség, kis áramerősség, nehezen változtatható, szabályozható, nagyméretű, bonyolult alakú tárgyak védelmére kevésbé alkalmazható, nagy elektromos ellenállású közegekben nem használható, az anódok időnkénti pótlása szükséges. több anód alkalmazása esetén egymásra is hathatnak.

A kóbor áram okozta korrózió

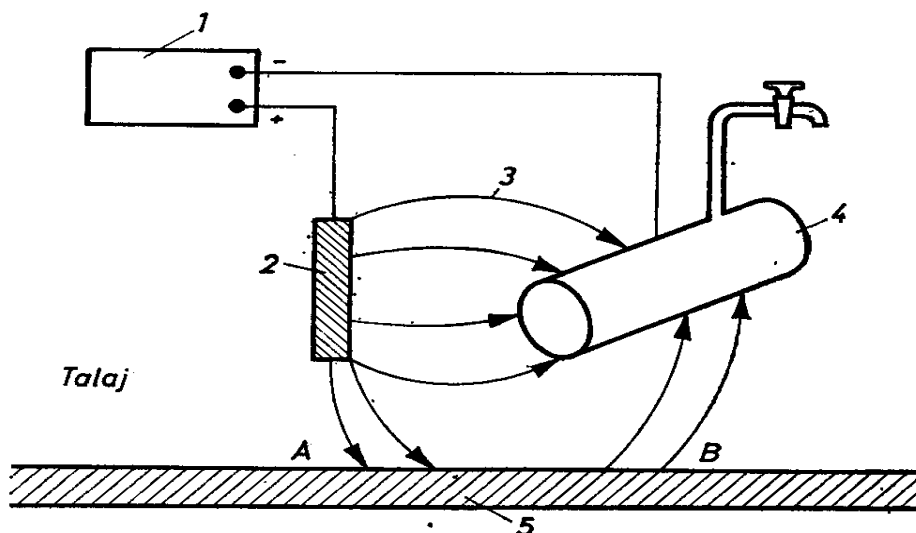


A kóbor áram okozta korrózió a katódos védelem alkalmazásának egyik legnagyobb veszélye.

Lényege abban áll, hogy a korróziós közegben a védelmi rendszer teljes árama nem a kívánt irányba folyik, hanem egy része más, fémből készült, és a védelembe be nem kapcsolt műtárgyakon is áthaladhat. Az előző ábra egy lehetséges esetet mutat be.

Ezen a védőáram egy része nem a talajon halad át, hanem az A-val jelzett helyeken a közelben húzódó idegen csővezetékbe lép be, majd onnan a B-vel jelölt helyeken kilépve éri el a védendő műtárgyat. A B-vel jelölt kilépési helyeken anódos polarizációt, a fémionok fokozott oldódását, azaz megnövekedett korróziót okozva ezáltal.

A veszély főleg nagyobb mértékben beépített területeken áll fenn, ahol sűrűn helyezkednek el földbe fektetett fémszerkezetek.



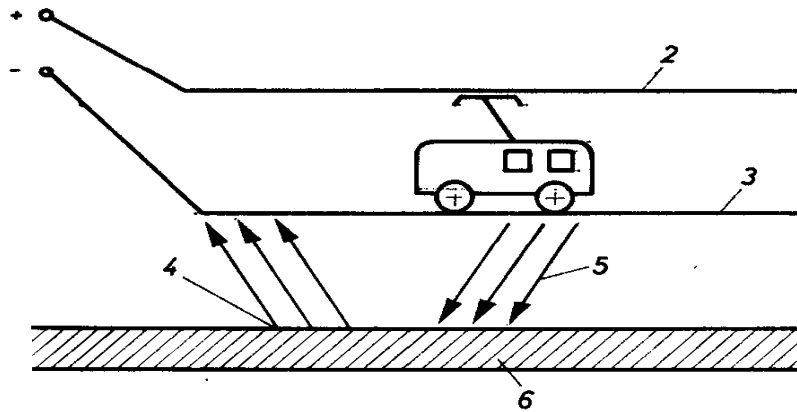
A kóbor áramú korrózió vázlatja katódos védelem esetén
 1 áramforrás; 2 grafit anód; 3 védőáram; 4 védett tárgy; 5 csővezeték

A kóbor áram okozta korrózió elkerülésére az alábbiakat tehetjük:
 ha lehetséges, a katódos védelmet más műtárgyaktól távol létesítsük,
 idegen műtárgyak kóboráram-felvételét jó szigeteléssel, vagy a tárgyat körülvevő műanyag védőcsővel is megakadályozhatjuk,
 nagyobb műtárgyak esetén a védelmet ne egy nagyteljesítményű anóddal, hanem több egyenletesen elhelyezett kis anóddal kell megoldani,
 a kóbor áram kilépési helyein autonóm védelmet létesíthetünk,
 az idegen műtárgyat bekapcsolhatjuk a katódos védelem rendszerébe (ez költségnövekedéssel jár),
 a kóbor áram kilépését a talajba helyezett védett tárggyal való (fémes) összekötés létesítésével akadályozzuk meg, ez az ún. drenázs, vagy másnéven szívókötéses módszer.

Kóbor áramok nemcsak katódos védelem alkalmazásakor keletkeznek. Előfordulnak pl. villamos vontatás során, amikor a talajjal érintkező síneket vezetőként használják fel, hegesztő berendezéseknél, daruknál, galvanizálókádaknál, kikötői, távközlési és ipari berendezéseknél, stb.

Különös hátrányuk, hogy jelenlétük csak viszonylag bonyolult módszerekkel mutatható ki, így meglepetésszerű károsodásokat okozhatnak. Kóbor áramok nemcsak talajban, hanem folyékony közegben is kialakulhatnak.

Az egyenáramú villamos vontatás során keletkező kóbor áramok láthatók a következő ábrán. Az áram a sínbe érve elágazik, egyik része a sínben, a másik pedig a talajban folyik tovább. Minél nagyobb a sín vezetőképessége a talajhoz képest, annál kisebb a kóbor áram. Tanácsos a síneket rosszul vezető réteggel, pl. kavicsal alapozni, és fontosak a jó sínkötések és csatlakozások.



A kóbor áramú korrózió vázlatja villamos vontatás esetén
 1 erőmű; 2 felső vezeték; 3 sín; 4 anódos helyek; 5 kóbor áram; 6 csővezeték



Kóbor áramok folyhatnak vasbeton szerkezetben is, főleg ha fagyásgátlóként (kötésgyorsítóként) kloridtartalmú sókat adagoltak a betonhoz. Az adalék megnöveli a beton vezetőképességét, ez a vas korróziójához vezethet. A létrejövő korróziós termékek (hidratált vasoxid) térfogatnövekedést jelentenek, ami betonra repesztő hatást fejt ki.

Hajókon kóbor áramú korróziót okoz minden olyan elektromos szerelés, ill. rossz szigetelés, melynek következtében a hajótesten áram halad keresztül. Ilyenkor az áram nagy részbe vízben lép ki, és az anódos helyeken korrózió jöhet létre.

A kóbor egyenáramok hatását szemlélteti, hogy 1 A erősségű áram, 1 év alatt, kb. 10 kg vasat, 11 kg rezet, vagy 37 kg ólmot korrodál.

