

Dobránszky János (MTA–BME Fémtechnológiai Kutatócsoport, Budapest), Sándor Tamás (Esab Kft., Budapes és BME ATT, Budapest)

Új trendek a korrozióálló acélok hegesztésében

Bevezetés

A rozsdamentes acélok hegesztésével kapcsolatos szerteágazó tevékenység nagyon sok szakember számára ad feladatot a gyártás, a tervezés, a kereskedelem és az oktatás területén. A mindennapi munka mellett nemigen lehet figyelemmel követni azokat a fejleményeket, amelyek az elmúlt tíz évben – különösen az utóbbi 4-6 évben – jelentősen átalakították a régi viszonyokat a rozsdamentes acélok alkalmazásában. A „hol tart a világ?” kérdésre a szakfolyóiratok figyelemmel követése mellett a legkitűnőbb lehetőséget a tematikus konferenciák szolgáltatják, de azokon részt kell venni ahhoz, hogy tájékozódni tudjunk. 2007 nyarán rendezték a „Duplex 2007” konferenciát, ez év nyarán pedig a „6. European Stainless Steel Conference”-t: az itt szerzett tapasztalatok alapján vázlatosan áttekintjük a rozsdamentes acélok gyártása, felhasználása és hegesztése területén végbement változásokat, amelyek a hazai hegesztési szakmá-

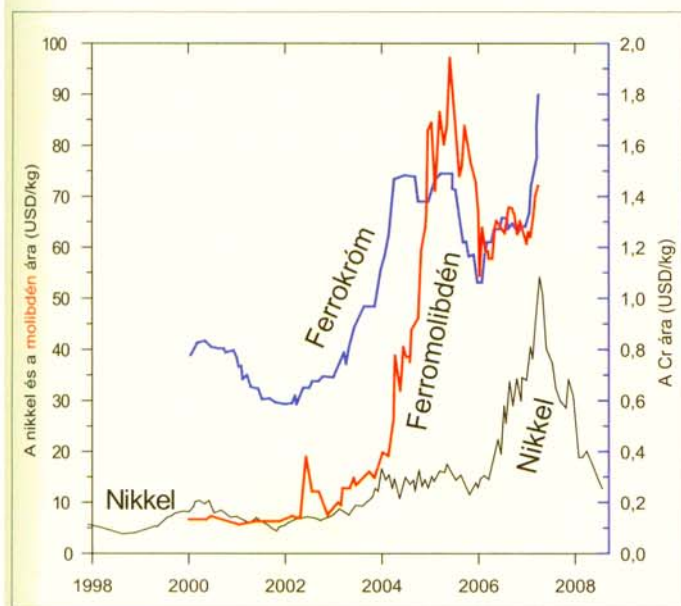
ban is már kezdik éreztetni a hatásukat. Dolgozatunk első része az alapanyagok és hegeszthetőségük, valamint a hegesztéstechnológia témaköröket tekinti át, míg a későbbiekben megjelenő folytatás a hegesztőanyagokra és az alkalmazásokra irányul.

A rozsdamentes acélok terén lezajlott átalakulások általános jellemzői

A szerkezeti anyagok felhasználása terén a rozsdamentes acélok a legnagyobb mértékű növekedést mutató anyagok közé tartoznak: 2007-ig a megelőző 30 évben átlagosan 6,5%-kal növekedett a világon felhasznált mennyiségük a megelőző évihez képest, és 2008-ra is hasonló növekedést jeleznek a szakmai szervezetek. A rozsdamentes acélok fő felhasználási területe Magyarországon is a gépipar, a vegyipar és az építőipar. Ezeket az iparágakat érzékenyen érintette a fő ötvözőanyagok árának növekedése. Az utóbbi években az ötvözők árának példátlan mértékű emelkedése és ingadozása figyelhető meg, főleg a nikkellel és a molibdén tekintetében. Az 1. ábra azt mutatja, hogy 8-10 év alatt – de főleg e periódus második felében – a Ni és a Mo ára a sokszorosára növekedett. 2006-2007 fordulóján a Londoni Fém-tőzsdén a nikkellel havi átlagára több, mint tízszerese (44000 USD/tonna) volt az öt évvel korábbinak (4200 USD/tonna), és még hónapokig tovább emelkedett, meghaladva az ötvézezer USD/tonna értéket [1, 2]. A nikkellel ára az eddig volt legnagyobb értékét éppen a 2007 júniusi duplexacélos konferenciát megelőzően alakult ki, ezért szinte minden előadás azzal kezdődött, hogy az ötvözőárak égből emelkedése miatt radikális koncepcióváltás ment végbe egy sor vonatkozásban.

Ennek az árobbanásnak a magyarázatát általában leegyszerűsítik a kínai ipar megugró keresletére, ám az alaposabb elemzések rámutatnak, hogy a konjunktúra hatásánál és a termelési költségek növekedésénél fontosabb tényező volt az alapanyagárakkal való globális pénzügyi spekuláció [1], amely jelenleg az olaj és az élelmiszerek árának megugrásában is fontos szerepet tölt be. Mindenesetre az éveken át tartó és egyre gyorsuló ötvözőár-növekedés nagy nyomást gyakorolt a rozsdamentes acélok új típusainak kifejlesztésére, és ez a folyamat természetesen hatással volt a hegesztőanyagok és a hegesztési technológia fejlődésére is.

Az ötvözők árának jelentős növekedése az ezredfordulóra kialakult anyagválasztási szempontrendszer és a megszokások újragondolására készítette a felhasználókat a vezető ipari országokban. Magyarországon ennek még szinte az előszele sem



1. ábra. A rozsdamentes acélok legfontosabb ötvözői árának változása az elmúlt 10 évben

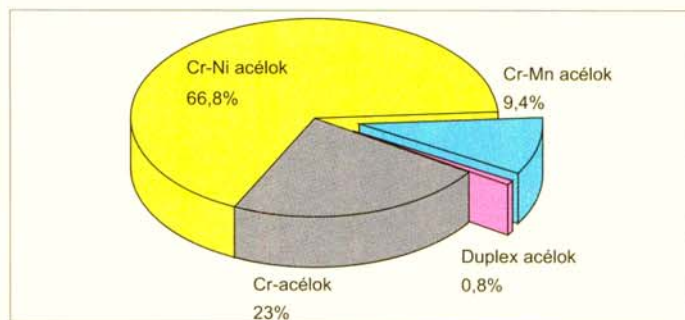
érezdik: a több évtizedes hazai szokások és az ipar bérmunkameghatározottsága miatt továbbra is egyeduralkodó az 1.4301-es ausztenites típus, a régi-jó „KO33-as” (mindenesetre ennek a hegesztése terén is érdekes folyamatok mentek végbe, amelyekről a későbbiekben szólnunk). A nagy európai rozsdamentesacél-gyártók – az ezredforduló körüli években olyan fejlesztésekbe fogtak, amelyek eredményeképpen mára lehetővé tették a felhasználók számára az alapanyagok helyettesíthetőségét a rozsdamentes acélok családján belül. A fejlesztések alapja az volt, hogy „leporolták” a már évtizedek óta ismert, nikkellel mérsékelten ötvözött típusokat, valamint új típusokkal bővítették a választékot.

A 2. ábra a rozsdamentes acélok fő termékcsoportjai közötti, 2006. évi globális megoszlást mutatja. A korábbi évek tendenciáit is elemezve elmondható, hogy a Cr-Ni (és a Cr-Ni-Mo) ötvözésű ausztenites acélok részaránya öt év alatt, 2006-ra látványosan lecsökkent, globálisan mintegy 10%-kal (3. ábra). Kína és India – különösen az utóbbi – az ausztenites acélok csoportjában előtérbe helyezte a Cr-Mn ötvözésű típusokat: ők gyártják a világtermelés 85%-át (4. ábra). Az európai gyártók is kibővítették a Cr-Mn ötvözésű acélok (az amerikai jelölési rendszerben ez a 200-as sorozat) választékát, de a gyártott és értékesített mennyiség ma még elenyésző az ázsiai termelés mellett: a 4. ábrán alig látszik a 0,1%-os részarány. A szakmai fórumokon pedig élénk viták zajlanak a Cr-Mn acélok „kritikátlan” alkalmazásának potenciális kockázatairól.

Az európai gyártók a ferrites acélok mennyiségének jelentős bővítése mellett döntöttek, és hatalmas beruházásokat hajtottak végre. Még így is 76%-ot tesz ki Európában a Cr-Ni acélok aránya, és csak 22%-ot a ferriteseké (az amerikai kontinensen több mint másfélszer ekkora), de a végrehajtott szerkezetváltás hosszú távon határozottan érzékelhető lesz.

A ferrites acélok előtérbe helyezésekor az európai gyártók ketős stratégiát alkalmaztak. Egyfelől – a ferrites acélok oldaláról – megnövelték a stabilizált típusok választékát, és kiterjesztették (korróziós szempontból) „felfelé” az alkalmazási tartományukat – különösen a Mo-t is tartalmazó típusoknál. A felhasználók körében egyre inkább ismertté válik a ferrites acélok egészen jó alakíthatósága, mélyhúzóhatósága. Az ausztenites acéloknál lényegesen jobb hővezető képességük miatt a ferrites acélok váltak a napkollektorok paneljeinek anyagává. A szerkezetváltási stratégia másik elemeként, a korrózióállósági skálán az ausztenites oldalról pedig kifejlesztették a Mo-mentes és Ni-szegény típusokat – az angolul „lean” jelzővel ellátott kategóriát magyarul nevezünk talán „sovány” duplex rozsdamentes acéloknak, ameddig nem lesz jobb javaslat –, „lefelé” terjesztve ki a duplex kategória alkalmazási tartományát. Mindennek köszönhetően mára egy széles alkalmazási tartományban lehetővé tették az európai gyártók, hogy a felhasználók akár ferrites, akár ausztenites, akár pedig duplex acélt egyaránt választhassanak ugyanarra a feladatra.

Európában, a hegesztett termékek hazai gyártóinak a fő piacán tehát megindult egy lényeges és hosszú távon ható átrendeződés, amelyre a hazai forgalmazóknak és gyártóknak is célszerű tekin-



2. ábra. A rozsdamentes acélok gyártási termékcsoportjai közötti megoszlás 2006-ban [1]

tettel lenni. Ez még akkor is igaz, ha közben a tavaly elszabadult árak konszolidálódtak, és emiatt némileg megtorpant a hazai vevők ferrites acélok iránti érdeklődése. Mivel a bér munkát végző cégek számára az alapanyagot a megrendelő előírja, a hazai rozsdamentesacél-forgalmazóknál egyértelműen megnövekedett ferrites acélok volumene: van olyan, amelyiknél tavaly meghaladta a 10%-t, és az idei már elérte a 15%-ot a rozsdamentes acélok 55-60 ezer tonnás hazai piacán.

A ferrites acélok új típusai és hegesztése

Az európai termékszerkezet-váltásnak természetesen a felhasználói oldalon is jelentkezett a folytatása, aminek a fő jellemzője az, hogy egyre fokozódó szerepet kapnak a ferrites rozsdamentes acélok. A jármű-vázszerkezetek gyártásában az autóbusz- és a vasúti jármű-gyártás nyitott leginkább a horganyzott acélok helyettesítésére, a gépkocsigyártásban pedig a kipufogórendszer anyagaként kapnak nagy hangsúlyt az új ferrites típusok. A kipufogórendszerek nagy hőmérsékleten üzemelő, korrózióknak, kúszásnak és hőfáradásnak kitett hegesztett szerkezetek. A ciklikusan változó korróziós és termikus hatásoknak (800-950 °C) az új ferrites típusok lényegesen jobban ellenállnak, mint az ausztenitesek. A felhasználói igény: kiválóan mélyhúzóható és hidroformálható lemezek, jól hajlítható csövek, melyek jól hegeszthetők. Jelentős felhasználó a cukoripar, a mezőgazdasági, az energetikai és a bányászati gépgyártás, ahol a 10,5-12,5% Cr-tartalmú típusok alkalmazása rohamosan bővül a korrózióknak és kopásnak egyszerre kitett berendezésekben.

A ferrites rozsdamentes acélok a legutóbbi fejlesztések után a következő öt csoportba sorolhatók [3]:

1. csoport: 10-14% Cr (típusok: az ASTM A240 szerinti 409 és 410), a legkisebb krómtartalmú csoport.
2. csoport: 14-18% Cr (típusok: 430), a hagyományosan legelterjedtebben használt ferrites típusok csoportja.
3. csoport: 14-18% Cr + Ti, Nb, Zr (típusok: 430Ti, 439, 441), stabilizált acélok csoportja.
4. csoport: 10-18% Cr + Mo > 0,5% (típusok: 434, 436, 444), molibdénötvözésű típusok.
5. csoport: Cr > 18% (típusok: 445, 446, 447), a nagy Cr-tartalmú és a szuperferrites acélok csoportja.

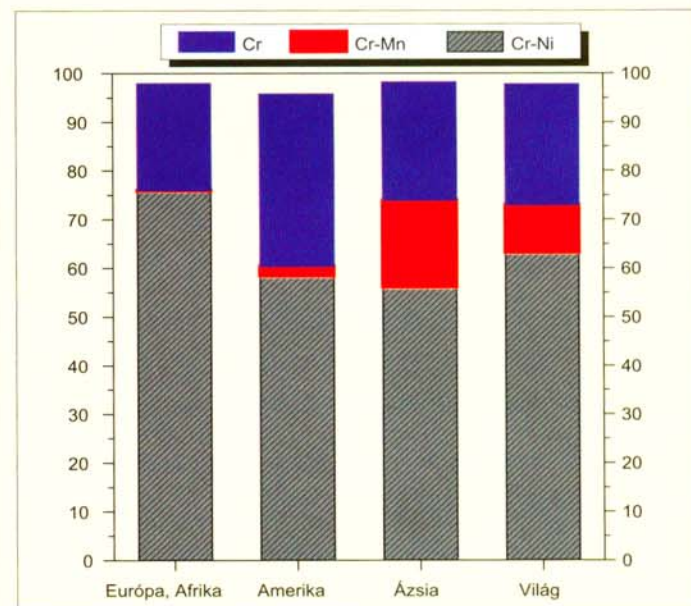
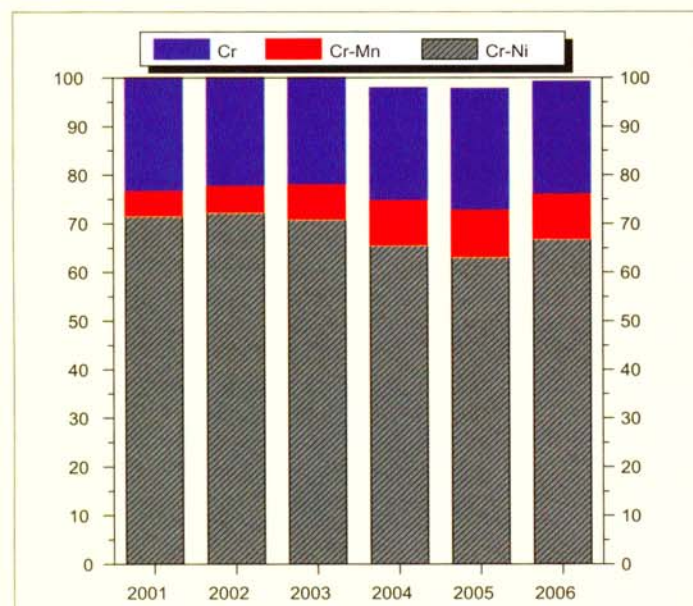
Az új generációs, stabilizált ferrites acélokkal a kristályközi korróziós kockázat kizárható, ezért széles körben teljes értékű alter-

natíváját jelenthetik a ma még rutinszerűen használt 1.4301/304 ausztenites alaptípusnak. Fontos szerepet kapnak az új, titánnal és nióbbiummal egyaránt, illetve a főleg vagy csak az utóbbival stabilizált ferrites acélok. A szóban forgó típusok: az EN 10088-2 szerinti 1.4510 – az ASTM A240 szabvány szerint 439 – (17% Cr), az 1.4595 (14% Cr), az 1.4509/441 (18% Cr) és az 1.4521/444 (18% Cr) típus. Ez utóbbinak hasonló – egyes változatoknál pedig még jobb – a PRE pittingindexe, mint az 1.4401/316 típusnak. Az 1.4521/444, az 1.413/434 és az 1.4526/436 típusok Mo-t is tartalmaznak. Éppen egy éve tette közzé az EU szabadalmi hivatala az Arcelor új, 19% Cr-tartalmú, Nb-mal stabilizált acéljának szabadalmát, amelyet 950°C feletti változó hőmérsékleten üzemelő szerkezetek anyagaként fejlesztett ki (K44X márkaneven forgalmazza) [4].

Az 1.4003-as (EN 10088-2-ben X2CrNi12, az ASTM A240-ben 410L, 3Cr12, S41003 stb.) típusú ferrites acélt a dél-afrikai Columbus Stainless dolgozta ki elsőként 1980-ban a hagyományos, 13% Cr-tartalmú 409-es típusból, amelynek a hegesztése számos kockázatot jelentett. Az utóbbi években a nagy gyártók több változatot is kifejlesztettek ebből a „legegyszerűbb” alaptípusból ki a C-, N-, Ni-, Mn-, Ti- és Nb-tartalom eltéréseivel. Lézersugaras hegesztéssel szendvicspaneleket is készítenek belőle, amelyek gyorsépítésű házak anyagaként kerülnek felhasználásra [1].

A ferrites acélok hegesztésével kapcsolatos kutatások egyik főszereplője az 1.4003 típus, amelynek hegesztéséhez 309L típusú (24% Cr, 13% Ni) ausztenites hegesztőanyagot célszerű használni. A kis C-tartalom ellenére a hegesztési varratok hőhatásövezetében kristályközi korrózió jelentkezhet, ezért a gyártók a titánnal stabilizált típusokat helyezték előtérbe. Amennyiben a stabilizálatlan típus hegesztésére kerül sor, fontos a helyes technológia alkalmazása, ami jelen esetben elsősorban a *kellően nagy hőbevitel* (legalább 300 J/mm) biztosítását jelenti. A kristályközi korrózióra való érzékennyé válás ugyanis annak a következménye, hogy a gyors lehűlés elnyomja a delta-ferrit ausztenitké alakulását, ha az anyag túl rövid ideig tartózkodik a kétfázisú tartományban (5. ábra). Emiatt nem ferrit-martenzites szerkezetű lesz a hőhatásövezet, mivel nem keletkezik martenzit a ki sem alakult ausztenitből – amely a gyűjtőhelye a szénnek –, hanem szénben túltelített ferrit alkotja, és ennek „nincs más választása”, mint a szén leadni a krómnak a ferrit-ferrit szemcsehatárokon [5].

A hőbevitel, illetve a lehűlési viszonyok akkor optimálisak, ha annyi ausztenit keletkezik, hogy az képes legyen kizárni a háló-



4. ábra. A fő termékcsoportok régiók közötti megoszlása 2006-ban (forrás: ISSF)

szerűen összefüggő ferrit-ferrit szemcsehatárok kialakulását. Ebből a szempontból nagyon hasznos ismerni a hegesztendő anyag ausztenitpotenciálját, amelyet vagy a Waxweiler-formulával [6, 7], vagy pedig a Kaltenhauser-féle ferritszám (KFF) [5, 8] reciprokával jellemezhetünk a kémiai összetétel ismeretében:

$$AP_w = 288 C + 350 N + 22 Ni + 7,5 Mn - 18,75 Cr - 54 Si + 338,5 (ha Ni = 0,42-0,56\%)$$

$$AP_k = 1/KFF = Cr\% + 6 Si\% + 8 Ti\% + 4 Mo\% + 2 Al\% - 40 (C\% + N\%) - 2 Mn\% - 4 Ni\%$$

A kutatási eredmények szerint a kristályközi korrózió elkerülése érdekében a szemcsehatármenti martenzit mennyiségének nagyobb-nak kell lennie [357 C% + 4,64] értéknél (Miyakusu-féle kritérium [9]): az 1.4003-as típusokra ez kb. 12% martenzitet jelent, de a kísérleti tapasztalatok szerint teljes mértékben csak ennek a kétszerese esetén szüntethető meg a kristályközi korrózió veszélye [5].

Auszténites acélok új típusai és hegesztésük

A rozsdamentes acélok sorában, az 1930-as években fejlesztették ki a mangánnal ötvözött auszténites típusokat, amelyeket mintegy 50 éve soroltak be az AISI 200-as sorozatba: elsőként a 6–10% Mn, 4% Ni és 0,25% N ötvözésű 201 és 202 típusokat. A koreai háború tette jóval népszerűbbé a csak 1–3% Ni-t tartalmazó 205-ös és a legfeljebb 1% nikkeltartalmú 214-es („Tenelon”) típust. A molibdén típusok (pl. 216) az 1960-as évek közepén jelentek meg, majd következtek a rézzel igen, de nitrogénnel nem ötvözött változatok (203, 211). Ennek ellenére – Indiát leszámítva – a 200-as sorozat acélja gyakorlatilag ismeretlenek maradtak a felhasználók széles köre előtt az ezredfordulóiig.

A nikkellár-robbanás azonban véget vetett a 200-as sorozat végétalásának, és a nagy Ni-árcsúcs idején az AISI 200-as sorozatba tartozó auszténites típusok végképp „visszatértek” Európába is, ahol 1.4618 típusjellel szabványos típust fejlesztettek ki; ennek összetétele is látható az 1. táblázatban, amely az ArcelorMittal, a ThyssenKrupp, az Outokumpu, az Acerinox és az Euro-Inox vezető kutató közös előadásának adataiból származik [10]. Az ázsiai piacon olyan, szinte végletesen „öcsített” acélok is szerepelnek, mint az 1. táblázat utolsó két sorában bemutatott kémiai összetételű termék a maga szokatlanul nagy S-tartalmával.

Az újonnan kifejlesztett, európai 200-as típus, az 1.4618 optimális kompromisszum költségcsökkentés (kis Ni-tartalom), illetve az alakíthatóság (csökkentett C és N, de növelt Cu) és a 304-eséhez közeli korrózióállóság között. Fontos kiemelni, hogy ezt a típust a legnagyobb európai gyártók közösen dolgozták ki, és az AISI 201-1 típus felső határára esik. Az EN10088 szabvány soron következő át-

dolgozásokkor fog bekerülni mint X9CrMnNiCu17-8-5-2 a jelenleg is ott szereplő, 1.4372 (X12CrMnNiN17-7-5) szabványos típus mellé.

Hegeszthetőségét tekintve az új európai króm-mangános acél nagyon hasonlóan viselkedik, mint a jól ismert 1.4301 (304) acél. Ellenállás-hegesztéssel 2 mm vastagságig jól hegeszthető. Volfrámelektrodás semleges gázos hegesztéssel (WSG), fogyóelektrodás inert gázos hegesztéssel (FIG), plazmaívhegesztéssel, fedettívű hegesztéssel és bevonatos elektrodával egyaránt jól hegeszthető, a hegesztőanyagai a 304-es acéloknál alkalmazott 308L(Si) vagy 347(Si) lehetnek. A védőgázos eljárásoknál a következő gázok alkalmazhatók [10]:

- Volfrámelektrodás (WSG) hegesztés: Argon, Ar + 5% H₂, Ar + He
- Fogyóelektrodás (FIG) hegesztés: Ar + 2% O₂, Ar + He, Ar + 3% CO₂ + 1% H₂
- Plazmaívhegesztés: Argon, Ar + 5% H₂, Ar + He, Ar + 2% CO₂
- Lézersugaras hegesztés: Hélium, Ar + Ni (esetleg).

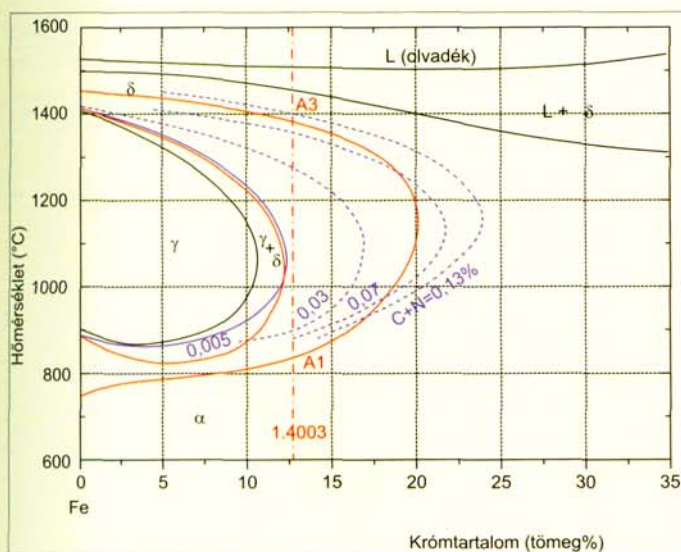
Ugyancsak új, csökkentett nikkeltartalmú auszténites típusként tekinthetünk az 1.4318 (X2CrNiN18-7, 301LN) acélra, amely korrózióállóságban a 304-essel azonos szintű, szilárdsága viszont a 201-eséhez és a duplex acélokéhoz mérhető. Nagymértékű képlékenyalakítással és az így kialakult martenzites szerkezet auszténitesítésével a 301LN ultrafinomszemcsés és nanoszemcsés változatának kifejlesztésén is dolgoznak az autópári fejlesztési célok elérése érdekében. A nano- vagy ultrafinomszemcsés anyag szemcseelválasztási hajlama miatt csak a lézersugaras hegesztés vagy a kavaró dörzshegesztés jöhet szóba.

A járműiparban gyakori, hogy auszténites acélt horganyzott szénacéllal kell összehegeszteni. Az EN 1.4318 (AISI 301LN) és a horganyzott ZStE260BH szénacél ponthegeztett kötéseinél a varratlencse teljesen martenzites szerkezetű lesz a 30–70%-os keveredési aránytartományban. Az ilyen varrat könnyen török az üzem közben kialakuló hidrogénes elrögzedés miatt. 301LN anyagú vékony lemezek átlapolat ragasztott kötéseinek és ellenállás-ponthegeztett kötéseinek vizsgálatával kimutatták, hogy a ponthegeztett kötések kifáradási határa jóval kisebb a ragasztott kötésekénél, a korróziós kifáradás terén azonban alig mutatkozott eltérés [11].

A duplex acélok új típusai és hegesztésük

A duplex acélok annak ellenére nagyon fontos szerepet töltenek be a rozsdamentes acélok körében, hogy felhasználási részarányuk a világon még az 1%-ot sem éri el. Az Avesta 1930-ban vitte piacra az első két duplex acélját, a 453E (26Cr5Ni) és 453S (26Cr5Ni1Mo) típust, amely később sok országban 329-es típusként lett szabadalmaztatva. Kevéssel ezután fejlesztették ki Franciaországban a 21Cr7Ni2,5Mo ötvözésű Uranus 50 típust. A hegeszthetőség és az önthetőség szempontjából jelentős lépés volt a nitrogénnel ötvözött változatok megjelenése (Ferralium). A széntartalom extra kis értéken tartására alkalmas AOD technológia megjelenésével (1954) az acélgyártók egy olcsó nitrogénbeviteli módszert is kaptak, és ez nyitotta meg az utat a második generációs duplexek kifejlesztéséhez, melyek alaptípusa az 1.4462 (2205). Az 1980-as években jelentek meg a szuperduplex acélok. Ezek pittingindexe legalább 40, de a sokféle és nagy mennyiségű ötvöző miatt a hegeszthetőségük nagyon problémás az intermetallikus kiválások képződése miatt. Sokáig vitáztak arról a szakmai fórumokon, hogy a Mo helyettesítése W-mal előnyös-e, és a vita azzal zárult, hogy a W hatása valójában elhanyagolható [12].

Miként a ferrites acélok belső tagolódása is megváltozott, a duplex acélokban belül is új kategóriák és a prefixumok egész sora jelent meg a hazai szakmai körökben már viszonylag ismertnek mondható „normál” és „szuper-” mellett. A „mikroduplex acél” kifejezés már viszonylag régen előkerült: az 1990-es évek közepén dolgozták ki a mai fogalmak szerint „ultrafinomszemcsés”, lamelláris szerkezetű ausztenit-martenzites turbinarotor-acélt, ez



5. ábra. A Fe-Cr fázisdiagram az 1.4003 acél esetében

azonban nem sorolható be a rozsdamentes acélok duplex kategóriájába (ennek ellenére a hegesztése rendkívül izgalmas). A tárgyhoz tartozóan is megjelentek azonban mikroduplex rozsdamentes acélok [13], amelyek elsősorban a szilárdságnövelési törekvések eredményei, és lényegük a szubmikronos tartományba eső szemcseméret. Egészen természetes, hogy ezen az úton haladva eljutunk a nanoduplex acélokhoz, amelyek nanokristályos szerkezetű anyagok: 20 nm szemcseméretű porokból kiindulva 100 nm szemcseméretű acélszalagok készíthetők hengerléssel.

Ami a korrózióállóságot illeti, ebben a tekintetben is létrejöttek új duplexacél-kategóriák, ezért jelenleg az alábbi tagolást alkalmazhatjuk [12]:

- 22% Cr-ötvözésű, Mo-nel is ötvözött duplex rozsdamentes acélok: pl. 2205 (1.4262), AL2003.
- 25% Cr ötvözésű duplex rozsdamentes acélok: pl. Sumitomo DP3, Uranus47N, Ferralium 255, Carpenter 7Mo, 44LN (1.4460).
- Szuperduplex rozsdamentes acélok: pl. Zeron 100 (1.4501), SAF2507 (1.4410), UR52+ (1.4507), DP3W, SAF2906 (1.4477), DP28W, SAF2707.
- „Sovány” duplex rozsdamentes acélok, angol elnevezésük „lean duplex stainless steels” (LDSS), amelyek Ni-szegény és Mo-mentes ötvözetek: pl. 2304 (1.4262), 19D, LDX2101, UR2202 (1.4062), V2101.

Meg kell jegyezni, hogy az AL2003 gyártója, az Allegheny Ludlum – a viszonylag nagy Mo-tartalom ellenére – az LDSS kategóriába sorolja a szóban forgó termékét, bár 19,5-22,5% Cr-t, 3-4% Ni-t és 1,5-2,0% Mo-t tartalmaz. Az AL2003 hegesztésére vonatkozóan a 2205-ösével megegyező előírásokat fogalmaztak az ASME Code Case 2503 (UNS S32003) utasításba, vagyis AWS 2209-es hegesztőanyaggal kell hegeszteni.

2003-ban alkalmazták először – hőcserélőkhöz – a 27% Cr, 7% Ni, 5% Mo és 0,4% N ötvözésű, SAF 2707HD márkajelű, a gyártó Sandvik által hiperduplexnek nevezett acélt, amelynek egyik fő fejlesztési célja a hegeszthetőségi problémák kiküszöbölés volt. A mikroszerkezet modellezésének a Thermo-Calc-kal és az ún. ab inito atomi szintű EMTO módszerekkel kiemelkedő jelentősége volt a fejlesztésben [14, 15]. A 2707-es duplexnél a „hiper” előtag azért indokolt, mert a pittingindexe kimagaslóan nagy: PRE = 49. A 2707-es hiperduplex acél hegesztéséhez külön hegesztőanyagot is kifejlesztettek. A nagy N-tartalom az ömledékben, fontos szerepet kap a gyors ausztenitképzésben, ezért 2–3% N₂-tartalmú védőgázból kell pótolni a veszteséget. A ferrittartalom 30–70% között tartása elengedhetetlen a fázisszerkezet stabilitásának és a kiválások elkerülésének érdekében. Ugyancsak jelentős szerepet játszik a teljes hegesztési folyamatban ellenőrzött hőbevitel: a

túlzottan nagy hőbevitel a kiválásoknak kedvez, a túl kicsi pedig a ferrittartalom és ezzel a króm-nitridek megugrásának. Előmelegítés (lánggal, 50–70 °C-ra) csak akkor szükséges, ha a felületi nedvesség jelenléte, lecsapódása lehetséges. Több soros/több rétegű varratoknál a rétegek közötti hőmérséklet nem lehet nagyobb 100 °C-nál. A hőbevitel biztosítandó értéke a 0,2–1,5 kJ/mm tartományba kell essen. A csövek hegesztésére a WSG (volfrámelektrodás, semleges gázos) hegesztés javasolt. A varratok kritikus lyukkorróziós hőmérséklete kiemelkedően jó: CPT = 77,5 °C, a mechanikai tulajdonságokat pedig 800 MPa folyáshatár, 950 MPa szakítószilárdság és 30% nyúlás jellemzi [16].

A duplex és szuperduplex rozsdamentes acélok hegeszthetőségét leginkább a jelentős elridegedést és korróziós problémákat okozó kiválási és ferritbomlási folyamatok határozzák meg [17-21]. Ezek mérséklése, sőt elkerülése érdekében egyre elterjedtebben alkalmazzák a vastag szelvények hegesztésére az elektronsugaras hegesztést és a kavarási dörzshegesztést [12].

A sovány duplexek közé sorolt 2304 (1.4362) acél régóta ismert típus, a nikkeltartalma miatt nem is nagyon illik ide, de valójában ezzel az 1980-as évek közepén a Sandvik által bevezetett acéllal kezdték a duplex rozsdamentes acélok Ni- és Mo-tartalmának tudatos csökkentését. Mint minden duplex, melegepedésre ez sem hajlamos. A varratok kívánatos ferrittartalmának biztosítása érdekében 1,0-2,5 kJ/mm hőbevitel és legfeljebb 150°C-os rétegek közötti hőmérséklet szükséges. Elsőként az Avesta dolgozta ki az erre az alapanyagra leginkább megfelelő, 24,5% Cr, 9% Ni és 0,12% N ötvözésű hegesztőanyagot.

A sovány duplex rozsdamentes acélok (elterjedt jelölésük LDSS) kifejlesztése terén úttörő szerepet játszott az Outokumpu – a 2007-ben 250 ezer tonnás duplexacél-világtermelés felét előállító finn gyártó –, amelynek 2001-ben szabadalmaztatott LDX2101 (1.4162) típusa jelenti az alapot a többi gyártó fejlesztései (pl. az Industeel és az Ugitech 2202/1.4062-es típusa, a Valbruna 2101-ese) számára is. Ennek hegeszthetőségével kapcsolatban ki kell emelni a többi duplexhez képest kiemelkedően jó fázisstabilitást a szigmafázis-képződéssel szemben, a 475°C-os elridegéssel azonban itt is számolni kell. A kevés ausztenitstabilizáló ötvöző miatt a gyors hűléskor az ausztenit egy része martenzitté alakulhat [22].

A kiválások mérséklésére nem igazán hatásos módszer a többsoros / több rétegű varratoknál a sok kis hőbevitellel hegesztett varrat, mivel az idő és a hőmérséklet hatása összegződik. Eredményesnek bizonyult a nagy hőbevitellel alkalmas eljárásoknak a nagy hegesztési sebességgel való alkalmazása, mert így lehet legjobban lerövidíteni a kritikus hőmérséklet felett tartózkodás időtartamát. A rétegek közötti hőmérséklet kissé nagyobb is lehet, mint a 2205-nél.

A duplex acélok eme legújabb kategóriájába tartozó acélokhoz is elkezdődött az optimális hegesztőanyagok kifejlesztése: az

Jel	Cr (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cu (%)	C (%)	N (%)	S (ppm)	Md30
1,4618	16,5-18,5	5,5-9,5	4,5-5,5	1,0-2,5	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 0,010	-57 °C
U&A / 16-7Mn	16	7,5	1,6	2,9	0,05	0,19	<10	40 °C
KTN / H400	18	6,8	3,8		0,035	0,16	7	48 °C
Nitronic 30	16	8,5	2,5		0,02	0,17		102 °C
Allegheny / 219	21	9	6	0,03	0,25			-114 °C
Acesita / P201A	15,2	9	1,1	1,7	0,1	0,1	<10	95 °C
Acesita / P300A	16,1	7,4	1,5	2,9	0,05	0,18	3	36 °C
Jindal / J1	15	7	4	1,6	0,06	0,05	60	75 °C
Jindal / J4	15,9	9,7	1	1,6	0,1	0,15	82	63 °C
NTK / D10	17,5	3,7	4,8	2,8	0,06	0,15	10	-37 °C
X1	15	9,6	1,1	1,7	0,1	0,14	123	75 °C
X2	11,3	12,8	1,1	0,08	0,13	0,05	60	176 °C

1. táblázat. A 200-as sorozatba tartozó különféle termékek jellemző kémiai összetétele. A táblázat utolsó oszlopában az alakítási martenzit képződés hőmérséklete szerepel

Avesta minden fogyóelektródás eljárásra kifejlesztette a rendeltetészerű hegesztőanyagát, a porbeles huzalt is beleértve. Ezek azonban részletes áttekintést érdemelnek, amelyre a cikkünk befejező részében, a hegesztőanyagok áttekintésekor fogunk sort keríteni.

Hivatkozások

- [1] Otto A, Pauly T: The stainless steel industry's response to new challenges ... In: Karjalainen P, Hertzmann S (eds.): 6th European Stainless Steel Conference, June 10-13 2008, Helsinki, 31-36.
- [2] Andrews SE, Loreth MJ, Rainville GD, Wimmer GW: What will the future hold raw material prices and supply and demand issues for the production of duplex and super duplex? In: Duplex 2007 International Conference & Expo, 18-20 June 2007, Grado, 75.pdf
- [3] Charles J, Mithieux JD, Santacreu PO, Peguet L: The ferritic stainless steel family: the appropriate answer to nickel volatility? In: Karjalainen P, Hertzmann S (eds.): 6th European Stainless Steel Conference, June 10-13 2008, Helsinki, 703-720.
- [4] Acier inoxydable ferritique dit á 19% de chrome stabilisé au niobium. EP1818421A1, 15-08-2007
- [5] Greeff ML, du Toit M: Looking at the Sensitization of 11–12% Chromium EN 1.4003 Stainless Steels during Welding. Welding Journal, (2006:11) 243-251.
- [6] Waxweiler JH: Process of diminishing of ridging in 17-chrome stainless steel. US Patent 2,851,384, September 9, 1958
- [7] Chalk DL: Non-riging chromium stainless steel. US Patent, 3,674,467, July 4 1972
- [8] Kaltenhauser RH: Source Book on the Ferritic Stainless Steel. ASM Engineering Bookshelf, (2008) 212-218.
- [9] Miyakusu K, Fujimoto H, Tanaka T: Ferrite and martensite dual phase stainless steel NSS431DP-1. Nisshin Technical Report (1989) 115-121.
- [10] Charles J, Mithieux JD, Krauschick J, Suutala N, Simón JA, Van Hecke B, Pauly T: A new European 200 series standard to substitute 304 austenitics? In: Karjalainen P, Hertzmann S (eds.): 6th European Stainless Steel Conference, June 10-13 2008, Helsinki, 427-436.
- [11] Alenius M, Pohjanne P, Somervuori M, Hänninen H: Exploring the Mechanical Properties of Spot Welded Dissimilar Joints for Stainless and Galvanized Steels. Welding Journal, (2006:12) 305-313.
- [12] Liljas M: 80years with duplex steels, a historic review and prospects for the future. In: Karjalainen P, Hertzmann S (eds.): 6th European Stainless Steel Conference, June 10-13 2008, Helsinki, 535-540.
- [13] G. Lothongkum, P. Wongpanya, S. Morito, T. Furuhashi, T. Maki, Effect of nitrogen on corrosion behavior of 28Cr–7Ni duplex and microduplex stainless steels in air-saturated 3.5wt% NaCl solution, Corrosion Science 48 (2006) 137–153.
- [14] Nilsson J-O, Chai G, Kivisäkk U: Recent development of duplex stainless steels. In: Karjalainen P, Hertzmann S (eds.): 6th European Stainless Steel Conference, June 10-13 2008, Helsinki, 585-597.
- [15] Vitos L, Korzhavyi PA, Nilsson J-O, Johansson B: Stacking fault energies of austenitic stainless steels from first-principles theory. In: Karjalainen P, Hertzmann S (eds.): 6th European Stainless Steel Conference, June 10-13 2008, Helsinki, 327-328.
- [16] Göransson K, Nyman M-L, Holmquist M, Gomes E: Sandvik SAF 2707 HD (UNS S32707): a hyper-duplex stainless steel for severe chloride containing environments. Revue de Metallurgie, (2007:9) 411-417.
- [17] Komócsin M: A duplex szerkezetű korrózióálló acélok és hegesztésük. Hegesztéstechnika, 4 (1993:2) 41-46.
- [18] Frigyk G: Kiváló folyamatok a duplex acélban. XX. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencia, Kecskemét (2002) 16-18.
- [19] Frigyk G, Béres L, Ladányi P: Duplex acélok újrakristályosodásának vizsgálata, XVI. Hőkezelő Országos Konferencia, Székesfehérvár, 1995. 18-24.
- [20] Komócsin M: Duplex szerkezetű korrózióálló acélok hegesztése. Gép, 59 (2008:1) 24-27.
- [21] Neumaier P: Ausztenites és duplex acélok ferrittartalmának gyors, helyszíni meghatározása. Bányászati és kohászati lapok. Kohászat, 125 (1992:7-8) 270-273.
- [22] Holmberg B, Liljas M, Hägg F: Consequences on welding procedures when changing material from austenitic to duplex stainless steel. In: Duplex 2007 International Conference & Expo, 18-20 June 2007, Grado, 97.pdf

Halász Gábor, Messer Hungarogáz, hegesztés-vágás szaktanácsadó