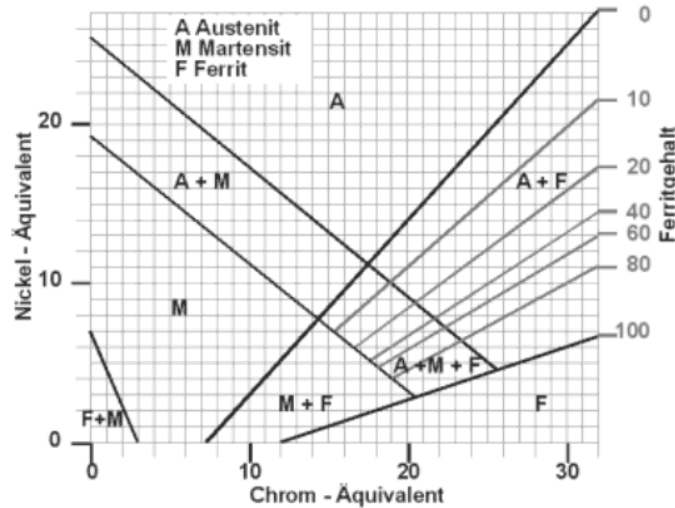


Mágneses anyagok és vizsgálataik

A korrózióálló acélok

A korrózióálló acélok esetében jelentkező korrózióállóság (pontosabban az „elektrokémiai korrózióval” szembeni ellenállás) a legalább 10–11%-nyi krómnak köszönhető, amely egy vékony (1–5 nm) passzív hártát alakít ki az acél felületén, amely megvédi a további korróziótól, ill. lassítja azt. A molibdén és a réz hozzáadása ellenállóbbá teszi ezt a passzív hártát, és fokozza annak regenerálódását a sérülése esetén, mindez erőteljesen növeli a korrózióállóságot. Viszont a karbon rontja a korrózióállóságot.

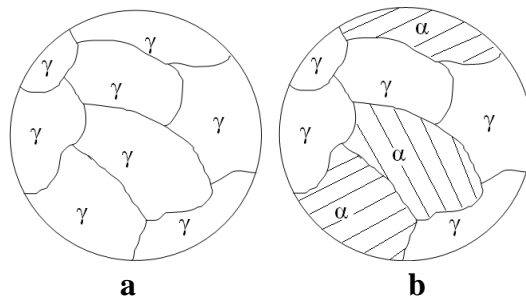
A korrózióálló acélok csoportosítás alapja a szövetszerkezet szerinti megkülönböztetés. A szövetszerkezetet alapvetően az határozza meg, hogy a ferritképző és az ausztenitképző ötvözőelemek milyen mennyiségben vannak jelen. Ferritképző ötvözők a Cr, Mo, Si, Ti, Nb és a Al, ausztenitképző ötvöző a Ni, Mn, C, Cu és a N. A korrózióálló acélokat legtöbbször a szövetszerkezet alapján osztályozzák. Megkülönböztetnek: ferrites, martenzites, ausztenites, duplex, és kiválással keményedő acélokat. A korrózióálló acélok szövetszerkezetét Schaeffler-diagramnak nevezzük (1. ábra).



1. ábra: Schaeffler-diagram. Krómegyenérték: $CrE = Cr + Mo + 1,5Si + 0,7Nb + 0,5Ti + 3Al$. Nikkelegyenérték: $NiE = Ni + 30C + 0,5Mn + Cu/3 + 22Ni$.

Ausztenites acélok

Legrégebbi, legtipikusabb az ún. „18/8”-as korrózióálló ausztenites acél. Az elnevezés a kémiai összetételre utal, Cr=18%, Ni=8%. Tisztán ausztenites szövetszerkezetű, amelynek rácsszerkezete FKK (2/a. ábra). Hátrányai, hogy nagy Cl⁻ – tartalmú közegekben a korrózióval szembeni ellenállása romlik, illetve a tisztán ausztenites szövetszerkezet miatti kis szilárdsága (alacsony folyáshatára). Az ausztenit fázis termodinamikailag nem stabil, alakítás hatására martenzit keletkezik belőle. A fázisátalakulás reverzibilis, a martenzit hőkezelés hatására visszaalakul ausztenitté: $\gamma \leftrightarrow \alpha'$



2. ábra: Az ausztenites (a) és a duplex (b) acélok jellemző szövetszerkezete

Duplex acélok

A duplex korrózióálló acélok négy fő csoportjának jellemző kémiai összetételét az 1. táblázat mutatja.

Az ötvözés mértéke	Jellemző összetétel	N-tart. [%]	Ni-tart. [%]	C-tart. [%]
Gyengén ötvözött	23% Cr, Mo nélkül	0,1	~4	0,02-0,03
Standard	22% Cr, 2-3% Mo	0,15	~4...~7	
Erősen ötvözött	25% Cr, 2,5-3% Mo, (esetleg Cu)	0,15-0,35		
Szuperduplex	25% Cr, 3-4% Mo, (esetleg W és/vagy Cu)	0,2-0,3	~7	

1. táblázat: A duplex korrózióálló acélok négy fő csoportjának jellemző kémiai összetétele

A duplex acélok szövetszerkezete kb. 40vol%-ban ferrites, 60vol%-ban ausztenites (4. ábra).

A duplex acélok előnyei a kiváló korrózióállóság Cl^- - tartalmú közegekben is, illetve a szilárdsága kb. 4x-e az ausztenites acélokénak, hátránya a magas ára.

A duplex acélokban termodinamikailag instabil szövetelem a ferrit, amely hőkezelés hatására szekunder ausztenitre és szigma fázisra bomlik: $\alpha \leftrightarrow \gamma_2 + \sigma$

A duplex korrózióálló acélokban a szigma fázis rideg, kemény kiválás (Fe-Cr-Mo intermetallikus elektronvegyület), amely 650-1000°C között keletkezik (kb. 2 perces inkubációs idővel). Mivel fajtérfogata kisebb, mint a ferrité, megjelenése repedéseket okozhat. Az ütőmunka jelentősen lecsökken.

Emellett a ferrit elbomlása következtében megváltozik a korrózióállóság szempontjából ideális szövetszerkezet, növekszik az ausztenit aránya, amely a korróziós tulajdonságok romlását okozza.

Duplex acélok hegesztésekor a hőhatásövezetben előfordulhatnak olyan körülmények (megfelelő hőmérséklet és hőtartási idő viszonyok), amelyek kedveznek a ferrit elbomlásának, ezért ez a probléma gyakran felmerül az ipari gyakorlatban. Ebből következően indokolt lehet a hőhatásövezetben a fázisarány meghatározása a hegesztés után.

Fázisarány meghatározása a duplex acélokban

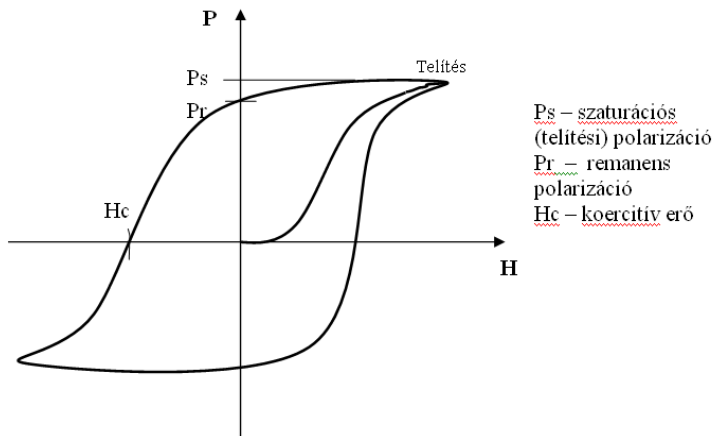
Lehetőségek:

- Metallográfiai vizsgálat, de ez pontatlan az anizotróp szövetszerkezet miatt.
- Röntgendiffrakcióval, de ez költséges, ipari körülmények között nehezen kivitelezhető eljárás.
- Keménységméréssel, de ez pontatlan, mert a keménységváltozást nem csak a fázisarány változása okozhatja.
- Állandó mágnessel, de a vizsgált felület eltérései hibát okozhatnak.
- Ferritscope, ferritester műszerekkel, de ezek pontatlanok
- Telítési mágnesszettség mérésével

Fázisarány meghatározása a duplex acélokban telítési mágnesszettség mérésével

Mivel a ferrit ferro-, az ausztenit pedig paramágneses, a két fázis aránya a telítési mágnesszettség mérésével meghatározható. A vizsgálat nagy előnye, hogy térfogatra terjed ki.

Egy általános mágnesszeti görbét és annak nevezetes pontjait az 3. ábra mutatja.



$$B = \mu_0 (H + M) - \text{mágneses indukció}$$

$$\mu_0 M = P - \text{mágneses polarizáció}$$

A telítési polarizáció arányos a szövetszerkezetben a ferrit arányával: $Ps \sim \alpha(\text{vol}\%)$

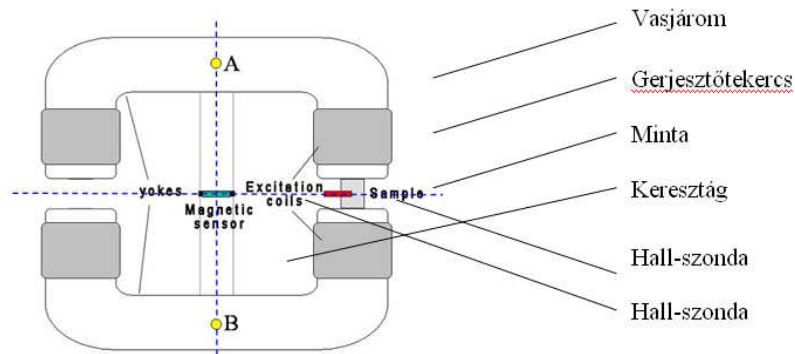
3. ábra: Mágnesszeti görbe és nevezetes pontjai

Mérési összeállítás

A duplex acélok koercitív ereje kb. 10A/cm, a telítésig történő felmágnesszéshez váltóáramos mérésre van szükség. A minták telítési mágneses polarizációjának meghatározását az ún. Stablein-Steinitz-féle mérési összeállítással végezzük el, amelynek vázlatja a 6. ábrán látható.

A mérendő mintát a mérőlégrésbe kell elhelyezni olymódon, hogy a párhuzamos felületei felfeküdjenek az U-alakú járom pólusfelületein. A mágneses teret egy változtatható kimenő-feszültségű egyenáramú tápegységre kapcsolt négy, egymással sorbakötött gerjesztőtekercs hozza létre. Az aktuális mágneses térrel (H) arányos jelet egy a mérőlégrésben elhelyezett detektor, a mágneses indukcióval (B) arányos jelet pedig egy másik a keresztág légrésében elhelyezkedő detektor szolgáltatja.

A detektorok Hall-szondák, áramgenerátoros táplálást igényelnek. A kimenő egyenfeszültségű jelük az adatgyűjtő kártya bemenetére kerül, és szoftver szinten kerül feldolgozásra. A mért feszültség és a fizikai mennyiség között a kalibráció teremt kapcsolatot. A kalibrálás előre megtörtént, a mérés keretében nem kell elvégezni. Az ugyanabban az időben mért H és B értékeket egy $B(H)$ grafikonon (mágneses hiszterézisgörbe) jelenítjük meg. Ez a grafikon számos, a gyakorlati alkalmazás szempontjából fontos ponttal rendelkezik, a mérési feladat ezeknek a pontoknak a megmérése a különböző mintákon.



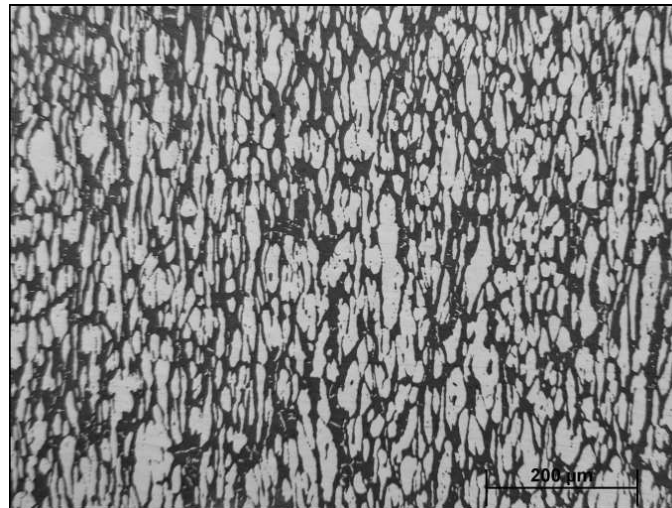
3. ábra: Stablein-Steinitz-féle mérési összeállítás

Mérési feladat

A mérést hőkezelt 2507-es Duplex acél mintákon végezzük el, amelynek kémiai összetétele és gyári állapotú szövetszerkezete a 2. táblázatban és a 4. ábrán látható. A gyári állapotnak megfelelő fázisarány $\alpha = 42\text{vol}\%$, $\gamma = 58\text{vol}\%$.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
0.015	0.24	0.83	0.023	0.001	24.8	6.89	3.83	0.23	0.27

2. Táblázat: A 2507-es duplex acél kémiai összetétele



4. ábra: A 2507-es duplex acél szövetszerkezete

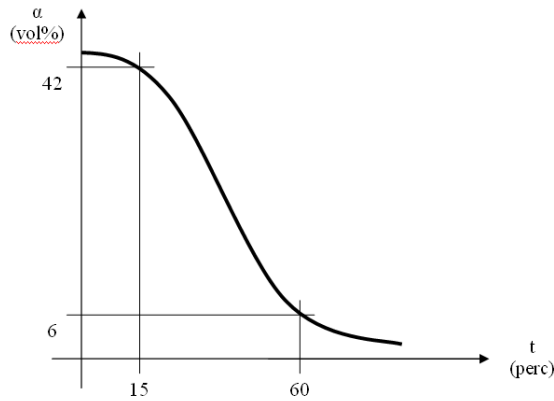
A minták hőkezelése 800°C-os különböző időtartamú (5-73 perces) hűtőtartással történt.

Feladat: a Stablein-Steinitz-féle mérési összeállítással kimérendő az egyes minták telítési polarizációja. A mérhető értékek a 3. táblázatban vannak feltüntetve. A gyári minta adatainak ismeretében az $\alpha(\text{vol}\%)$ minden mintára kiszámítható.

Sorszám	Hőkezelési idő: t (perc)	Telítési polarizáció Ps (T)	α (vol%)
0	0	0,38	42,0
5	5	0,38	42,0
6	10	0,37	40,9
7	15	0,4	44,2
8	30	0,32	35,4
10	42	0,15	16,6
11	58	0,08	8,8
9	73	0,06	6,6

3. táblázat: Mérési eredmények

Az $\alpha(\text{vol}\%)$ értékeket a hőkezelési idő (t) függvényében diagramban ábrázolva az 5. ábrán átható görbét kapjuk.

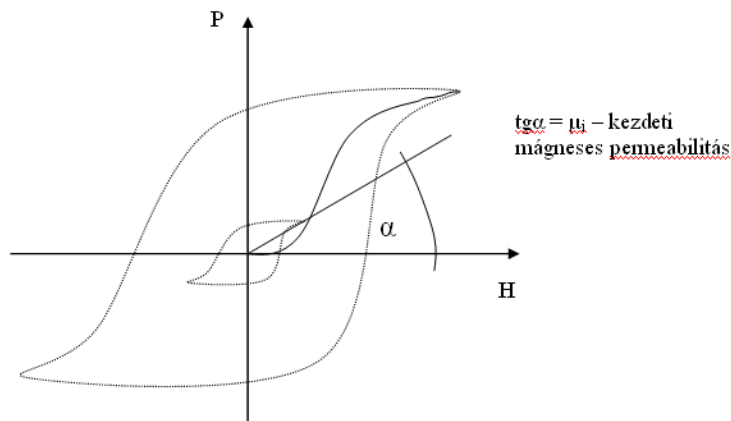


5. ábra: A ferrit fázisarányának (α , vol%) értékei a hőkezelési idő (t , perc) függvényében

Következtetés: 15 perces 800°C-os hőntartás nem okoz jelentős fázisátalakulást, 60 perces hőntartás esetén viszont a ferrit majdnem teljesen elbomlik, így a korróziós és szívóssági tulajdonságok jelentősen romlanak.

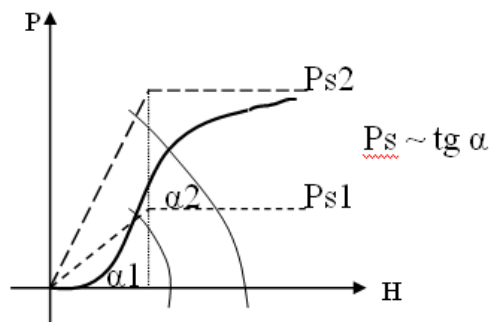
Fázisarány meghatározása a duplex acélokban ferritscope (ferritester) segítségével

Roncsolásmentes anyagvizsgálat végezhető a Ferritscope-okkal vagy Ferritester-ekkel, amelyekkel a ferromágneses fázis aránya szintén meghatározható. Ezek az örvényáramos mérőműszerek nem telítési mágneses polarizációt mérnek, hanem kis mágneses tér létrehozásával a kezdeti mágneses permeabilitást határozzák meg (6. ábra).



6. ábra: Ferritscope-os kezdeti mágneses permeabilitás-mérés

Ezen kívül a mérés során a mágnesezési görbét is leegyszerűsítik és felhasználják, hogy a kezdeti mágneses permeabilitás arányos a telítési polarizációval (ld. 7. ábra).



7. ábra: A mágnesezési görbe leegyszerűsítése a Ferritscope-os mérés során

A ferritscope-os mérések gyorsak, az iparban elterjedtek, azonban pontatlanok.