

ÚJ EREDMÉNYEK A MELEGSZILÁRD ACÉLOK VEGYES KÖTÉSEINEK HEGESZTÉSE TERÉN

Dr. Balogh András¹, Dr. Béres Lajos²

1. BEVEZETÉS

A Mechanikai Technológiai Tanszéken 2000. és 2010. évek között tovább folytatódott a mintegy 25 éves múlt-ra visszatekintő, A melegszilárd acélok hegesztése és a kötések üzemi viselkedése c. kiemelt kutatási projekt dr. Béres Lajos egyetemi docens vezetésével és dr. Balogh András egyetemi docens közreműködésével. Az utóbbi tíz évben a kutatás elsősorban a hagyományos gyengén ötvözött acélok mellett az erősen ötvözött, új minőségek hegesztéssel létrehozott ún. vegyes kötéseire és ezek üzemi viselkedésére összpontosított.

Az időközben nemzetközivé bővült kutatási programban részt vett az Otto von Guericke Universitát, Magdeburg (Prof. Irmer Werner), University of Bath (research fellow Chris S. Kirk), Berlin, Technische Universitát (Institut für Schweisstechnik), Braunschweig, Mátrai Erőmű Zrt., Visonta, Tiszai Vegyi Kombinát NyRt., Tiszaújváros, Kiskunfélegyházi Vegyipari Gépgyár. A kutatási eredményeinket nemzetközi és hazai konferenciákon mutattuk be, valamint olyan tekintélyes folyóiratokban publikáltuk, mint a Welding Journal (Miami), Schweissen und Schneiden (Düsseldorf) Schweisstechnik (Wien), Sudura (Temesoara) és a Hegesztéstechnika (Budapest) [1, 2].

2. MELEGSZILÁRD ACÉLOK CSOPORTOSÍTÁSA

A melegszilárd, vagy másképpen kúszásálló acélokat elsősorban a hőerőművekben, a gáz és olajfeldolgozó

iparban, valamint fűtőművekben, hőcserélőkben alkalmazzzák, túlnyomó részben csövek formájában.

Az igénybevételek hasonlóságából következően az acélok világszerte, jó közelítéssel közel azonos, vagy hasonló csoportokba sorolhatók, az 1. táblázat szerint.

3. A MELEGSZILÁRD ACÉLOK ELŐMELEGÍTÉSE ÉS HEGESZTÉST KÖVETŐ MEGERESZTÉSE

Az 1. táblázatból jól látható, hogy az egyes csoportokba tartozó acélok hegesztése egymástól eltérő hőkezeléseket igényel.

Az F+P csoportba tartozó acélokat csak 15...20 mm falvastagság fölött melegítik elő 150...250°C-ra és a hegesztést követően 600...650°C-on feszültségsökkenőt hőkezelés ajánlható.

A B+M csoportba tartozó acélok előmelegítést igényelnek. Az előmelegítés célja az, hogy a hőhatásövezet g-a átalakuláson átesett részei és a varrat a hegesztési ciklus közben 300 HV-nél ne legyen keményebb.

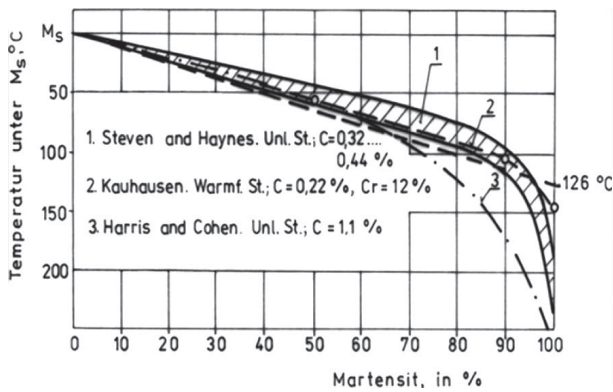
A martensites (M) csoportba tartozó acélok hegesztéséhez leggyakrabban az ún. „martensites hegesztést” alkalmazzzák. A hegesztést úgy végzik, hogy ezeknek az alacsony karbontartalmú acéloknak a kötéseiben a martensit-tartalom az 50%-ot ne haladja meg.

Régóta ismert az, hogy az Ms hőmérséklet alatt a martensit szövet részaránya az 1. ábra szerint változik.

Acélcsoport	Összetéltípus	Kémiai összetétel tömegszázalékban					Üzemi hőmérséklet °C
		C	Mn	Cr	Mo	Ni	
Ferrit-Bainites	0.15C 0.8Mn	0,12-0,25	0,40-1,20				480
F+P	0.15C 0.8Mn 0.3Mo	0,12-0,20	0,40-1,00		0,20-0,40		500
Bainit-Martensites B+M	0.15C 0.6Mo 0.3V	0,10-0,20	0,40-0,70	0,30-0,60	0,40-0,70		560
	0.15C 1.1Cr 0.6Mo	0,10-0,20	0,40-0,70	0,70-1,30	0,40-0,70		560
	0.15C 2.2Cr 1Mo	0,07-0,18	0,40-0,70	2,00-2,50	0,80-1,20		560
Martensites M	0.10C 5.0Cr 0.6Mo	0,08-0,14	0,30-0,60	4,50-6,50	0,45-0,65		600
	0.20C 12Cr 1.0Mo	0,17-0,25	0,40-0,70	10,0-12,5	0,80-1,20		600
	0.10C 9.0Cr 1.0Mo	0,07-0,14	0,40-0,70	7,50-9,50	0,80-1,10		600
Austenites A	0.06C 16Cr 13Ni	0,04-0,10	0,80-1,50	15,0-17,0	1,50-2,00	12,0-13,5	750
	0.06C 16Cr 16Ni	0,04-0,10	0,80-1,50	15,0-17,0		15,0-16,5	750

¹ egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, www.met.uni-miskolc.hu, balogh.andras@uni-miskolc.hu

² egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, www.met.uni-miskolc.hu, e-mail: beres.lajos@uni-miskolc.hu



1. ábra: Különböző vegyi összetételű acélok martensit-tartalma az M_s alatti hőmérsékleteken

Az M_s - M_f hőköz legalább 90%-ára érvényes) közelítést, amely szerint

$$M_f = M_s - 126^\circ\text{C}$$

így az előmelegítés hőmérséklete:

$$T_e = M_s - 60^\circ\text{C}$$

A Schaeffler diagramban az A és az A+M mező határvonala az adott összetételű acélok M_s hőmérsékletének, az A+M és az M mezőé az adott összetételű acélok M_f hőmérsékletének tekinthető. Kutatásaink eredménye alapján az acélok M_s hőmérséklete jó közelítéssel számítható.

A legfeljebb 0,35 % C tartalmú melegsziárd acéloknál ez az összefüggés a következő:

$$M_s = 454 - 210 \cdot C + \frac{4,2}{C} - 27 \cdot Ni - 7,8 \cdot Mn - 9,5(Cr + Mo + 1,5Si + W + V) - 21 \cdot Cu$$

E számítás segítségével a hegesztésre kerülő acéladag összetételéből az M_s hőmérséklet mintegy 10°C pontossággal számítható, amelynek ismeretében az előmelegítés hőmérséklete úgy tervezhető, hogy a hegesztés mindig azonos martensit-tartalmú acélokon folyjon. Az előzőkből következik, hogy a gyártók által ajánlott (konkrét adagösszetételtől független) előmelegítési hőmérsékleti intervallumon belül az acél martensit-tartalma akár 30-40%-kal is változhat, ami kellő magyarázat az esetenként megfigyelt repedésérzékenységet okozó okát illetően.

A hegesztés befejezése után a kötést az M_f hőmérséklet alá kell hűteni (közbenső lehűtés), hogy az austenit martensit alakuljon, majd a szokásos magas hőmérsékletű megeresztést kell alkalmazni.

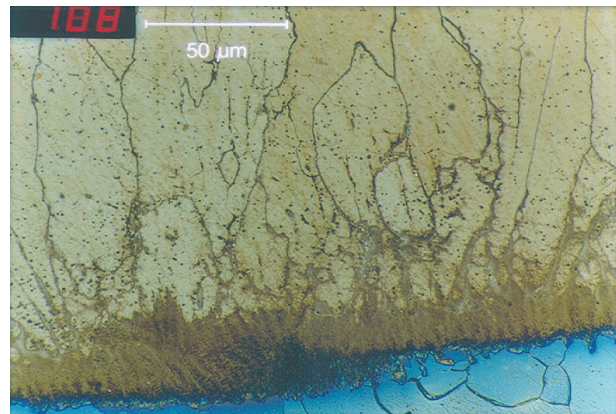
Az austenites melegsziárd acélok (A) hegesztése az austenites korrózióállókéval azonos.

4. DIFFÚZIÓS RÉTEGEK A HETEROGÉN KÖTÉSEKBE

Az erőművekben elkerülhetetlen, hogy a csövekben áramló közeg eltérő hőmérsékletének megfelelően különböző összetételű anyagminőségeket kelljen összehegesztetni. Ilyenkor a két alapanyag összetétele eltér egymástól, a hegesztő anyag pedig preferáltan austenites Ni-Cr ötvözet (pl. 70 % Ni+20 % Cr), vagy olyan edződő acél, amelynek összetétele az egyik alapanyagéval azonos, vagy a két alapanyag közötti. Ezek az anyagokban heterogén, röviden ún. heterogén kötéseket.

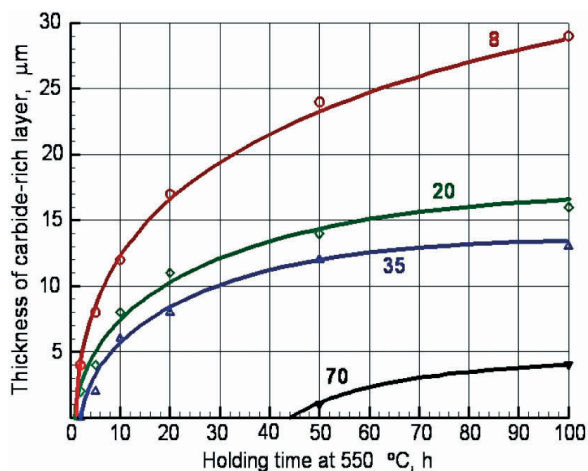
Az egymástól eltérő összetételű varrat és alapanyag között az összetételbeli különbség és a hőmérséklet növekedés hatására egyre gyorsuló diffúziós folyamatok indulnak meg. Ennek során elsősorban a C atomok diffúziója a meghatározó, amely az alacsonyabb Cr tartamú anyagrészekről a nagyobb Cr tartalmúak felé irányul. Így módon a C-ban elszegényedő részek ferritessé válnak, a C-ban dúsult részben pedig apró karbidszemcsék tömege jelenik meg. A diffúziós folyamat eredményeként a varrat-hőhatásövezet határfelület egyik oldalán ferrit réteg, a másikon pedig karbidokban dús réteg alakul ki. A diffúziós folyamat következtében a ferrit réteg melegsziárdsága erősen csökken, a karbidokban dús réteg keménysége megnő, ami a kötés idő előtti tönkremeneteléhez vezet.

Ilyen kötést mutat a 2. ábra, amelyet a kutatási programunkat segítő Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung, Berlin készített.

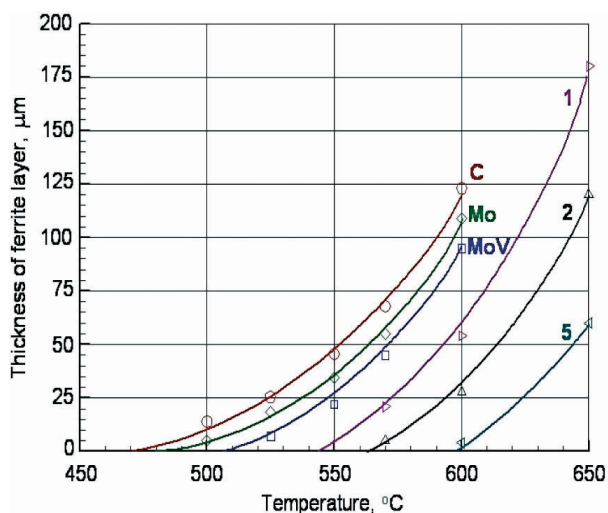


2. ábra. Melegsziárd acélok heterogén hegesztett kötését jellemző mikroszkópi kép. Alapanyag: 0,15 C-1,1 Cr-0,6 Mo. Elektroda: 20 Cr-10 Ni. Hőhatás: $600^\circ\text{C}/50\text{h}$. Marószers: királyvíz.

A diffúziós rétegek növekedési sebességének meghatározására irányuló kísérleteink azt mutatták, hogy egy adott üzemi hőmérsékleten az austenites hegesztőanyaggal készített kötéseknél pl. a karbidokban dús réteg vastagsága a 3. ábra, a ferritrétegé a 4. ábra szerint növekszik.



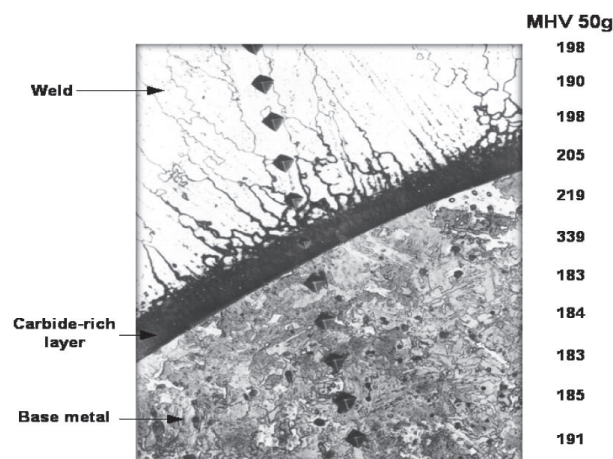
3. ábra. A karbidokban dús réteg vastagsága 550 C-os izzítás után. Alapanyag: 0,15C 1,1Cr 0,6Mo. Hozaganyag: 8: 18Cr 8Ni; 20: 22Cr 20Ni; 35: 20Cr 35Ni; 70: 70Ni 20Cr



4. ábra. A ferritréteg vastagsága különböző hőmérsékleteken végzett, 100 h-s időtartamú hőntartás után. Alapanyagok: C: 0,15C 0,8Mn; Mo: 0,15C 0,8Mn 0,3Mo; MoV: 0,15C-0,5Cr-0,6Mo-0,3V; 1: 0,15C-1,1Cr-0,6Mo; 2: 0,15C-2,2Cr-1Mo; 5: 0,1C-5Cr-0,6Mo. Hozaganyag: minden esetben 70Ni -20Cr

- A 3. és 4. ábrából az alábbi következtetések vonhatók le:
- A varrat Ni tartalmának növekedésével a rétegvastagság növekedése erőteljesen lassul. A más hőmérsékleten is elvégzett kísérletek eredményei azt mutatják, hogy kb. 300°C üzemi hőmérsékletek fölött csak a 70 % Ni + 20 % Cr tartalmú hegesztőanyagok használata ajánlható.
 - A diffúziós utak növekedése következtében a rétegek növekedési sebessége csökken. A 10 000 órás ellenőrző kísérleteink szerint a legmagasabb üzemi hőmérsékletnek az a hőmérséklet ajánlható, amelyen 100 óra elteltével a réteg kialakulásának megindulása a 250x-es nagyítású mikroszkópi képen már megfigyelhető.

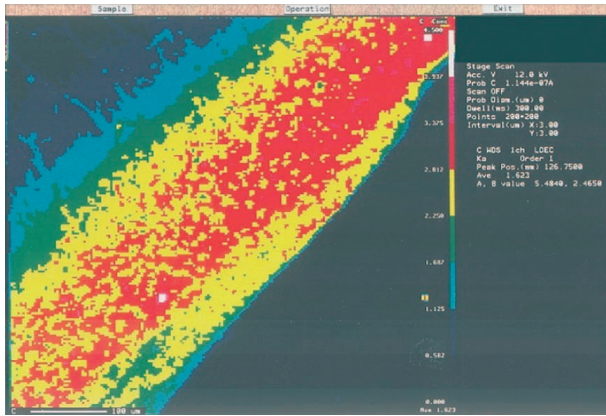
A diffúziós rétegek mikroszerkezetét az 5. és 6. ábra illusztrálja. A 6. ábrán jól látható, hogy az ajánlható üzemi hőmérséklet fölött, mintegy 600-650°C-on kb. 160.000 órán át üzemelő kötésben, a karbidokban dús rétegben, a C-tartalom akár 3% fölé is emelkedhet (Techn. Univ. Braunschweig)



5. ábra. Előzetesen 35 000 h-t üzemelt fő gőzgyűjtőcső heterogén hegesztett kötését jellemző mikroszkópi kép keménységeloszlással. Alapanyag: 0,15C-0,5Cr-0,6Mo 0,3V. Hozaganyag: 70Ni-20Cr. Üzemi körülmények: 520 C hőmérséklet és 120 bar nyomás. Marószers: királyvíz. Nagyítás: 250x

Az alapanyag összetételi típusa	Az alapanyag Cr tartalma, tömegszázalék	A varrat Cr tartalma, tömegszázalék	Ajánlott üzemi hőmérséklet (legnagyobb érték) °C
0.15C 2.2Cr 1Mo	2,2	9	490
0.15C 0.8Mn 0.3Mo	2,2	11	490
0.15C 2.2Cr 1Mo	2,2	5	560
0.10C 9.0Cr 1.0Mo	9,0	5	600
0.20C 12Cr 1.0Mo	12,0	5	590
0.10C 9.0Cr 1.0Mo	9,0	2,2	560
0.20C 12Cr 1.0Mo	12,0	2,2	540

2. táblázat Az alapanyag és a varratanyag Cr tartalmának hatása az ajánlott üzemi hőmérsékletre



6. ábra. A diffúziós réteg karbontartalmának illusztrálása 0,3% C tartalmú acél 20Cr/10Ni típusú austenites acél hegyanyaggal készített kötésében

A különböző Cr tartalmú alapanyagok és hozaganyagok párosításával végzett kísérleteink eredményeiből a gyakorlatban előforduló anyagpárosításokra az ajánlott üzemi hőmérséklet kellő biztonsággal kijelölhető (2. táblázat). Az alapanyag-hozaganyag kombinációjánál tekintettel kell lenni a hegesztést követő magas hőmérsékletű megeresztés (HTT) hőmérsékletére is: az elkészült kötés csak olyan acélfajtákból állhat, amelyek mindegyikére kedvező a megeresztési hőmérséklet. Ennek az elvnek megfelelően hegesztett kötéset semmiképpen se készítsünk pl. 0,15 C-1,1 Cr-0,6 Mn és 0,10 C-9 C-1,0 Mo típusú acélok között, mert az előző előírt megeresztési hőmérséklete $680\pm 20^\circ\text{C}$, az utóbbié pedig $750\pm 20^\circ\text{C}$. Ilyen esetekben a két acélcso között célszerű betervezni egy kb. 3-4 m hosszú, 0,15 C-2,2 Cr-1 Mo összetételű csövet, mert ebben az esetben ennek egyik oldalán a kötés megeresztési hőmérséklete pl. 700°C , a másik oldalán pedig 750°C lehet.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

1. A minőségbiztosítás alapelveiből következik, hogy a hegesztett kötések bármely időben reprodukál-

hatóan és a legjobb minőségben kell elkészíteni. A melegsizlárd acélok homogén kötéseinek ez annyit jelent, hogy az alapanyagokat a vegyi összetételük által meghatározott előmelegítési hőmérséklet-tartománnyal kell meghegeszteni. Fontos, hogy a repedésérzékenység minimális legyen hegesztés közben, mivel a hegesztést követő megeresztés nem képes kiegyenlíteni a kötés különböző részeinek keménység-eltéréseit.

2. A jelentős Cr koncentráció különbség miatt erős diffúziós mozgás megy végbe a varrat és a hőhatásövezet között. Ez a diffúziós folyamat felgyorsul, amennyiben a kötéset az ajánlottnál magasabb üzemi hőmérsékleten működtetik. Mind a ferrites, mind a karbidokban dús rétegek nemkívánatosak a hegesztett kötésben, mivel hozzájuk jelentős repedésérzékenység kapcsolódik. Az alapos metallográfiai vizsgálatok alapján kívánatosnak tartjuk, hogy körültekintően írjuk elő a varratra és a hőhatásövezetre vonatkozó követelményeket és módszereket, hogy megelőzhető legyenek a heterogén kötések üzemi repedései.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] BALOGH A., BÉRES L.: A legújabb kifejlesztett martensites melegsizlárd acélok ajánlott előmelegítési hőmérséklete, Gépgyártás, 2001. 11. 18-23.
- [2.] BALOGH A., BÉRES L., IRMER, W.: Welding of Martensitic Creep-Resistant Steels. (The relationship between preheat and Ms temperatures was investigated) (in English), Welding Journal, 2001. 8. 191-195. p.