



MELEGSZILÁRD ACÉLOK HEGESZTÉSE

BEVEZETÉS

A melegszilárd acélok elsősorban a hőerőművek építésében, a gőzturbina gyártásban, a kőolaj- és földgázfeldolgozó iparban, továbbá a vegyipari berendezések előállításában nyerne széleskörű alkalmazást a termikus hatások emelése céljából.

Az ötvöztelen acélok szilárdsági tulajdonságai a hőmérséklet emelkedésével erőteljesen csökkennek, ezért ennek növelése érdekében elsősorban krómmal, molibdénnel és vanádiummal ötvözik azokat.

A leggyakrabban előforduló melegszilárd acélok néhány jellegzetes képviselője az 1. táblázatban található, valamint az a hőmérséklet, amelyen irodalmi adatok szerint gyengén oxidáló atmoszférában reveállóságuk még kielégítő [i]. Bár e szempontból az ötvöztelen acélok 500 °C-ig felelhetnek meg, kb. 350 °C fölött csak alárendelt szerkezetekben, pl. kisveszélyességű hőcserélőkben kerülnek beépítésre. Jól érzékelhető az, hogy az acélok az üzemi hőmérséklet emelkedésével egyre több krómmal és molibdénnel ötvözöttek egyrészt a szükséges melegszilárdsági tulajdonságok elérése céljából, másrészt pedig azért, hogy a felületen kifejlődő oxidréteg az őket körülvevő atmoszféra oxidációs hatásának ellenálljon.

1. táblázat. Leggyakoribb melegszilárd acélok csoportosítása és megengedhető üzemi hőmérséklete enyhén oxidáló füstgázatmoszférában

Csoport	Acél jele	Anyag- szám	Jellemző összetétel tömeg %-ban						Üzemi hőmérséklet C	
			C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni		V
A	St35.8	1.0305	max.0,17	0,10...0,35	0,40...0,80					500
	St45.8	1.0405	max.0,21	0,10...0,35	0,40...1,20					500
	17 Mn 4	1.0481	0,14...0,20	0,20...0,40	0,90...1,20	max.0,3				530
	15 Mo 3	1.5415	0,12...0,20	0,10...0,35	0,40...0,80		0,25...0,35			530
B	14 MoV 63	1.7715	0,10...0,18	0,10...0,35	0,40...0,70	0,30...0,60	0,50...0,70			560
	13 CrMo 44	1.7335	0,10...0,18	0,10...0,35	0,40...0,70	0,70...1,10	0,45...0,65		0,22...0,32	560
	10 CrMo 910	1.7380	0,08...0,15	max.0,5	0,40...0,70	2,00...2,50	0,90...1,20			590
C	12 CrMo 19 5	1.7362	0,08...0,15	max. 0,5	0,30...0,60	4,0...6,0	0,45...0,65			590
	X 10 CrMoV Nb 91 (P191, T191)	1.4903	0,08...0,12	0,20...0,50	0,30...0,60	8,0...9,5	0,85...1,05	max. 0,40	0,18...0,25	600
	X 20 CrMoV 121	1.4922	0,17...0,23	max. 0,50	max. 1,00	10,0...12,5	0,80...1,20	0,30...0,80	0,25...0,35	600
D	X 8 CrNiNb 1613	1.4961	0,04...0,10	0,30...0,60	max. 1,50	15,0...17,0		12,0...14,0		750
	X 8 CrNiMoNb 16 16	1.4981	0,04...0,10	0,30...0,60	max. 1,50	15,5...17,5	1,60...2,00	15,5...17,5		750

A melegszilárd acélok ötvözés tekintetében az acélok teljes választékából kerülnek ki. A jobb áttekinthetőség végett a nagyszámú acélféleség közül a táblázat csupán néhány jellegzetes összetételt tartalmaz és ennek alapján az acélok az alábbi csoportokba besorolhatók.

- Ferrit-perlites (ötvöztelen vagy gyengén ötvözött) acélok,
- Bainit-martensites (közepesen ötvözött) acélok,
- Martensites (erősen ötvözött, edzhető) acélok,
- Austenites (erősen ötvözött austenites szövetszerkezetű) acélok

A hegesztett kötések készítéséhez elsősorban a 2. táblázatban található elektródákat ajánljuk az előző táblázattal azonos csoportosításban (a könnyebb áttekinthetőség céljából csak a kézi hegesztés céljaira készült bevont elektródákat tüntettük fel, de természetesen ezeknek megfelelő összetételű hegesztőanyagok más eljáráshoz is rendelkezésre állnak).

2. táblázat. Melegszilárd acélok hegesztéséhez leggyakrabban használt elektródák és jellemző összetételük

Csoport	Elektróda jele	Jellemző összetétel tömeg %-ban		
		Cr	Mo	Ni
A	FOX DMO Kb		0,5	
B	FOX DMV 83 Kb	0,4	0,9	
	FOX DCMS Kb	1,1	0,5	
	FOX CM 2	2,3	1,0	
C	FOX CM 5 Kb	5,0	0,5	
	FOX C 9 MV	9,0	0,1	0,7
	FOX 200 MVW	11,0	0,9	0,5
D	FOX CN 18/11	19,0		10,3
	FOX CN 16/13	16,0		13,0
	FOX NIBAS 70/20	20,0		70,0

Abban az esetben, ha a hegesztőanyag a két alapanyaggal azonos összetételű, ún. homogén kötésekről van szó. Gyakran előfordul azonban az az eset, amikor nem azonos jelű, illetve nem azonos csoportba tartozó alapanyagokat kell egymással összehegeszteni. Ezek az ún. heterogén kötések, amelyeknél a varrat és az alapanyagok Cr tartalma között különbség van. Ennek következtében az üzemi hőmérsékleteken diffúzió zajlik. E folyamatban legdöntőbb a C atomok diffúziója, amely a kisebb Cr tartalmú oldal felől a nagyobb Cr tartalmú oldal felé irányul. Ennek eredményeként az átolvadási vonal egyik oldalán a kisebb Cr tartalmú anyag részben karbonban szegény ferritréteg, a másik oldalon pedig karbidszemcsékben dús réteg keletkezik [2]. A króm és a molibdén, valamint a további ötvözőelemek növelik az átvezethetőséget, ezért hegesztéskor általában előmelegítés, a hegesztést követően pedig megeresztés szükséges. Ennek hőmérséklete az évszázad közepére tapasztalati, illetve kísérleti úton alakult ki, s mivel sem kellő pontosságú előmelegítő eljárás, sem pedig megfelelő hőfokmérési lehetőség nem volt, széles hőmérséklet határok váltak szokásossá. Érthető, hogy e széles határok között tetszőlegesen megvalósuló előmelegítési hőmérsékletek és a különböző adagokból gyártott alapanyagok összetételének állandó változása miatt az elkészült kötések szilárdsági tulajdonságai erősen szórhatnak.



Belátható, hogy azonos, vagy legalább közel azonos tulajdonságú kötések készítése csak az éppen hegesztésre kerülő adag összetételének pontos ismeretében kijelölt előmelegítési - és ahol szükséges, a közbeni lehítési - hőmérséklet előírásával lehetséges.

Az adag összetétele a műbizonylatból ismert, egy adott hőmérséklet beállítása szűk határok között, továbbá a folyamatos hőfokmérés pedig ma már az általánosan alkalmazott hőkezelő automatákkal megvalósítható. Ezekben a gépeken a beállított hőmérséklet \pm egy-két $^{\circ}\text{C}$ pontossággal tartható és dokumentálható.

A következő táblázatokban a beállítandó hőmérsékletek javasolt értékeit adjuk meg, illetve azokat a határokat, amelyen belül a hegesztő szakember a munkadarab méretét és a munkavégzés körülményeit mérlegelve a hőmérsékletet kijelölheti.

1. HOMOGEN KÖTÉSEK KÉSZÍTÉSE

A homogén kötések készítéséhez ajánlott elektródákról és a hegesztéssel összefüggő hőkezelésekről a 2. és a 3. táblázat ad áttekintést. E kötésfajta előnye a heterogénhez képest az, hogy összetétel és szilárdsági tulajdonságok tekintetében a kötés homogén, hátránya azonban az, hogy az ötvözőelemek növekedésével a hegyomledék - főleg a megeresztés előtt - egyre keményebb és ridegebb.

1.1. Az „A” csoportba tartozó alap- és hegesztőanyagok ötvözetlenek, vagy csak gyengén ötvözöttek. Hegesztéskor ezért előmelegítést és megeresztést általában nem igényelnek, csupán a belső feszültségek csökkentése végett ajánlott előmelegítés elsősorban abban az esetben, ha a hegesztést követően feszültségsökkentő hőkezelés nem megoldható.

1.2. Az „A”, „B” csoportba tartozó alap- és hegesztőanyagok krómmal és molibdénnel közepesen ötvözöttek. Előmelegítés nélkül hegesztve ezért erősen felkeményednek és repedhetnek. Az előmelegítés célja ezeknél az acéloknál az, hogy a hőhatásövezet α - γ átalakuláson átesett részei és a varrat hegesztés közben - az általában még megengedhetőnek tartott 300 HV keménységet még a 2,3 % Cr tartalmú acéloknál se érje el. Az éppen elkészült varratos keménysége ennél természetesen valamivel nagyobb, a későbbi sorok hőhatása azonban kissé megereszt, lágyítja azt.

Adott adagszámú acél hegesztésekor az összetételhez igazodó előmelegítési hőmérséklet a karbon egyenérték (Ce) meghatározása után jelölhető ki:

$$Ce = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + V)}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{(Ni + Si)}{15}$$

Az 1. ábra ennek függvényében adja meg az ajánlott előmelegítési hőmérsékletet. Az alsó határértékek a 10 mm-nél kisebb, a felsők a 30 mm-nél nagyobb falvastagságokra, illetve öntvényekre, valamint utólagos javításokra vonatkoznak.

Példa:

Legyen a kb. 20 mm falvastagságú 10 CrMo 9 10 jelű acél összetétele a következő:

C=0,12 %; Mn=0,6 %; Cr=2,2 %; Mo=1,00 %; Si=0,3 %.

A karbon egyenérték:

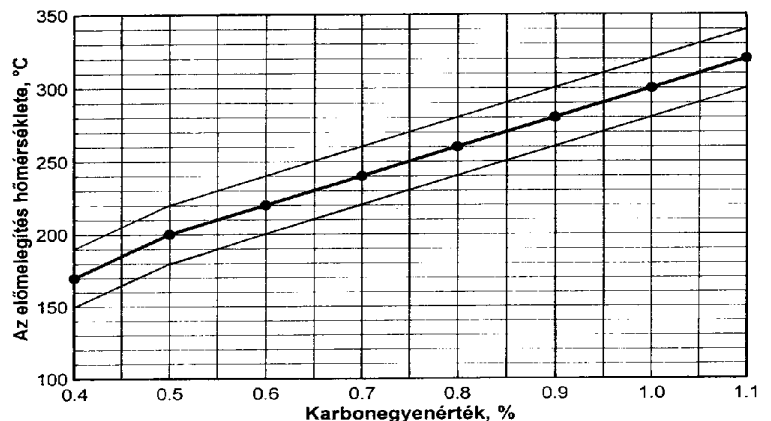
$Ce = 0,12 + 0,1 + 0,44 + 0,25 + 0,02 = 0,93$

Az előmelegítés javasolt értéke

az 1. ábrából: 286 $^{\circ}\text{C}$.

Beállítandó hőfok értéke: 290 $^{\circ}\text{C}$.

A karbon egyenértéket természetesen az alap- és a hegesztőanyagra külön-külön ki kell számolni, és az előmelegítést a nagyobb Ce értéknek megfelelően kell végezni. A varrat és a hőhatásövezet γ - α átalakuláson átesett anyagrészei hegesztés után közvetlenül 250...300 HV keménységűek, de a megeresztés hatására ez az érték 200 HV alá süllyed.



1. ábra

A melegítés sebessége 20 mm falvastagság alatt és abban az esetben, ha az alapanyag szabadon tágulhat és zsugorodhat, a 200 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ értéket is elérheti. Ellenkező esetben és öntvényeknél legfeljebb 130...150 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ legyen, de 80...90 mm-nél nagyobb falvastagságoknál 50-60 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ -nál többet ne írjunk elő.

Az ajánlott előmelegítési hőmérséklet túllépése gazdaságossági szempontból hátrányos. E mellett azonban a hűlési sebességet csökkenti, ezért bizonyos fokig kedvező, hiszen a keménység csökkentésének irányában hat. Az 1. ábrán szereplő hőmérsékletek több mint kb. 50 $^{\circ}\text{C}$ -kal történő túllépése azonban a ferrit oly nagy mennyiségű megjelenését eredményezheti, amely már a kötés szilárdsági tulajdonságát rontja.

1.3. Az „A”, „C” csoportba tartozó alap és hegesztőanyagok erősen ötvözött edzhető acélok. Légedzésűek, mert az austenitnek az Ms hőmérséklet (a martensites átalakulás kezdő hőmérséklete hűléskor) fölött oly hosszú a lappangási ideje, hogy átalakulása még napok múlva sem indul meg. Ezek a kb. 4 %-nál több krómot tartalmazó acélok. Hegesztéskor azonban a varrat és a hőhatásövezet austenitessé vált anyagrészei néhány percen belül Ms hőmérséklet alá hűlnek abban az esetben, ha az előmelegítés hőmérséklete ez alatti, s ezért ezután csak martensit alakulhatnak át további hűléskor. Az acélok Ms hőmérséklete jó közelítéssel 250...400 $^{\circ}\text{C}$ között van.

Ezeknél az acéloknál kétféle hegesztést ajánlhatunk:

1.3.1. Austenites hegesztés Az előmelegítést az Ms hőmérséklet fölött 400...450 $^{\circ}\text{C}$ -on végezzük, ezért az austenit a hegesztés befejezéséig nem alakul át. Képlékeny, tehát hegesztés közben repedésveszéllyel gyakorlatilag nem kell számolni. Hegesztés után a kötést az ún. közbeni hűtés hőmérsékletére kell lehűteni azért, hogy az austenit teljes egészében martensit alakuljon, majd ezután következhet a megeresztés. A lehűléskor azonban nagy tömegű austenit alakul át martensit és ez nagy térfogatváltozással jár, amelynek következtében jelentős a repedésveszély. Tekintettel arra, hogy az előmelegítés nagy hőmérsékletét a hegesztés teljes időtartama alatt megtartani költséges és a hegesztőt nagyon igénybe veszi, általában az ún. martensites hegesztés megvalósítására törekszünk. A hegesztéssel összefüggő hőkezeléseket ezért az



1.3.2. pontban részletezzük.

1.3.2. Martensites hegesztés Az előmelegítés hőmérséklete az Ms hőmérséklet alatt van, ezért hegesztés közben az austenit mellett martensit is képződik. Legkisebb a repedésveszély abban az esetben, ha az austenit és a martensit részaránya kb. 50-50 %. Az austenites hegesztéshez képest hegesztés közben nagyobb ugyan a repedésveszély, hűléskor azonban jóval kisebb a térfogatváltozásból adódó belső feszültség. Végeredményben a tapasztalat szerint a martensites hegesztés az említett austenit-martensit arány mellett nagyobb biztonsággal végezhető, mint az austenites hegesztés. A repedésveszély természetesen az acél C tartalmának csökkenésével kissé csökken, mert a martensit lágyabb [3].

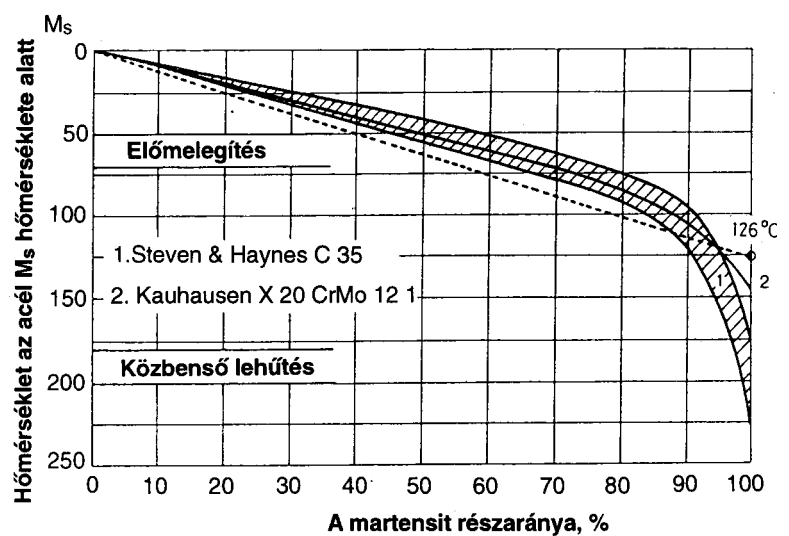
A hegesztés befejezésekor tehát a varratban és az átalakuláson átesett anyagrészekben jelentős mennyiségű austenit mindig található és a kötést a megeresztés előtt egy bizonyos hőmérsékletre le kell hűteni azért, hogy a martensites átalakulás végbe menjen. Ez az ún. közbenső lehűtés, amelynek során a keménység fokozatosan 350...400 HV értékre nő, s majd csak a megeresztés hőmérsékletén csökken 240 HV alá. A közbenső lehűtés hőmérsékletén a kötés tehát eléggé rideg, ezért a kb. 0,15 %-nál több korbont tartalmazó acéloknál szobahőmérsékletre nem is célszerű hűteni: a hőtartás befejeztével azonnali megeresztés ajánlott. Az ennél kisebb C tartalmú acéloknál megengedhető a szobahőmérsékletre hűlés, megeresztés előtt.

Az Ms hőmérséklet alatt a martensit részaránya a hőmérséklet csökkenésével a 2. ábra szerint növekszik. Bizonyos, most nem részletezett számítások egyszerűsítése végett [2] berajzolt közelítés szerint ez a növekedés kezdetben lineáris oly módon, mintha az átalakulás az Ms hőmérséklet alatt 126 °C-on be is

fejeződne, azaz 1 °C különbség a martensit tartalomban kerekén 0,8 % változást von maga után. E szerint az előbb említett 50 % martensit részarány eléréséhez az acélt az Ms hőmérséklet alá kb. 70 °C-kal kell lehűteni, Kauhausen mérései szerint kb. 50 °C-kal. A legkedvezőbbnek tartható austenit-martensit arány elérése végett e két érték számtani közepét véve alapul, a 3. táblázatban szereplő előmelegítés (Te), valamint a már előbb említett közbenső lehűtés (Tk) hőmérsékletét ezeknél az acéloknál az alábbi módon kell kijelölni:

$$T_e = M_s - 60 \pm 10 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$T_k = M_s - 190 \pm 10 \text{ (}^\circ\text{C)}$$



2. ábra A martensit részaránya a szövetszerkezetben, az MS alatti hőmérsékletek függvényében

3. táblázat. Homogén hegesztett kötések kialakítása melegszilárd acélokon

Csoport	Acél jele	Elektróda jele	Előmelegítés és munka-hőmérséklet	Közbenső lehűtés hőmérséklete °C	Megeresztés hőmérséklete °C	Megeresztés időtartama, falvastagság rmm-ként
A	St 35.8	FOX DMO Kb	20 mm falvastagság fölött 170 ±20°C előmelegítés, illetve munkahőmérséklet, vagy feszültségcsökkentő hőkezelés (620 ±20 °C/30 min/levegő) ajánlott			
	St 45.8	FOX DMO Kb				
	17 Mn 4	FOX DMO Kb				
	15 Mo 3	FOX DMO Kb				
B	14 MoV 63	FOX DMV 83 Kb	Ce karbon-egyenérték szerint (lásd 1.2. fejezet)	nincs	710±10 680±20 720±30	2,5...3,0 min/mm, de min.2 h 2,0...2,5 min/mm, de min. 0,5 h 2,0...2,5 min/mm, de min.0,5 h
	13 CrMo 44	FOX DCMS Kb				
	10 CrMo 910	FOX CM 2				
C	12 Cr Mo 19 5	FOX CM 5 Kb	Ms-60±10 (lásd 1.3. fejezet)	Ms-190 ±10 (lásd 1.3. fejezet)	745 ±15 750±20 750±10	2,0...2,5 min/mm, de min. 1 h 2,5...3,0 min/mm, de min. 1 h 2,5...3,0 min/mm, de min. 2 h
	X 10 CrMoVNb 91	FOX C9 MV Kb				
	X 20 CrMoV 121	FOX 20 MVW Kb				
D	X 8 CrNiNb 1613	FOX CN 16/13	25 mm falvastagság fölött 140 ±10°C előmelegítés ajánlott. Minden, 1 szál elektródával elkészített varrat szakasz után a hegesztés csak akkor folytatható, ha az említett szakasz hőmérséklete 180°C alá hűlt.			
	X 6 CrNiNb 1810	FOX CN 18/11				

A magasabb hőmérsékleteket a kb. 30 mm-nél nagyobb falvastagságoknál és öntvényeknél, az alacsonyabbakat kb. 10 mm falvastagság alatt írjuk elő.

Tekintettel a kb. 0,15 %-nál kisebb C tartalmú acélok nagyobb szívósságára, az ilyen acélok előmelegítési hőmérséklete a számítással meghatározott értéknél 10...15 °C-kal alacsonyabb lehet.



Az Ms hőmérséklet az acél összetételétől függ és néhány °C eltéréssel számítható [4], [5]. A különböző adagok összetétele a szabványban megadott értékhatárok között szabadon változhat és ennek eredménye az, hogy egy adott acélnál a két szélső adag Ms hőmérséklete akár 80 °C-kal is eltérhet egymástól. Abban az esetben, ha az előmelegítés hőmérsékletét az eddigi gyakorlatnak megfelelően az adag összetételének figyelembe vétele nélkül írják elő, ezen eltérés miatt az egymást követő és különböző adagból készült lemezek, csövek hegesztésekor [6]:

- a 2. ábra alapján akár 60 % változás is bekövetkezhet a martensit tartalomban, amely a repedésérzékenység erős változását vonja maga után és a kifogástalan minőségű hegesztést is kétségessé teszi;
- előfordulhat az, hogy az előmelegítést az illető adag Ms hőmérséklete alatt oly mélyen végzik, hogy hegesztés közben közel 100 % martensit keletkezik. Ez a kb. 0,15 %-nál nagyobb C tartalmú acélokban már hegesztés közben is repedést okoz, de a kisebb C tartalmúakban is erősen megnöveli a repedésveszélyt. Előfordulhat azonban az is, hogy a hegesztés az illető adag Ms hőmérséklete fölött folyik. Ilyenkor szándékunkkal ellentétben austenites hegesztést végzünk és a kötésben hüléskor repedés léphet fel: A felesleges kockázat elkerülése végett a kb. 0,15 %-nál kisebb C tartalmú acéloknál is célszerű az előmelegítés hőmérsékletét az összetételtől függően kiszámítani.

A C csoportba tartozó melegsziárd acélok Ms hőmérséklete az alábbi összefüggéssel számítható:

$$Ms = 454 - 210 \times C + 4,2/C - 27Ni - 7,8Mn - 9,5x(Cr + Mo + 1,5 Si + V + W)$$

Az összefüggésben az elemek vegyjele azok tömeg%-át jelenti.

Példa:

Számítsuk ki az 1. táblázat C csoportjában található X 10 CrMoVNb 9 1 jelű acél előmelegítési és közbeni lehűtési hőmérsékletét a két szélső összetételű adagra azzal a feltételezéssel, hogy a nikkel legalacsonyabb értéke: 0,2 %.

A legkevesebb ötvözőelemet tartalmazó adagnál: °C

$$Ms = 454 - 210 \times 0,08 + 4,2 / 0,08 - 27 \times 0,2 - 7,8 \times 0,3 - 9,5 \times (8,0 + 0,85 + 1,5 \times 0,2 + 0,18) = 393,4 \text{ °C}$$

A legtöbb ötvözőelemet tartalmazó adagnál: °C

$$Ms = 454 - 210 \times 0,12 + 4,2 / 0,12 - 27 \times 0,4 - 7,8 \times 0,6 - 9,5 \times (9,5 + 1,05 + 1,5 \times 0,5 + 0,25) = 338,6 \text{ °C}$$

Az első esetben:

$$Te = Ms - 60 \pm 10 \text{ °C, azaz kerekítve } 330 \text{ °C}$$

$$Tk = Ms - 190 \pm 10 \text{ °C, azaz kerekítve } 200 \text{ °C}$$

A második esetben:

$$Te = Ms - 60 \pm 10 \text{ °C, azaz kerekítve } 280 \text{ °C}$$

$$Tk = Ms - 60 \pm 10 \text{ °C, azaz kerekítve } 150 \text{ °C}$$

Az alap- és hegesztőanyaggyártók szerint az előmelegítés ajánlott hőmérsékletköze 200...300 °C. A példából jól érzékelhető az, hogy ha az előmelegítés hőmérsékletét nem az elméletileg megalapozott módon az összetételből számítjuk ki, hanem mindig pl. 300 °C-ban írunk elő, a több ötvözőelemet tartalmazó adagok hegesztésekor valójában austenites hegesztést végeznénk, hiszen az előmelegítés hőmérséklete 20 °C-kal magasabb lenne, mint az acél Ms hőmérséklete. A kötés hülés közben repedhetne meg. Abban az esetben viszont, ha csak 200 °C előmelegítést alkalmazunk, a kevesebb ötvözőelem tartalmú adagok hegesztésekor szinte teljes egészében martensites szövet keletkezne. A hegesztés ugyanis az Ms hőmérséklet alatt 130 °C-kal folya, és ilyenkor már hegesztés közben felléphet repedés a kötésben.

Ugyanez a helyzet a közbeni lehűtési hőmérsékletének meghatározásakor is. A gyártómű szerint ennek hőmérséklete 180 °C legyen. Ez jó közepes érték a számítással meghatározott 150, illetve 200 °C-hoz képest, adott esetben azonban az összetételből kiszámolt hőmérséklet alkalmazásával a repedésveszély tovább csökkenthető.

Belátható tehát, hogy a hegesztésre kerülő különböző adagból származó alapanyagok elfogadhatóan alacsony és mindig azonos fokú repedésérzékenysége csak az összetételből kiszámolt előmelegítési hőmérséklet alkalmazásával érhető el. Az előmelegítés hőmérsékletét tehát adagonként kell meghatározni. Ez a hőmérséklet a több ötvözőelemet tartalmazó adagoknál alacsonyabb, mint a kevesebb ötvözőelemet tartalmazóknál. Martensites hegesztésekor tehát az előmelegítés hőmérsékletének - a számítotthoz képest - emelése nem növeli a biztonságot! Az előmelegítési hőmérsékletre hevítés sebessége általában 150...200 °C/h legyen. A közbeni hűtés hőmérsékletére hüléskor a hűtés sebessége és a megeresztési hőmérsékletre hevítéskora hevítés sebessége egyaránt 100...150 °C/h legyen általában. Utólagos munkáknál, javításoknál, mozgásukban gátolt 60...80 mm-nél vastagabb részeknél az említett értékek felét célszerű beállítani.

A közbeni lehűtési hőmérsékletén a hőntartás ajánlott időtartama falvastagság milliméterenként 2,0...2,5 min.

1.4. A „D” csoportba a melegsziárd austenites CrNi acélok tartoznak. Ezek hegesztése az azonos csoportba tartozó hegesztőanyagokkal az austenites acélokhoz megszokott módon végezhető. Általában előmelegítés nélkül és kis hőbevitellel kell hegeszteni.

2. HETEROGÉN KÖTÉSEK KÉSZÍTÉSE

A bainit-martensites (B csoport) és a martensites (C csoport) hegesztőanyagok közös jellemzője az, hogy a hegesztés folyamata alatt szövetszerkezetükből következően a megszilárdult hegömladék fajlagos nyúlása alig néhány százalékos, és a megkövetelt szívósságot csak a megeresztés után éri el. Az austenites hegömledékek fajlagos nyúlása ezzel szemben már a hegesztés közben is legalább 20 %, ezért a hegesztéssel együttjáró alakváltozást jobban elviselik. Ezért jó eredménnyel használják merev, mozgásukban gátolt elemek összehegesztésekor, vagy utólagos javítások esetén és csak ilyen hegesztőanyagok jöhetnek szóba olyan kötéseknel, ahol az A, B vagy C csoportba tartozó alapanyagokat a D csoportba tartozó, austenites acélokkal kell összehegeszteni. Ez utóbbi esetben merőleges bekötéseknél felrakóhegesztés is előfordul.

Heterogén kötések természetesen azok a kötések is, amelyek olyan helyeken készülnek, ahol a gazdaságossági követelmények miatt a hőmérséklet csökkenése a rendszeren belül kevésbé ötvözött acélok felhasználását is lehetővé teszi és a különböző csoportba tartozó acélok összehegesztését nem austenites, hanem az A, B vagy C csoportba tartozó elektródákkal oldják meg.

2.1. Azonos összetételű alapanyagok összehegesztése austenites CrNi hegesztőanyagokkal

E célra az A csoportba tartozó acélok hegesztésekor gyakran használják a FOX A7 jelű (18/8/6 típusú), valamint a FOX CN 19/9 jelű (18/8 típusú) elektródákat. Számítani kell azonban arra, hogy az első varrat krómgyenértéke a felkeveredés miatt 18 alá, nikkel tartalma pedig 6...7 %



alá süllyed és ezért a varratban martensit keletkezhet. Az ilyen - valamint általában a nagyobb C tartalmú ferrit-perlites szerkezeti acélok készült - varratok szövetszerkezete a 3. ábrán található módosított Schaeffler diagram [7] alapján becsülhető előre. E diagram 18-nál nagyobb krómegyenértékű része az eredeti Schaeffler diagram és ezen részen érvényes az eredeti Nie nikkelegyenérték. Az ennél kisebb krómegyenértéknél azonban új nikkelegyenértéket (Niee) kellett bevezetni a viszonyok pontos leírására. A diagram használata a jól ismert Schaeffler diagramhoz hasonló; a varrat tisztán austenites szövetszerkezetű csak akkor lesz, ha az összetételét jelző pont a C tartalmának megfelelő határvonal fölé kerül.

Példa:

Becsüljük meg annak a varratnak a szövetszerkezetét, amelyet ötvözetlen acélon 18/8/6 típusú elektródával szándékozunk elkészíteni.

Legyen az alapanyag St 45.8: C=0,21 %; Si=0,35 %; Mn=1,2 %,

az elektróda összetétele: C=0,16 %; Si=0,50 %; Mn=6,5 %, Cr=19 %; Ni=9 %.

Tekintettel arra, hogy a Schaeffler diagram 10 krómegyenérték alatt erősen torzít [7], az ötvözetlen acél helyzete nem ábrázolható. Az ismert szerkesztési módszer nem alkalmazható, a varrat összetételét számítással kell meghatározni.

A varrat összetétele 30 %-os beolvadással számolva és az egyszerűség kedvéért kiegészítő veszteséget nem véve figyelembe:

$$\begin{aligned} C &= 0,3 \times 0,21 + 0,7 \times 0,16 &= 0,175\% \\ Si &= 0,3 \times 0,35 + 0,7 \times 0,5 &= 0,455\% \\ Mn &= 0,3 \times 1,2 + 0,7 \times 6,5 &= 4,91\% \\ Cr &= 0,7 \times 19 &= 13,3 \\ Ni &= 0,7 \times 9 &= 6,3\% \end{aligned}$$

Ebből a 3. ábrán szereplő egyenértékeket kiszámolva:

$$Cr_e = 13,3 + 0,68 = 13,98$$

$$Ni_e = 6,3 + 2,45 + 5,25 = 14,0$$

$$Ni_e B = 6,3 + 2,45 + 1,75 + 1,14 = 11,64$$

Tekintettel arra, hogy 0,1 % C tartalomnál $Ni_e = Ni_e B$ -vel, a vastag vonallal kihúzott ábra az eredeti Schaeffler diagramnak tekinthető és e szerint a $Cr_e = 13,98$, $Ni_e = 14$ koordinátákkal jellemezhető acél éppen austenites szövetszerkezetű lesz. Helyzetét az ábrán fekete pont jelöli.

A valóságban azonban jelentős martensitet tartalmaz a varrat. Ennek pontos megítélése a $Ni_e B$ nikkelegyenérték figyelembe vételével lehetséges, amely a karbon valóságos hatását fejezi ki. E szerint a 0,175 % C tartalmú varrat akkor lenne austenites, ha $Ni_e B$ értéke a kb. 13 értéket elné. Ez azonban 1,36-dal kevesebb ennél, azaz csupán 11,64. Helyzetét az ábrán fekete négyzet jelöli. A 14 krómegyenértékű és 8 nikkelegyenértékű ($Ni_e B$) acél éppen martensites, austenitessé 6 nikkelegyenérték ($Ni_e B$) hozzáadása után válna. Ebből megítélhető, hogy 1,36 nikkelegyenérték ($Ni_e B$) hiány miatt kb. 23 % martensit megjelenésére számíthatunk a szövetszerkezetben.

Az első varrat tisztán austenites szövetszerkezete csak a nagyobb Cr és Ni tartalmú hegesztőanyagok felhasználásával érhető el; e célra a FOX CN 23/12 jelű hegesztőanyagok ajánlhatók.

Az austenites CrNi hegesztőanyagokkal készült kötések azonban csak olyan helyekre felelnek meg, ahol sem az alapanyag, sem pedig a varrat összetétele a megeresztést nem teszi szükségessé (3. táblázat) és az üzemi hőmérséklet 300 °C alatt van. Ellenkező esetben ugyanis az alapanyagból a C atomok a varratba diffundálnak, ahol már a megeresztés időtartama alatt, vagy később az üzemi hőmérsékleten akár néhány tíz órán belül is kemény karbidokban dús réteg, az alapanyagban pedig széles, alacsony melegsziádsági tulajdonságú ferritréteg alakul ki és a kötés tönkremegy [8], [9]. Ezeket a hegesztőanyagokat tehát csak az A csoportba tartozó alapanyagok hegesztésekor szabad alkalmazni, a B és C csoportba tartozó alapanyagok hegesztésekor felhasználásuk nem engedhető meg.

2.2. Azonos összetételű alapanyagok összehegesztése nikkalapú hegesztőanyagokkal

A nikkal erőteljesen gátolja a C atomok mozgását és ezáltal 2...3 nagyságrenddel csökken a már említett diffúzió eredményeként keletkező rétegek (a továbbiakban: diffúziós rétegek) kialakulásának sebessége. Ezért minden olyan esetben, amikor hegesztést követően az alapanyag összetételéből következően megeresztés szükséges, vagy az üzemi hőmérséklet 300 °C fölött van, csak a FOX NIBAS 70/20 (70% Ni + 20% Cr), vagy a FOX NIBAS 70/15 (70% Ni + 15% Cr) elektródák jöhetnek számításba. Kedvező az, hogy az austenites szövetszerkezetű varrat fajlagos nyúlása hegesztés közben is 40 % körül van, melegsziádsági tulajdonságai a közepesen ötvözött melegsziárd acélokénál jobbak, hőtágulási együtthatója pedig azokéval jól egyezik.

A diffúziós rétegek vastagsága (y) a hőmérséklet (x) emelkedésével egy adott acélnál az $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$ típusú összefüggés szerint hatványozottan növekszik, egy adott hőmérsékleten azonban az időtartam (t) függvényében ez a növekedés az $y = a_0 + a_1 \ln t$ összefüggés szerint egyre lassul.

Üzemi hőmérsékletnek az a hőmérséklet ajánlható, amelyen előre láthatóan 20 év alatt sem fejlődik ki oly vastagságú diffúziós réteg, amely a kötés tönkremeneteléhez vezet. Az ajánlott legmagasabb üzemi hőmérséklet megállapításakor a mérési eredményekből meghatározott legmagasabb üzemi hőmérsékleteket 10.000 órán át hőntartott próbatestek viselkedésének megfigyelésével és 30.000...160.000 órán át üzemelt kötések vizsgálati eredményeinek birtokában pontosítottuk [10], [11].

A diffúziós rétegek növekedésének sebessége különféle acélok alkalmazásakor az alapanyag és a varrat Cr tartalma között mutatkozó különbség csökkenésével együtt csökken. Az ajánlható legmagasabb üzemi hőmérséklet ezért az alapanyag Cr tartalmának növekedésével a kísérleti eredmények és üzemi példák alapján összeállított 4. táblázat szerint növekszik.

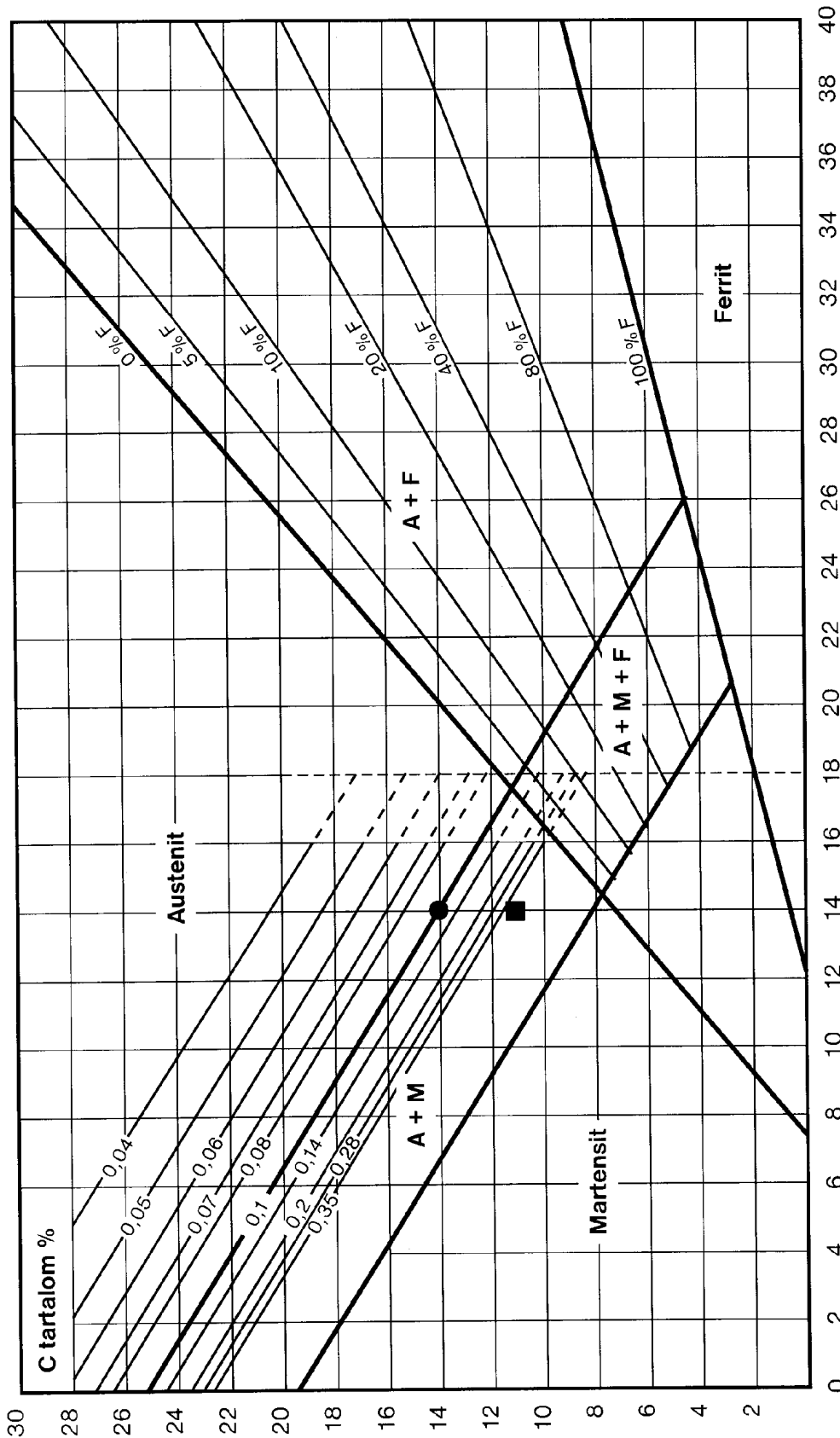
A diffúziós folyamatok szempontjából a C csoportba tartozó X 10 CrMoVNb 9 1 és az X 20 CrMoV 12 1 jelű acélok 620, illetve 630 °C is megengedhető lenne, a gyengén oxidáló füstgázatmoszférákban azonban 600 °C fölött (1. táblázat) fokozott az oxidáció sebessége.

A nikkalbázisú elektródák közül a kisebb Cr tartalmú FOX NIBAS 70/15 jelű - amennyiben valamivel gyengébb szilárdsági tulajdonságai ellenére megfelelő - kedvezőbb, mint a FOX NIBAS 70/20 jelű, mert kisebb a koncentráció különbség a varrat és az alapanyag között. A C csoportba tartozó alapanyagokat FOX NIBAS 70/15 jelű elektródával hegesztve, a kötés üzemi hőmérséklete az alapanyagokéval azonosra vehető. A Cr tartalomban mutatkozó kisebb különbség miatt egyébként az A és B csoportba tartozó alapanyagokon készült kötések ajánlott üzemi hőmérséklete 20...30 °C-kal magasabb, mint a FOX NIBAS 70/20 jelű elektródával készültké.

A diffúzió az üzemi hőmérsékletnél jóval magasabb megeresztési hőmérsékleten hatványozottan felgyorsul, ezért a heterogén kötéseknel a megeresztés időtartama a 3. táblázatban szereplő időtartamok alsó határértékeinek közelében legyen.



$$Ni_e = Ni + 0,5 Mn + 30 C$$



$$Ni_{eB} = Ni + 0,5 Mn + 10 C + \frac{0,2}{C}$$

$$Cr_0 = Cr + Mo + 1,5 Si$$

3. ábra Módszertart Schaeffler diagram



2.3. Nem azonos összetételű alapanyagok összehegesztése austenites szövetszerkezetű nikkeltötvözetű hegesztőanyaggal

Az ilyen hegesztett kötéseknel az ajánlott legmagasabb üzemi hőmérsékletet a 4. táblázatból kivehetően a kisebb Cr tartalmú alapanyag határozza meg. A kötés megeresztési hőmérséklete azonban nem lehet magasabb, mint a kisebb Cr tartalmú acél Ac1 hőmérséklete (a biztonság érdekében ez alatt legyen legalább 10...15 °C-kal!), mert ellenkező esetben a karbidok oldódásának eredményeként sok diffúzióképes karbonatom szabadul fel és a diffúziós rétegek növekedési sebessége meghatványozódik.

Az acélok Ac1 hőmérsékletei a 4. táblázatban, a hegesztéssel összefüggő hőkezelések a 3. táblázatban találhatóak. Abban az esetben, ha az egyik alapanyag austenites CrNi acél, első lépésben az előmelegítés után az A, B vagy C csoportba tartozó acél homlokfelületén (félrakohegesztés) kell FOX NIBAS 70/20 elektródával, legalább 6 mm vastag párnaréteget kiképezni, majd a szükséges megeresztést elvégezni. A második lépésben e párnaréteghez kell hozzáhegeszteni (kötőhegesztés) szintén FOX NIBAS 70/20 elektródával előmelegítés nélkül a csatlakozó austenites CrNi acélanyagot.

A FOX NIBAS 70/20 elektródával bármilyen acélra - kis beolvadást megvalósító technológiával - ráhegeszthetünk, a melegrepedés veszélye alig érzékelhető. Ha azonban erre a hegyagra bármilyen más elektródával hegesztünk rá, a melegrepedés nagy valószínűséggel nem kerülhető el!

A FOX NIBAS 70/20 jelű elektróda helyett a 2.2. fejezetben ismertetettek szerint a FOX NIBAS 70/15 jelű elektróda is megfelelő lehet.

2.4. Nem azonos csoportba tartozó alapanyagok összehegesztése nem austenites hegesztőanyagokkal

A nem austenites hegesztőanyagokkal végzett hegesztéskor a varrat és az alapanyag Cr tartalma között általában kisebb a különbség, mint a FOX NIBAS 70/20, vagy a FOX NIBAS 70/15 jelű elektródával készült varratok esetében. A hegömlédék azonban nem tartalmaz nikkelt, amely a karbon diffúziójának sebességét csökkentené, ezért a varrat-alapanyag átvadási felületének két oldalán már alacsonyabb hőmérsékleten is kifejlődhetnek azok a diffúziós rétegek, amelyek a kötés tönkremeneteléhez vezetnek. A rétegvastagságok kifejlődésére vonatkozó törvényszerűségek egyébként a 2.2. fejezetben megismerttel azonosak. Az 5. táblázatban a jellemző alapanyagokon, különböző Cr-tartalmú elektródával készült kötés javasolható legmagasabb üzemi hőmérsékletét találjuk.

5. táblázat. Ajánlott legmagasabb üzemi hőmérséklet különböző alapanyag-hegesztőanyag párosítások esetén

Alapanyag		Elektróda		Üzemi hőmérséklet °C	A megeresztés max. hőmérséklete és max. időtartama
jеле	Cr tartalma %	jеле	Cr tartalma %		
X 20 CrMoV 121	12	FOX CM 2 Kb	2,3	540	740 °C/2 h
X 10 CrMoVNb 91	9	FOX CM 2 Kb	2,3	560	740 °C/2 h
12 CrMo 19 5	5	FOX CM 2 Kb	2,3	580	730 °C/2,5 h
X 20 CrMoV 12 1	12	FOX CM 5 Kb	5,0	590	740 °C/2 h
X 10 CrMoVNb 9 1	9	FOX CM 5 Kb	5,0	600	750 °C/2 h
10 CrMo 9 10	2	FOX CM 5 Kb	5,0	560	740 °C/2 h
14 MoV 63	0,5	FOX CM 5 Kb	5,0	520	720 °C/2 h
12 CrMo 19-5	5	FOX 20 MVW	11,0	530	750 °C/2 h
10 CrMo 9-10	2	FOX 20 MVW	11,0	490	730 °C/1,5 h

Ebből kiolvasható, hogy

- a javasolható üzemi hőmérséklet annál alacsonyabb, minél nagyobb a diffúziót előidéző koncentrációkülönbség az alapanyag és a varrat Cr tartalma között. Két különböző összetételű alapanyag összehegesztésekor ezért a hegesztőanyag Cr tartalma a két alapanyag Cr tartalma közé essen.
- két olyan kötés közül, amelyekben az alapanyag és a varrat Cr tartalma között a különbség azonos - de egyiknél a varrat, másiknál az alapanyag Cr tartalma magasabb - annak a kötésnek a javasolt üzemi hőmérséklete magasabb, amelynél a varrat Cr tartalma az alacsonyabb. A varrat ugyanis mindig kisebb karbon tartalmú mint az azonos jelű alapanyag, s ezért benne mindig kevesebb a diffúzióképes szabad C atomok száma, mint az alapanyagban.
- a varrat és az alapanyag króm-tartalma között mutatkozó különbség növekedésével az üzemi hőmérséklet jelentősen csökken és az 5. táblázatban feltüntetettnél nagyobb különbség esetén a megeresztés hőmérsékletén zajló diffúzió annyira felgyorsul, hogy néhány száz órás üzemeltetést követően tönkremehet.
- csupán néhány (2...3) % különbség esetén a kötés ajánlott legmagasabb üzemi hőmérséklete a kisebb Cr tartalmú alapanyag (1. táblázat) megengedhető üzemi hőmérsékletével egyezik.

A megállapítások és az 5. táblázat adatai természetesen mindig az egyik alapanyag és a varrat között fennálló koncentrációkülönbség esetére vonatkoznak. A kötésben azonban két, különböző összetételű alapanyag között létesül kapcsolat. A kötés javasolt üzemi hőmérséklete ezért a két oldal közül a kedvezőtlenebbével azonos.

Mindezek mellett figyelembe kell venni azt, hogy a kötés megeresztési hőmérséklete nem lehet magasabb, mint a kötésben résztvevő legkisebb



Cr tartalmú alapanyag A_{c1} hőmérséklete (4. táblázat).

3. A HEGESZTÉSSSEL KAPCSOLATOS HŐKEZELÉSEKJAVASOLT PARAMÉTEREINEK TÁBLÁZATOS ÖSSZEFOGLALÁSA

A 3., 4. és 5. táblázatban foglaltak alapján a melegszilárd acélok előforduló kötésekre a hegesztéssel kapcsolatos hőkezelések paraméterei megadhatók. Annak érdekében azonban, hogy a hegesztő szakemberek munkáját megkönnyítsük, a 6. és 7. táblázatban a gyakorlatban leginkább előforduló esetekre ezeket a paramétereket jól áttekinthető formában összefoglaltuk.

A táblázatok használatához a következő megjegyzéseket tesszük:

1. A táblázatokban a jellegzetes összetételű acélok szerepelnek. Az itt nem szereplő és az ezektől eltérő jelűek összetételük alapján a megfelelő helyre besorolhatók.
2. A táblázatokban a jobb áttekinthetőség végett nem hőköz, hanem egyetlen hőmérséklet van feltüntetve. Ez irányértéknek tekintendő, illetve azon hőmérsékletnek, amely a hőkezelő automatán beállítandó.

6. táblázat. FOX NIBAS 70/20 jelű elektródával hegesztett kötések készítéséhez ajánlott paraméterek

Alapanyagok	Előmelegítés hőmérséklete C	Közbenső lehülés hőmérséklete C	Megeresztés		Ajánlott üzemi hőmérséklet (max.) C
			hőmérséklete °C	időtartama(max)h	
X20CrMoV121 • X 20 CrMoV 121 • X 10 CrMoVNb 91 • 12 CrMo 19 5 • 10 CrMo 910	M _s -60±10	M _s -190±10	750 750 750 750	3 2,5 2 1,2	600 600 590 545
X10CrMoVNb91 • X 10 CrMoVNb 91 • 12 CrMo 19 5 • 10 CrMo 910 • 14 MoV 63	M _s -60±10	M _s -190±10	750 750 750 720	2,5 2 1,2 2	600 590 545 495
12 CrMo 195 • 12 CrMo 19 5 • 10 CrMo 910 • 14 MoV 63	M _s -60±10	M _s -190±10	750 740 720	1,5 2 2,0	590 545 495
10 CrMo 910 • 10 CrMo 910 • 13 CrMo 44 • 14 MoV 63 • 15 Mo 3 • St35.8	320 250 280 240 240		720 700 720 690 690	2 1,5 2 1 1	545 520 495 480 470
13 CrMo 44 • 13CrMo44 • 14 MoV 63 • 15 Mo 3 • Sf35.8	250 250 240 240		680 700 660 660	1,5 2,5 1,5 1,5	520 495 480 470
14 MoV 63 • 14 MoV 63 • 15 Mo 3 • St35.8	280 240 240		720 700 700	2 1 1	495 480 470
15Mo3 • 15 Mo 3 • St35.8		lásd 3. táblázat			480 470
St 35.8 • St35.8					470



7. táblázat. Nem austenites elektródával hegesztett kötések készítéséhez ajánlott paraméterek

Alapanyagok	Bevont elektróda	Előmelegítés hőmérséklete ° c	Közbenső lehű- és hőmérséklete °c	Megeresztés hőmérséklete °C	időtartama (max.) h	Ajánlott üzemi hőmérséklet (max.) °C
X 20 CrMoV 121		M _s -60±10	M _s -190±10			
• X 20 CrMoV 121	FOX 20 MVW			750	3	600
• X 10 CrMoVNb 91	FOX C 9 MV			750	3	600
• 12 CrMo 19 5	FOX C 9 MV			750	2	550
• 12 CrMo 195	FOX CM 5 Kb			740	2	590
• 10CrMo910	FOXC9MV			740	1	510
• 10 CrMo 910	FOX CM 5 Kb			740	1	560
X 10 CrMoVNb91		M _s -60±10	M _s -190±10			
• X 10 CrMoVNb 91	FOX C 9 MV			750	2	600
• 12 CrMo 19 5	FOX CM 5 Kb			750	2	600
• 10 CrMo 910	FOX CM 5 Kb			740	2	560
• 14 MoV 63	FOX CM 2 Kb			720	2,5	560
12CrMo195		M _s -60±10	M _s -190±10			
• 12 CrMo 195	FOX CM 5 Kb			750	2	590
• 10 CrMo 910	FOX CM 2 Kb			730	2,5	580
• 14 MoV 63	FOX CM 2 Kb			720	2,5	560
10 CrMo 910						
• 10 CrMo 910	FOX CM 2 Kb	320		730	2	590
• 13CrMo44	FOX DCMSKb	250		700	2	560
• 14 MoV 63	FOX DMV 83 Kb	280		710	2	560
• 15Mo3	FOX DMO Kb	240		690	1	530
• St35.8	FOX DMO Kb	240		690	1	500
13CrMo910						
• 13 CrMo 910	FOX DCMS Kb	250		680	1,5	560
• 14 MoV 63	FOX DCMS Kb	250		700	2	560
• 15 Mo 3	FOX DMO Kb	240		660	2	530
• St35.8	FOX DMO Kb	240		660	2	500
14MoV63						
• 14 MoV 63	FOX DMV 83 Kb	280		720	2	560
• 15 Mo 3	FOX DMO Kb	240		700	2	530
• St35.8	FOX DMO Kb	24		700	2	500
15Mo3						
• 15 Mo 3	FOX DMO Kb					530
• St35.8	FOX DMO Kb					500
St35.8						
• St35.8	FOX DMO Kb					500

- Azoknál a kötéseknél, amelyekben legalább az egyik oldal az acélok C csoportjába tartozik, az M_s hőmérsékletet ennek összetételéből kell meghatározni.
- Homogén kötéseknél, azaz abban az esetben, ha a két összehegesztésre váró alapanyag azonos jelű, de eltérő adagszámú, a kiszámított két M_s hőmérséklet számtani középértékét vegyük figyelembe. A varratok M_s hőmérséklete általában magasabb, mint az alapanyagoké, karbon tartalmuk azonban lényegesen alacsonyabb. Az alapanyagoknál nagyobb martensit- tartalmuk ellenére kellően szívósak, ezért az előmelegítési hőmérséklet megállapításának szempontjából figyelmen kívül hagyhatók.
- Azoknál a kötéseknél, amelyeknél mindkét oldal az acélok C csoportjába tartozik, de nem azonos jelű, az M_s hőmérsékletet a nagyobb karbon tartalmú acél összetételéből kell meghatározni. A hegesztőanyag összetétele figyelmen kívül hagyható.
- A 6. és 7. táblázatban szereplő irányértékek 10...20 mm lemezvastagságra és 4 mm átmérőjű bevont elektródás hegesztésre vonatkozóan tekinthetők. Ennek megfelelően az üzemi körülmények figyelembe vételével módosíthatók, nagyobb lemezvastagságoknál pl. a megeresztés hőmérséklete 10...15 °C-kal növelhető. Vegyük azonban figyelembe azt, hogy:
 - a legfeljebb közepesen ötvözött acéloknál az előmelegítési hőmérséklet több, mint 30...50 °C- os emelése túlzott ferritképződéssel járhat, a C csoportba tartozó acéloknál pedig a javasolt értéktől eltérés bármilyen irányban a repedésveszélyt növeli,



- a megeresztés hőmérsékletének emelése vagy időtartamának növelése a homogén kötésekben a szilárdsági tulajdonságok romlását vonhatja maga után, a heterogén kötésekben pedig a diffúziós rétegek növekedését gyorsítja,
 - a megeresztés hőmérséklete nem lehet magasabb, mint a kötést alkotó alapanyagok bármelyikének valamint a varratnak az A^o1 hőmérséklete. Ezért pl. a 14 MoV 6 3 jelű acélok is csak akkor vehetnek részt a táblázatokban szereplő kötések kialakításában, ha a másik oldalnak a szokásosnál várhatóan nagyobb keménysége elfogadható,
 - abban az esetben, ha az X 10 CrMoVNb 9 1 jelű acélnak vagy varratának Nb tartalma 0,05 % fölött van, a megeresztés hőmérsékletét 760 °C-ra, ha 0,07 % fölé esik, 770 °C-ra célszerű emelni. Ezt a tényt azonban a heterogén kötések kialakításánál figyelembe kell venni és a másik oldalon olyan minőségű acélesővet kell csatlakoztatni (pl. 12 CrMo 19 5), amely ezt a megeresztési hőmérsékletet károsodás nélkül elviseli,
 - az X 10 CrMoVNb 91 és az X 20 CrMoV 121 jelű acélok hegesztési és gyártóművi katalógusokban szereplő keménységi értékei és szívóssági mérőszámai a kb. 750 °C-on végzett megeresztést követő állapotra vonatkoznak. Abban az esetben, ha a megeresztés hőmérséklete ennél alacsonyabb, 10 °C hőmérséklet-csökkenés hatására a két érték 10 % körüli mértékben növekszik ill. csökken. Olyan kötésekben, amelyek megeresztési hőmérséklete csupán 700...710 °C, még az alacsonyabb karbon tartalmú X 10 CrMoVNb 91 jelű acél keménysége is meghaladhatja a 300 HV értéket és szívóssága 40...50 J (ISO-V) alá csökkenhet. Ez a hatás a nagyobb ötvözetartalmú adagokban felerősödik, az X 20 CrMoV 12 1 jelű acélnál pedig fokozottabban érzékelhető.
7. A heterogén kötések ajánlott üzemi hőmérsékletét elsősorban a diffúziós rétegek növekedési sebessége határozza meg (4., 5., 6. és 7. táblázat), de ez a hőmérséklet nem lehet magasabb annál a hőmérsékletnél, amelyen a kötést alkotó, kisebb króm tartalmú acél fokozott revésedésnek indul.

4. TANÁCSOK

1. A hegesztéssel együtt járó melegítés hatására előmelegítéskor 1,0...1,5 mm, megeresztéskor 3,0...4,0 mm hossznövekedésre számíthatunk a felmelegített csőszakasz környezetében. A hegesztési munkák megkezdése előtt ezért a csőszakasz vonalvezetését is figyelembe véve, a lefogási pontok oldásával a várható mozgást lehetővé kell tenni. A megeresztés hőmérsékletén az acél szilárdsága oly alacsony, hogy saját súlya alatt deformálódhat. Ezért a megeresztés helyéhez a lehető legközelebb - tehát a melegítő paplanokon túl, azok közvetlen szomszédságában - alátámasztásról kell gondoskodni! Abban az esetben, ha a megeresztés környezetét súlyos szerelvények terhelik, azokat ki kell támasztani, vagy fel kell függeszteni.
2. Abban az esetben, ha a csőszakaszt előfeszített állapotban kell hegeszteni, az előfeszítést csak a varrat megeresztése után szabad megszüntetni. A megeresztés előtt ugyanis a varrat az ötvözés mértékétől függően - részben vagy egészben martensites, ezért nem terhelhető.
3. A gyök- és néhány töltővarrat elkészülte után radiológiai felvételt célszerű készíteni, mert főleg nagy falvastagságoknál a teljes varrat átvilágításakor a gyökben esetleg bezáródott apróbb hibák észrevétlenül maradnak. A felvételeken ugyanis az átvilágított anyagvastagság kb. 3 %-ánál kisebb méretű anyaghiány általában nem mutatható ki. Az ellenőrzés természetesen UH vizsgálattal is végezhető.
4. Nagy falvastagságoknál - 60...80 mm fölött - a belső feszültségek csökkentése végett a fél varratvastagság elkészülte után megeresztést és radiológiai vagy UH vizsgálatot célszerű végezni.
5. Megeresztéskor a hőmérsékletet a varrat felületén kell mérni és a hegesztés befejezése után a varratra is rá kell helyezni a fűtőpaplant. Ellenkező esetben ahhoz, hogy a varrat a szükséges megeresztési hőmérsékletet elérje, a varrattól 50...70 mm távol kezdődő fűtőpaplanok alatt az alapanyag fölösleges mértékben túlhevülhet. Mindez az erősen ötvözött acélokra, valamint nagyobb falvastagságokra fokozottan érvényes. Abban az esetben, ha 30...40 mm falvastagságú csövön készült a varrat és a melegítő paplanok széle a varrat középvonalától két oldalt 50-50 mm távol van, továbbá megeresztéskor a két paplan között csak hőszigetelő borítást alakítunk ki, a varrat keresztmetszetében és elsősorban a fűtéstől legtávolabb eső gyök részén a hőmérséklet 20...40 °C-kal alacsonyabb, mint a fűtőpaplan közepe alatt levő felületen. Az említett 30...40 mm falvastagságú cső külső és belső felülete között a fűtőpaplan alatt egyébként 10...15 °C hőmérséklet-különbség van. A megeresztést követő hűtés kb. 300 °C eléréséig vezérelt legyen, javasolt sebessége a felmelegítés sebességével azonos.
6. A hegesztés befejezése után és a megeresztés után mérhető keménységek jól elkülönülnek egymástól, ezért a megeresztés szakszerű elvégzésének ellenőrzésére a keménységmérés alkalmas. A bainit-martensites varratokban és az ilyen összetételű alapanyagok hőhatásövezetében hegesztés után 230...330 HV 10, megeresztés után 140...200 HV 10 mérhető. Az erősen ötvözött martensites varratokban, illetve alapanyagok hőhatásövezetében hegesztés után a keménység 300 HV 10 fölött van, de ez az érték a megeresztést követően 240 HV 10 alá süllyed.
7. Elsősorban télen okoz varrathibát az, ha a szabadban levő tárolóhelyről behozott argonpalackból azonnal dolgozni kezdünk. Várjuk meg, amíg a palack átmelegszik.
8. Elsősorban korrózióálló acélok AWI hegesztésekor fontos az, hogy a csőben légmozgás ne legyen. Ezért a csővezeték végeit zárjuk le, vagy alkalmazzuk az e célra kifejlesztett belső szakaszoló elemeket. A megfelelő gyökvédelem fontossága a Cr tartalom növekedésével növekszik. A C csoportba tartozó acélok hegesztésekor a belső tér semleges gázzal való kitöltése nagyban hozzájárulhat a megfelelő minőségű gyökvarrat elkészítéséhez. A szokásos formiergázok mellett a tiszta argonvédelmet is alkalmazzák. Abban az esetben, ha a belső védelmet megeresztés közben is meghagyják, a belső felületen a reveképződés gyakorlatilag elkerülhető.
9. Kistömögű acélok, pl. próbahegesztések, munkapróbák hegesztésekor előfordul az, hogy a bevitt hő hatására a teljes tömeg erősen átmelegszik. A legfeljebb közepesen ötvözött acéloknál az 1.2. fejezetben említett max. hőmérsékleteket elérve, a C csoportba tartozóknál pedig 330 °C-ot elérve, a hegesztést a túlhevülés elkerülése céljából meg kell szakítani. A munka csak akkor folytatható, amikor a hőmérséklet a beállított érték alá süllyed. Helyszíni munkáknál, hosszú csőszálak összehegesztésekor túlhevülés ritkán fordul elő, a hegesztéssel bevitt hő általában nem elegendő az előmelegítési hőmérsékleten tartáshoz.
10. Abban az esetben, ha a töltő varratok húzott sorokkal készülnek, a varratból kimunkált ütőpróbatest törési felületének síkja a varratsorokkal párhuzamos. Elsősorban az erősen ötvözött acéloknál és olyan széles varratok hegesztésekor, amikor egy réteg legalább három húzott sorból állna, jobb ütőmunka várható akkor, ha a réteg két ívelt varrattal készül. Az ívelt varratok ne mindig középen találkozzanak; az egyik ívelt sor pl. kétszer olyan széles legyen, mint a másik. A fölötte levő rétegben ugyanez az arány fordított legyen. Fontos tehát az, hogy az íveléssel készült varratok ne minden rétegnél egyöntetűen a kötés szimmetriásíkjában találkozzanak! Az ily módon készült varratból kimunkált ütőpróbatestek törési síkja a varratsorokra elvileg merőleges. Az íveléssel készült varratok készítésekor a hőbevitel ne legyen nagyobb, mint a húzotté, azaz legyen kisebb a varrat keresztmetszete! Az ívelés azonban növeli a zsugorodási feszültséget.
11. Abban az esetben, ha a megeresztés hőmérséklete az ajánlásokban szereplő hőmérséklet-tartomány alsó határhőmérsékletét nem éri el, a keménység a vártól magasabb, az ütőmunka értéke pedig a vártól jóval alacsonyabb. Erre elsősorban a heterogén kötések készítésekor kell figyelni.
12. Heterogén kötések a csővezetékek azon részébe terveznek, ahol az üzemi hőmérséklet a kisebb ötvözöttségű acél használatát lehetővé teszi.



Abban az esetben, ha a két alapanyag összetétele nagyon eltér egymástól, a megeresztési hőmérséklet az erősebben ötvözött acélnál szokásos hőmérséklet-tartomány alsó részébe esik. Elsősorban az erősen ötvözött acéloknál ezért az ütőmunka értékének csökkenésével számolni kell. Egymástól nagyon eltérő alapanyagok összehegesztése helyett célszerűbb olyan - legalább 2 m hosszúságú - közdarab betervezése, amelynek összetétele a két alapanyag közé esik.

13. AWI hegesztéskor a hegesztés környezetét a légmozgások és az időjárás viszontagságai ellen sátorral védeni kell.
14. Austenites acélok hegesztésekor ne használjunk olyan vágókorongot, amelyet másfajta acélhoz használtunk! A szerszámok austenites anyagból készültek legyenek.
15. Melegszilárd acélokat lánggal ne vágjunk!
16. Fűzővarratok készítésekor, valamint a kész vezetékeken esetleg szükséges kiegészítő elemek felhegesztésekor az előmelegítést a 3. táblázatban foglaltaknak megfelelően kell végezni!

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Böese, V., Werner, D., Wirtz, F.: Das Verhalten der Stähle beim Schweißen. Band 1. und 2. DVS Verlag, Düsseldorf, 1980 u. 1984.
- [2] Béres, L.: Austenites szövetszerkezetű párnaréteg készítése meleg-szilárd csövezeték. Hegesztéstechnika, Budapest, (4) 1993, H.3., S. 23/25.
- [3] Béres, L.: Den Stahl X 20 CrMoV 12 1 kann man martensitisch auch ohne Rißgefahr schweißen. Der Praktiker, Düsseldorf, (46) 1994, H.9. S. 480/484.
- [4] Béres, L.; Béres, Zs.: Az MS hőmérséklet meghatározása az acél összetételéből. Hegesztéstechnika. Budapest, (4) 1993., H. 4., S. 25/29.
- [5] Béres, L.; Béres, Zs.; Irmer, W.: Neue Gleichung zur Berechnung der MS-Temperatur. Schweißen und Schneiden, Düsseldorf,(46) 1994, H. 8., S. . 372/374.
- [6] Béres, L.; Irmer, W.; Balogh, L.: Melegszilárd acélok hegesztése az alapanyaggal azonos összetételű hegesztőanyaggal. Hegesztéstechnika, Budapest, (8) 1997, H. 1., S. 6/9.
- [7] Béres, L.: Austenites párnaréteg készítése edzhető acélalkatrészek. Hegesztéstechnika, Budapest, (4) 1993, H.1., S. 27/31.
- [8] Folkhard, E.: Metallurgie der Schweißung nichtrostender Stähle. Springer Verlag, Wien-New York. 1984.
- [9] Pohlre, C.: Eigenschaften geschweißter Mischverbindungen zwischen Stählen und Chrom-Nickel-Stählen. DVS-Verlag Düsseldorf, 1994.
- [10] Béres, L.; Irmer, W.: Bestimmung der zulässigen Betriebs-temperatur von Schwarz-Weiß-Verbindungen. Schweißen und Schneiden, Düsseldorf, (47) 1995, H.10., S. 807/812.
- [11] Irmer, W., Béres, L.: Diffúzió következtében megjelenő rétegek alakja melegszilárd acélok heterogén hegesztett kötéseiben. Hegesztéstechnika, Budapest, (8) 1997, H. 2., S. 6/10.

Dr. BÉRES Lajos

egyetemi docens Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék

Dr. Werner IRMER

egyetemi docens Universität Magdeburg Institut für Füge- und Strahltechnik