

A HEGESZTETT SZERKEZETEK KONVENCIONÁLIS ÉS KORSZERŰ NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLJAINAK RENDSZEREZÉSE ÉS HEGESZTÉSI NEHÉZSÉGEI

CLASSIFICATION AND WELDING DIFFICULTIES OF CONVENTIONAL AND ADVANCED STEELS FOR WELDED STRUCTURES

Dr. Balogh András*, Gáspár Marcell**, Prém László**

Abstract

In the last three-four decades steel as the most important base material of present and future welding structures has progressed in unimaginable measure. Steel grades developed on new theoretical bases and manufacturing procedures can not be listed into the traditional categories, while new and widely accepted grouping system does not exist. Focusing on automotive steel sheets and on the medium and thick plates of the moving or mobile welded structures a new classification system was elaborated. The new system is based on the k_m material constant can be calculated as the product of R_m ultimate tensile strength and the A_1 total elongation, therefore it can be applied not only for conventional high strength steels (CHSS) but for the available first, and the presently developed second and third generations of advanced high strength steels (AHSS). Arc and resistance welding tasks of the CHSS and AHSS have brought new welding difficulties to the surface, whose solution seems not to be a simple matter.

1. Bevezetés

A világ országainak anyagfelhasználási adataiból jól látható, hogy a korszerűnek tekintett szerkezeti anyagok (elsősorban a kompozitok és polimerek) bizonyos fokú térnyerése mellett ma is a fémek és fémötvözetek (továbbiakban a rövidség kedvéért a *fémek*) tekinthetők a legfontosabb szerkezeti anyagnak és a gyártási adatok, valamint a felhasználási trendek arra utalnak, hogy ezen a téren az elkövetkezendő évtizedekben sem lesz jelentős változás [1].

A hozzáférhetőség, a komplex tulajdonságok és nem utolsósorban az árviszonyok komplex nézőpontjából könnyen belátható, hogy a 21. század elején, a fémcsoporton belül az acélok (mint vasötvözetek), valamint kisebb mértékben az alumíniumötvözetek, esetenként extra célokra a nikkel- és titánötvözetek tekinthetők a mérnöki célokra leginkább alkalmas szerkezeti anyagoknak.

* egyetemi docens

** PhD hallgató

A vasérc előfordulási gyakorisága, az acél jól kidolgozott és nem túl bonyolult előállítási technológiája, kiváló fizikai és mechanikai jellemzői, jó feldolgozhatósága, tartóssága, sokfélesége, az acélhulladék egyszerű újrahasznosítási lehetősége az acélt a jelenkor és a közeljövő legfontosabb szerkezeti anyagává teszi. Állításunkat azzal a példával illusztráljuk, amely szerint egy többféle anyagféleséget tartalmazó tipikus tömeggyártmányban (egy 2010-es átlagos autóban) legalább 64 % acél található [2].

2. Szilárdság szerinti acélcsoportosítás

A tervezők (és bizonyos mértékig a felhasználók) számára a legfontosabb információ az acél szilárdsága. Az acélok szilárdság szerinti csoportosítására történelmileg több fogalom (nagyszilárdságú; növelt folyáshatárú; nagyszilárdságú, alacsonyan ötvözött (HSLA)) terjedt el, amelyek ma már elavultak, vagy értelmezési zavarok miatt félrevezetőek. A 20. század végén például a 355 MPa-t meghaladó folyáshatárú acélok nagyszilárdságúnak számítottak, és pl. a hidépítésben vagy más élenjáró hegesztett szerkezeteknél is nehezen terjedtek a 420 és 460 MPa szilárdság-kategóriájú acélok.

A nagy változást részben a saját tömeg csökkentésére irányuló törekvések (önmozgó vagy szállított szerkezetek, mint a közúti járművek, daruk, földmunkagépek, hadiipari termékek), részben a megnövekedett acéligény és a gyártókapacitások közötti egyensúly megbomlása (Kína, Korea, India acéléhsége [1, 4, 5]) indította el. Soha nem látott mértékben gyorsult fel az acélok (főként a hegesztett szerkezetek acéljainak) szilárdságnövelése.

Jó példa a szilárdságnöveléssel együtt járó tömegcsökkenésre, hogy a világ dinamikusan növekvő autógyártása ellenére az autóipar által igényelt és felhasznált acélmenyiség mértékadó prognózisok szerint a következő 10 évben a jelenlegi évi 120 millió tonnában állandósul [2]. Ez a mennyiség hozzávetőlegesen a világ egy havi acéltermelésével, vagy Kína évi acéltermelésének kétszeresével egyenlő [5].

Érdekes vonás, hogy a közelmúltban a szilárdságnövelést már nem a drága makroötvözéssel kívánták megoldani, hanem mindenekelőtt az acélokra vonatkozó fémteni ismeretek széleskörű felhasználására, a kikészítési technika fejlesztésére (üstmetallurgia, mikroötvözés, zárványalak szabályozás, vákuumozás) mellett új gyártástechnológiai

elvek (termomechanikus kezelések, szemcsefinomító és nemesítő, vagy kvázinemesítő hőkezelések) alkalmazására (vagyis olcsóbb megoldásokra) törekedtek [3]. Az eredményül kapott acélstruktúra a hegesztési folyamatban károsodik és későbbiekben nem reprodukálható, ezért a hegesztheséget a karbontartalom alacsony értéken tartásával, az egyenértékű karbontartalom korlátozásával, a szennyezőanyagot erőteljes csökkentésével és az alkalmazható falvastagság felső határának limitálásával kívánták javítani [4].

Az acélok szilárdság szerinti csoportosítására ma még nincs egységes álláspont. Ilyen csoportosítási rendszer megalkotása az acélgyártásban mértékadó országok földrajzi elhelyezkedése, az SI-től eltérő mértékegységek használata, felfogásbeli különbségek (tudományos iskolák

eltérései) és a gyorsan változó acélválaszték miatt nagy nehézségekbe ütközik. Az is problémás, hogy a szilárdsághatárok elméleti jellemzőkhöz nem, vagy csak áttételesen köthetők, ezért a határértékek különféle megfontolásokra hivatkozó deklaráción alapulnak.

2.1. Konvencionális acélok és konvencionális nagy-szilárdságú acélok

Az egységes és széles körben elfogadott szilárdságcsoportosítás hiányában a konvencionális [*conventional*] jelzővel különböztetjük meg az ebbe a körbe tartozó acélokat az újonnan fejlesztett, korszerű [*advanced*] acéloktól). A hegesztheső acélok csoportosítására az 1. táblázatban bemutatott, az amerikai szilárdságegységben kifejezett határokat is figyelembe vevő javaslatot tesszük.

Szilárdsági osztály	Angol rövidítés	Szakító-szilárdság R_m , MPa	Szakító-szilárdság R_m , ksi	Folyáshatár $R_{p0.2}$ MPa	Anyagkonstans $k_m = R_m \cdot A_1$
Kis-szilárdságú acél	LSS	250-400	<60	<275	10000
Közepes-szilárdságú acél	MSS	400-600	60-90	275...500	10000
Nagy-szilárdságú acél	HSS	600-1200	90-180	500...1000	10000
Ultra-nagy-szilárdságú acél	UHScS	1200-	>180	>1000	10000

1. táblázat: A konvencionális acélok szilárdsági osztályai

2.2. Elsőgenerációs korszerű nagyszilárdságú acélok

A jól ismert és régóta felhasznált konvencionális nagyszilárdságú acéloktól (amelyeket közismertségüknél fogva legtöbbször a konvencionális jelző nélkül emlegetünk) a korszerű (nagyszilárdságú) acélokat az különbözteti meg, hogy fejlesztésükkor a tervezési (szilárdsági) követelmény mellett a gyártásra való alkalmasságra (adott esetben a szakadási nyúlással jellemzett alakváltozóképessegre) is kiemelt figyelmet fordítottak [6].

A fém(ötvözet)ek (köztük az acélok) általános tulajdonsága, hogy a szilárdsággal fordított arányosan csökken az alakíthatóságuk, vagy más szóval képlékenységük. Ha a szilárdsági jellemzőnek a szakítószilárdságot (R_m), alakváltozási jellemzőnek az l jeltávon (l jeltáv egyezményesen 80 mm, vagy a próbatest átmérőjének ötszöröse, illet-

ve tízszerese) mért (százalékos) szakadási nyúlást (A_1) választjuk, akkor jó közelítéssel:

$$R_m \cdot A_1 = \text{const} \quad (1)$$

Nevezzük az acélcsoportra jellemző állandó értéket anyagkonstansnak és jelöljük k_m -mel:

$$R_m \cdot A_1 = k_m \quad (2)$$

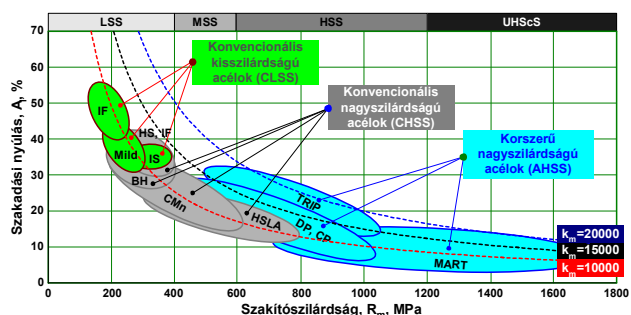
Az ábrázolásnál szokásos $A_1 - R_m$ síkon egy hiperbolikus függvényt kapunk eredményül:

$$A_1 = \frac{k_m}{R_m} \quad (3)$$

A [7] diagramját alapként felhasználó 1. ábrán jól látható, hogy a különféle acélcsoportok az $A_1 - R_m$ síkon a (3) összefüggést követő hiperbolikus sávban helyezkednek el. (A különféle acélok angol nevét és rövidítését a 2. táblázat tartalmazza).

Jel	Acéltípus	Jel	Acéltípus
IF	Interstitial Free	CMn	Carbon Manganese
MILD	Mild	HSLA	High Strength Low Alloy
IS	Isotropic	DP-CP	Dual Phase - Complex Phase
BH	Bake Hardened	TRIP	Transformation Induced Plasticity
IF-HS	Interstitial Free -High Strength	MART	Martensitic

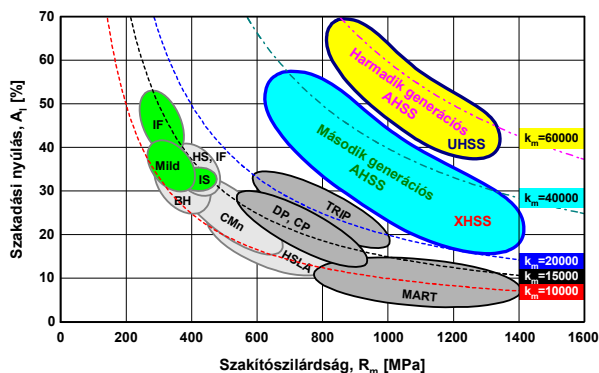
2. táblázat: A konvencionális kisszilárdságú (fekete), a konvencionális nagyszilárdságú (zöld) és a korszerű nagyszilárdságú acélok (kék) jelölései



1. ábra: Különböző konvencionális és korszerű nagyszilárdságú acélok a szakadási nyúlás - szakítószilárdság diagramban

Nagyszámú acélminőség statisztikai feldolgozásával úgy találták, hogy a konvencionális acélokra az anyagkonstans jó közelítéssel és kerekítéssel 10000 MPa % értéket vesz fel. Szemléltetésként az 1. ábrába berajzoltuk a 10000, 15000 és 20000 MPa %-hoz tartozó k_m görbéket. Az ábra arról tanúskodik, hogy a konvencionális kis-, közepes-, nagy- és ultranagy-szilárdságú acélok a 10000-es hiperbolán helyezkednek el. A korszerű acélok közül a MART acélok mezejének középvonala ugyanerre a 10000-es hiperbolára illeszkedik, ugyanakkor DP-CP acélok a 15000-es görbéhez, a TRIP acélok a 20000-es görbéhez közel helyezkednek el.

Chung és Kwon láthatóan ugyanazt a forrásdiagramot felhasználva a DP és CP acélokat a 2. ábrán látható módon a 15000-es, a TRIP acélokat a 20000-es hiperbolára helyezi el [8]. A különbségek egyik fő forrása az időközben az acélgártásban bekövetkezett fejlesztésekben, másik a próbatetek jeltávolságának eltéréseiben kereshető: a rövidebb jeltávon mért szakadási nyúlások általában (minden olyan esetben, amikor a szakadási helyen az egyenletes nyúlást meghaladó nyúlás jön létre) nagyobbak, mint a hosszabb jeltávhoz tartozók. A probléma csökkenne, ha mindenütt 10 mm-es próbatest-átmérőt és azonos (pl. 80 mm hosszúságú) jeltávot használnának.



2. ábra: A második ($k_m=40\ 000$) és harmadik generációs ($k_m=60\ 000$) korszerű nagyszilárdságú acélok a szakadási nyúlás - szakítószilárdság diagramban

A 2. ábrán a kisszilárdságú acélok (LSS, világoszöld) és a konvencionális nagyszilárdságú acélok (CHSS, világoszürke) szín szerint is elkülönülnek az elsőgenerációs nagyszilárdságú acéloktól (AHSS, sötétszürke). Ebben a vonatkozásban a jelölés meglehetősen következetlen, mivel a k_m anyagállandóra alapozott osztályozási rendszerben a $k_m=10\ 000$ -es hiperbolán elhelyezkedő martensites (MART) acélok nem nevezhetők *korszerűnek*; ezek valójában az újonnan (legalábbis a jól ismert HSLA acélok után) kifejlesztett *konvencionális*, nagyszilárdságú acélok (CHSS) kategóriájába kellene, hogy tartozzanak.

A $k_m=15000$ -es és a $k_m=20000$ -es hiperbola (az 1. ábrán encián színű) acéljai a konvencionálishoz viszonyítva növelt képlékenységgel rendelkeznek, ezért ezeket már joggal nevezhetjük *korszerűnek*. Feltehető, hogy néhány év múlva, amikor a korszerű nagyszilárdságú acélok második és harmadik generációja már minden bizonnyal több acélcsaládot fog tartalmazni és elterjedtebb lesz, valószínűleg, mint *kvázi korszerű nagyszilárdságú acélok*, vagy mint *átmenet a korszerű nagyszilárdságú acélok felé* elnevezést fogják reálisnak tartani.

A rendszerezési szempont következetes alkalmazása azt követeli, hogy az előző két bekezdésben megnevezett acélokat (vagyis a HSLA acélok után kifejlesztett minden olyan acélt, amelyek nagyszilárdságuk és anyagkonstansuk nem haladja meg a $k_m=20\ 000$ -t, elsőgenerációs nagyszilárdságú acél (AHSS) csoportnévvel különböztessük meg.

2.3. Második és harmadik generációs korszerű nagyszilárdságú acélok

A valódi korszerű nagyszilárdságú acélok a $k_m=40\ 000$ -es (második generációs, vagy extra-nagyszilárdságú acélok) és a ma még kissé utópisztikus $k_m=60\ 000$ -es (harmadik generációs, vagy ultra-nagyszilárdságú acélok) hiperbolá-

hoz tartoznak. Mindkét acélcsoport tagjai a szilárdságukhoz képest igen nagy (az első generációs korszerű nagyszilárdságú acélokhöz viszonyítottan legalább kétszeres, illetve háromszoros) alakváltozóképeséggel (szakadási nyúlással) jellemezhetők (3. táblázat).

Szilárdsági osztály	Angol rövidítés	Szakító-szilárdság R_m , MPa	Szakító-szilárdság R_m , ksi	Folyáshatár $R_{p0,2}$ MPa	Anyag-konstans $k_m=R_m \cdot A_1$
Második generációs (extra-nagyszilárdságú) korszerű acélok	XHSS	600-1400	90...200	500...1300	40000
Harmadik generációs (ultra-nagyszilárdságú) korszerű acélok	UHSS	850-1400	120...200	700...1300	60000

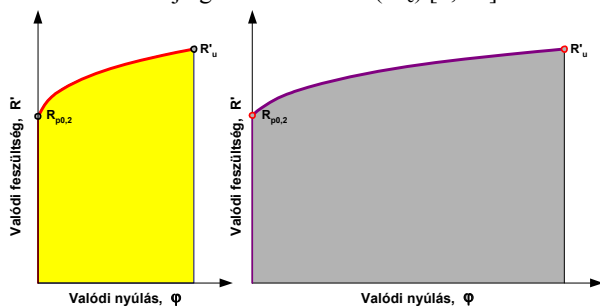
3. táblázat: A korszerű nagyszilárdságú acélok (AHSS) második és harmadik generációja

Ez a nagy képlékenység az acéloktól szinte elképzelhetetlenül szokatlan és a háttérben valós 21. századi elméleti felfedezések és acélgyártási innovációk sorozata kell, hogy álljon.

3. A k_m anyagállandó fizikai tartalma

A korszerű nagyszilárdságú acélok kifejlesztését az autógyártók kezdeményezték abból a célból, hogy a nagy szilárdság mellett az acélok egyidejűleg (képlékenyen) jól alakíthatók is legyenek. Ez a törekvés járulékosan egy újabb fontos anyagtulajdonság javulásával is járt. Ennek bizonyítására a 3. ábra szolgál.

Az ábra azt mutatja, hogy azonos szilárdságú, de különböző szakadási nyúlású acélok esetében a $R'-\varphi$ síkon a függvénygörbe alatti terület nagyon különböző, vagyis a próbatetek töréséig különböző munkát kell az acél próbatestbe bevezetni. Ebből a tényből kiindulva az 1960-as évek elején Gillemot az acélok szívósságának jellemzésére bevezette a fajlagos törésmunkát (W_c) [9, 10].



3. ábra: Azonos szilárdságú, eltérő alakváltozóképeségű acélok valódi feszültség-valódi (maradó) nyúlás diagramja. A függvénygörbék alatti terület a fajlagos törésmunkával arányos

A fajlagos törésmunka (J/cm^3 mértékegységgel) a beteszés nélküli, sima szakító próbatest esetében a külső erők egységnyi térfogatra vonatkoztatott munkáját jellemzi a szakadás helyén. Az állapotjellemzőktől (hőmérséklet, terhelési sebesség, feszültségállapot) függő fajlagos tö-

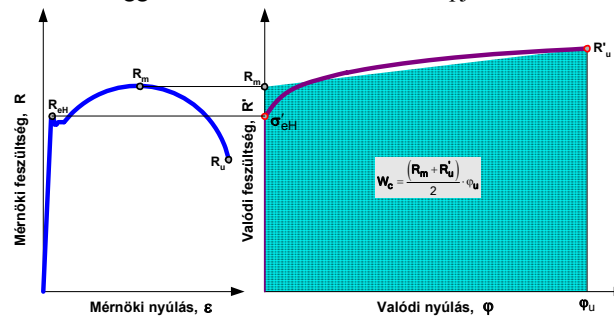
rémunka az anyag szívósságát jellemző szerkezet-érzékenlen mérőszám [11]. Szakító próbatestnél ez a munka jó közelítéssel megegyezik a képlékeny alakváltozási munkával, amely a következő összefüggéssel számítható:

$$W_c = \int_{L_0}^{L_u} \frac{F \cdot dL}{V} = \int_{L_0}^{L_u} \frac{F \cdot dL}{S \cdot L} = \int_{\varphi=0}^{\varphi_u} R' \cdot d\varphi \quad (4)$$

A (4) összefüggés ténylegesen a valódi feszültség - valódi nyúlás diagram alatti területet jelenti, amit numerikus integrálással vagy planimetrálással lehet pontosan meghatározni. Közelítő számítására több módszer ismert, amelyek közül itt most a legegyszerűbbnek látszó *Markovec* féle összefüggést emeljük ki [12]:

$$W_c = \frac{(R_m + R'_u)}{2} \cdot \varphi_u \quad (5)$$

Az összefüggés származtatása a 4. ábra alapján követhető.

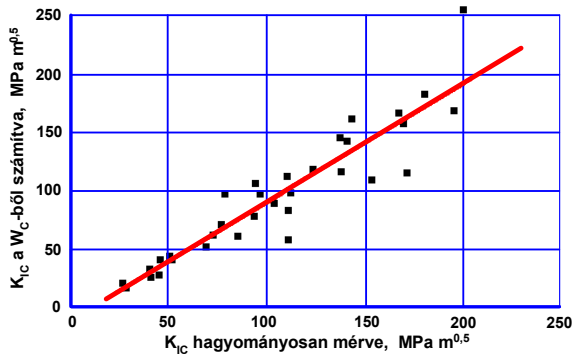


4. ábra: A fajlagos törésmunkával arányos diagram alatti terület és közelítése

A 4. ábra bal és jobb oldali részét és a görbe alatti területet megadó integrálokat összehasonlítva látható, hogy a mérnöki feszültség-mérnöki nyúlás diagram alatti terület nem egyezik meg a valódi feszültség-valódi nyúlás diagram alatti területtel, de mivel a kétféle feszültség és a kétféle nyúlás között matematikai összefüggés áll fenn, a mérnöki rendszer diagramja alatti terület arányos a törésmunkával. További közelítéssel a diagram alatti

terület az $R_m \cdot A_f$ szorzattal vagyis a k_m anyagállandóval helyettesíthető. Ezzel kimondható, hogy az anyagállandó és a fajlagos törésmunka között szoros kapcsolat áll fenn, tehát az acélok anyagállandója egyféle szívóssági mutatónak fogható fel.

Gillemot L. munkatársai (Czoboly, Havas, Gillemot F.) kimutatták, hogy a fajlagos törésmunka és egyes törésmechanikai mérőszámok között bizonyos körülmények között szoros kapcsolat van [10]. Az 5. ábra szerint pl. a fajlagos törésmunka és a K_{IC} törési szívósság között lineáris regresszió áll fenn.



5. ábra: A fajlagos törésmunkából számított és a hagyományosan mért K_{IC} értékek összehasonlítása

4. A fajlagos törésmunka és a töréskeresztek

A fajlagos törésmunka az anyagok képlékeny töréséhez tartozó jellemző. Könnyen belátható, hogy a komplett autók, vagy az autók főelemeinek töréskeresztjének (ahol a képlékeny törés dominál) eredménye a tervezési megoldásokon (mechanikai oldal) kívül nagymértékben függ az ütközéssel károsított anyagok fajlagos törésmunkájától (anyagoldal). Az ütközéskor az autózás fő szerkezeti elemei rugalmasan, majd képlékenyen deformálódnak, miközben az alakváltozáshoz szükséges energiát elnyelik. Mivel az előzőekben bemutatott gondolatmenet szerint a k_m anyagjellemző a (nem-rugalmas) törésmunkával összefüggésben van, ezért a korszerű anyagok szerkezeten belüli ütközési viselkedésének előzetes jellemzésére és ezen túlmenően acélfejlesztési és anyagkiválasztási szempontként használható fel.

5. A korszerű nagyszilárdságú acélok hegesztési viselkedése

Az acélok fejlesztésekor az elsődleges cél a szilárdságnövelés volt, amihez az autógyártási igények kielégítésére a jövőben kifejlesztendő korszerű nagyszilárdságú acélok (XHSS és UHSS) esetében az alakíthatósági szempontot párosították. Az is látható, hogy csak azoknak a korszerű acéloknak van/lesz sikere, amelyek a piac által elfogadható költséggel gyárthatók.

Ugyanakkor azt is látni kell, hogy a konvencionális nagyszilárdságú és a korszerű nagyszilárdságú acélok fejlesztésekor a fő (gazdasági és mechanikai) szempontok mellett

a jó hegeszthetőség biztosítása annak ellenére is csak másodlagos volt, hogy ezeket az acélokat hegesztett szerkezetekben (elsősorban önjáró és mozgatott szerkezetekben) alkalmazzák.

Milyen hegeszthetőségi nehézségekkel kell számolnunk ezeknek az acéloknak a hegesztésekor?

1. A konvencionális nagyszilárdságú acélok alacsony képlékenységi tulajdonsága fokozott repedésveszélyt prognosztizál, ami a hegesztőmérnökök rémálma és elhárítása költséges és fegyelmezett gyártást igényel (előmelegítés, szabályozott hűlésidő, húzott varratok, rétegek közötti hőmérséklet, minőségfelügyelet, személyi és berendezési feltételek). A korszerű nagyszilárdságú acélok nagyobb nyúlásából eredően ez a probléma előre láthatóan mérsékeltebb lesz.

2. Az acélgártók minimális makro- és mikroötvözés mellett összetett gyártási technológiával (szabályozott (hengerlési) megalakítás és bonyolult hőkezelések) operálnak, amelyeknek az eredménye olyan instabil anyagszerkezet (szemcse- és szövetszerkezet, rácshibák), amelyet az egyes sorokhoz tartozó hegesztési hőciklusok többnyire rossz irányba változtatnak és ezek a változások sem a hegesztés során, sem a hegesztés után nem állíthatók vissza.

3. Az exogén ömlesztő hegesztés hozaganyagai a hegesztés során megolvadnak, majd kristályosodnak, ezért ugyanazon az elven nem gyárthatók, mint az alapanyagok. A hozaganyagok megfelelő szilárdsági és főként képlékenységi jellemzői csak az alapanyagét jóval meghaladó makro- és mikroötvözéssel érhetők el, ami nem csak drága megoldás, de a hegesztett kötésben szükségszerűen olyan heterogenitást okoz, amelynek következményeit ma még nehéz előre látni.

Összességében az alapanyagok és a hegesztésükhöz alkalmazott hozaganyagok összehangolása (*matching*) sem ígérkezik könnyű feladatnak. Valószínűleg felértékelődik az *undermatching* elven történő hozaganyag-választás. Ennek a kérdésnek a megnyugtató megoldása további kiterjedt és intenzív kutatásokat igényel, amire a türelmetlen felhasználók aligha hajlandók elegendően hosszú időt biztosítani.

6. Összefoglalás

Az autóipar újkeletű versenyképességi, élet- és környezetvédelmi igényeinek (tömegcsökkentés, károsanyag-kibocsátás mérséklése, hulladékhasznosítási lehetőség, töréskeresztek) kielégítésére új típusú acélokat fejlesztettek ki és terveznek kifejleszteni. Az új acélok rendszerezése terén kaotikus állapotok uralkodnak, ezért a tisztánlátás érdekében az alábbiakban egy következetes osztályozásra teszünk javaslatot. Felhívjuk a figyelmet arra is, hogy az alapvetően hegesztett szerkezetek gyártására szánt acéloknál a hegesztési szempontokat nem (eléggé) vették figyelembe, ezért a beépítésük során komoly, (részben megoldhatatlan) hegeszthetőségi problémákkal kell szembenézni.

1. Konvencionális acélok (*Conventional steels*, CS) azok az acélok, amelyek k_m anyagállandójának középértéke 10 000. A konvencionális acélokon belül szilárdsági szempontból kis-, közepes, nagy- és ult-

ra-nagyszilárdságú acélokat különböztetünk meg. A szilárdsági határok rendre: 400, 600 és 1200 MPa, illetve angolszász egységben 60, 90 és 180 ksi.

2. Első generációs korszerű nagyszilárdságú acélok (AHSS) azok az acélok, amelyek szakítószilárdsága meghaladja a 600 MPa-t (90 ksi) és a k_m anyagállandójuk középtérfélemben 15 000 vagy 20 000.
3. Második generációs korszerű nagyszilárdságú acéloknak vagy extra nagyszilárdságú acéloknak (XHSS) nevezik azokat az acélokat, amelyek szakítószilárdsága meghaladja a 600 MPa-t (90 ksi) és a k_m anyagállandójuk középtérfélemben 40 000.
4. Harmadik generációs korszerű nagyszilárdságú acéloknak vagy ultra-nagyszilárdságú acéloknak (XHSS) nevezik azokat (a ma még kissé utópisztikus) acélokat, amelyek szakítószilárdsága meghaladja a 600 MPa-t (90 ksi) és a k_m anyagállandójuk középtérfélemben 60 000.
5. A korszerű nagyszilárdságú acélok mindhárom generációjának (AHSS, XHSS és UHSS) kiemelkedően nagy alakíthatósága a konvencionális acélokhöz viszonyítva egyúttal kiváló szívósságot is eredményez. Ennek bizonyítására a szakítódiaagram alatti terület, a fajlagos törésmunka és a törésmechanikai jellemzők közötti korreláció szolgál.
6. A különböző anyagállandójú korszerű nagyszilárdságú acélokat eredendően nem a hegesztési szempontok szerint fejlesztették, ezért hegeszthetőségük (főként vastagabb szelvények esetében) elméleti és gyakorlati nehézségekbe ütközik. Előbbi az alapanyag eredeti állapotának megolvadás utáni reprodukálhatatlanságában, utóbbi a megfelelő hozaganyagok hiányában és a költséges és körülményes technológiai fogások elkerülhetetlen szükségességében nyilvánul meg.

7. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

8. Irodalom

- [1] Balogh A.; Török I.; Gáspár M.; Juhász D.: Present state and future of advanced high strength steels Journal of Production Processes and Systems (Publication of the University of Miskolc), Volume 5 (May 2012), No 1. p.: 79-90.
- [2] Blain, P.: Steel Perspectives for the automotive industry Steel & Automobile, Lutsey, May 31, 2012.
- [3] Balogh A.; Prém L.: Az acélminőség, a hidegalakítási mérték és a ponthegesztési technológia egymásra hatása Hegesztéstechnika, XXIV (2013), 1. szám, p.: 41-47.
- [4] Balogh A.; Gáspár M.: Nagyszilárdságú acélok hegesztésének standardtól eltérő koncepciója Hegesztéstechnika, XXIII. (2012), 3. szám, p.: 23-28.
- [5] World Steel Association: Steel Production 2012 www.wordsteel.org
- [6] International Iron and Steel Institute.: Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines. Version 3. September, 2006. www.wordautosteel.org
- [7] World Steel Association: Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines. Version 4.1., June, 2009. www.wordautosteel.org
- [8] Chung, J.; Kwon, O.: Development of high performance auto steels at POSCO steels Proc. of the 9th ICTP Conference, Gyeongju-Korea, September 7-11. 2008. p.: 3-8.
- [9] Tóth L.: A törésmechanika modelljei és gyakorlati alkalmazásai Anyagvizsgálók Lapja (válogatás), 2012. p.: 27-42.
- [10] Czoboly E.; Havas I.; Orbulov I. N.: Törési vizsgálatok a BME Mechanikai Technológia Tanszéken Anyagvizsgálók Lapja (válogatás), 2012. p.: 43-45.
- [11] Gillemot L.: Anyagszerkezettan és Anyagvizsgálat Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
- [12] Tisza M. (szerk): Anyagvizsgálat Miskolci Egyetemi Kiadó, 2008.