

- foam. Mater Sci Eng A 2014, 604, 127–134.
- [17] Taherishargh, M. – Belova, I. V. – Murch, G. E. – Fiedler, T.: On the mechanical properties of heat-treated expanded perlite–aluminium syntactic foam. Mater Des 2014, 63, 375–383.
- [18] Taherishargh, M. – Sulong, M. A. – Belova, I. V. – Murch, G. E. – Fiedler, T.: On the particle size effect in expanded perlite aluminium syntactic foam. Mater Des 2015, 66, 294–303.
- [19] Taherishargh, M. – Belova, I. V. – Murch, G. E. – Fiedler, T.: Pumice/aluminium syntactic foam. Mater Sci Eng A 2015, 635, 102–108.
- [20] Tao, X. F. – Zhao, Y. Y.: Compressive behavior of Al matrix syntactic foams toughened with Al particles. Scripta Mater 2009, 61(5), 461–464.
- [21] Orbulov, I. N. – Ginszler, J.: Compressive behaviour of metal matrix syntactic foams. Acta Polytech Hungarica 2012, 9(2), 43–56.
- [22] Rohatgi, P. K. – Kim, J. K. – Gupta, N. – Alaraj, S. – Daoud, A.: Compressive characteristics of A356/fly ash cenosphere composites synthesized by pressure infiltration technique. Composites Part A 2006, 37(3), 430–437.
- [23] Luong, D. D. – Strbik III, O.M. – Hammond, V. H. – Gupta, N. – Cho, K.: Development of high performance lightweight aluminum alloy/SiC hollow sphere syntactic foams and compressive characterization at quasi-static and high strain rates. J Alloys Comp 2013, 550, 412–422.
- [24] Santa Maria, J. A. – Schultz, B. F. – Ferguson, J. B. – Guptan, N. – Rohatgi, P. K.: Effect of hollowsphere size and size distribution on the quasi-static and high strain rate compressive properties of Al-A380–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> syntactic foams. J Mater Sci 2014, 49, 1267–1278.
- [25] Daoud, A. – Abou El-khair, M. T. – Abdel-Aziz, M. – Rohatgi, P.: Fabrication, microstructure and compressive behavior of ZC63 Mg – microballoon foam composites. Compos Sci Technol 2007, 67(9), 1842–1853.
- [26] Kiser, M. – He, M. Y. – Zok, F. W.: The mechanical response of ceramic microballoon reinforced aluminum matrix composites under compressive loading. Acta Mater 1999, 47(9), 2685–2694.
- [27] Rohatgi, P. – Gupta, N. – Schultz, B. – Luong, D.: The synthesis, compressive properties, and applications of metal matrix syntactic foams. JOM 2011, 63(2), 36–42.
- [28] Testing of metallic materials – Compression test of metallic cellular materials, DIN 50134 standard; October 2008.
- [29] Balch, D. K. – O'Dwyer, J. G. – Davis, G. R. – Cady, C. M. – Gray III, G. T. – Dunand, D. C.: Plasticity and damage in aluminum syntactic foams deformed under dynamic and quasi-static conditions. Mater Sci and Eng A 2005, 391(1–2), 408–417.
- [30] Luong, D. D. – Gupta, N. – Daoud, A. – Rohatgi, P. K.: High strain rate compressive characterization of aluminum alloy/fly ash cenosphere composites. JOM 2011, 63(2), 53–6.
- [31] Luong, D. D. – Gupta, N. – Rohatgi, P. K.: The high strain rate compressive response of Mg–Al alloy/fly Ash cenosphere composites. JOM 2011, 63(2), 48–52.
- [32] Cox, J. – Luong, D. D. – Shunmugasamy, V. C. – Gupta, N. – Strbik III, O. M. – Cho, K.: Dynamic and thermal properties of aluminum alloy A356/silicon carbide hollow particle syntactic foams. Metals 2014, 4, 530–548.
- [33] Anantharaman, H. – Shunmugasamy, V. C. – Strbik III, O. M. – Gupta, N. – Cho, K.: Dynamic properties of silicon carbide hollow particle filled magnesium alloy (AZ91D) matrix syntactic foams. Int J Impact Eng 2015, 82, 14–24.

SEPSI MÁTÉ – PARTI JÓZSEF – MERTINGER VALÉRIA

## Öntött saválló acél keménységének korrelációja a szabványon belüli összetétel változásával

**Kipufogórendszerek alapanyagaként előszeretettel alkalmazott Cr-C-Si-W ötvöztetésű ferrites saválló acélból ék alakú próbákat öntöttünk. Vizsgáltuk a hűlési sebesség, a szabványon belüli összetételváltozás hatását a kialakult mikroszerkezetre és keménységre. Megállapítottuk, hogy a vizsgált tartományon belül a hűlési sebességnek nincs számottevő hatása, viszont a szabványon belüli összetétel-eltérés okozhat olyan mértékű változást a szöveti jellemzőkben, hogy az ötvöztetés hőkezelni kell. A keménységnövekedés a  $Cr_{ekv}/Ni_{ekv}$  csökkenéséből adódik, minek köszönhetően jelentősen megnő az ausztenit térfogathányada és az öntvény keménysége is.**

### Bevezetés

Az egyre szigorodó károsanyag-kibocsátási normák, a csökkenő üzemanyag-fogyasztási elvárások újfajta tervezési megközelítést követelnek az autógyártóktól. A beépített alkatrészek súlyának csökkentése, a gépjármű motorok hatásfokának növelése új ötvöztetések megjelenését eredményezte a kipufogórendszer alkatrészeit ille-

**Sepsi Máté** a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának 4. féléves hőkezelő-képlékenyalakító szakirányos anyagmérnök BSc-hallgatója. 2015. évi őszi intézményi TDK-n az Anyagtudomány I. szekcióban dolgozatával első helyezést ért el. Specializációja a röntgendiffrakciós finomszerkezet vizsgálati módszer.

**Parti József** a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán hőkezelő szakirányos MSc anyagmérnök oklevelet szerzett 2012-ben. 11 éves öntödei múlttal, vas- és acélöntészeti tapasztalatokkal rendelkezik. Jelenleg a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola hallgatója.

**Dr. Mertinger Valéria** 1990-ben a Miskolci Egyetem Kohómérnöki Karán fémalakító szakon, fémtani ágazaton, 1994-ben pedig a Kossuth Lajos Tudományegyetemen mérnök-fizikus szakon szerzett oklevelet. PhD-fokozatát 1994-ben szerezte a Miskolci Egyetemen. A Műszaki Anyagtudományi Kar egyetemi tanára, a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola tisztségviselője. Témavezetésével eddig négy hallgató szerzett PhD-fokozatot. Jelenleg öt fő, köztük Parti József témavezetője.

1. táblázat. Az 1.4740W jelű ötvözet szabványos összetétele és a vizsgált minták összetétele, %

	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Fe	Cr <sub>ekv</sub>	Ni <sub>ekv</sub>	Cr <sub>ekv</sub> /Ni <sub>ekv</sub>
min.	0,3	1,0	-	17	-	1,5	rest	-	-	-
max.	0,45	1,7	0,8	20	0,9	2	rest	-	-	-
H7	0,343	1,513	0,452	18,6	0,596	1,83	76,33	23	11,1	2,072
H8	0,3	1,481	0,42	19,08	0,553	1,709	75,98	23,3	10,6	2,198
H12	0,404	1,605	0,414	18,69	0,326	1,881	76,35	23,3	12,7	1,835

tően is. A konvencionális öntöttvas és acél alkatrészeket felváltották a kisebb falvastagságú, hőálló ötvözetek, mint öntött saválló acélok, Ni-bázisú szuperötvözetek. A ferrites saválló acélok alkalmazása különösen előtérbe került, köszönhetően a kedvező kis hőtágulási együtthatónak, kielégítő nagy hőmérsékletű szilárdságnak és a kiváló korrózió-ellenálló képességnek [1, 2]. A kiváló korrózióállóságot a nagy Cr-, Ni- és Mo-tartalom biztosítja. Ha erős karbidképzővel is ötvözik az

acélt, mint például Mo, Ti, V és Nb, akkor a lágy ferrites mátrixban kemény MC-karbidok és intermetallikus fázisok is megjelenhetnek [3, 4]. Amennyiben a Fe-Cr-Ni ötvözetek Cr<sub>ekvivalens</sub>/Ni<sub>ekvivalens</sub> értéke nem haladja meg az 1,8 értéket, akkor szobahőmérsékleten a ferrit mellett az ausztenit is megjelenhet. Az ausztenit megjelenése kedvezően növeli a fajlagos ütőmunkát és csökkenti az átmeneti hőmérsékletet, visszatartja a ferritképződést, ezáltal egy változatos mikrostruktúrát, és ami ebből következik, egy változatos mechanikai tulajdonságú alkatrészt is eredményezhet. A kialakuló tulajdonságok, mint például a keménység lehet előnyös felhasználáskor, de az ötvény további forgácsoló megmunkálásánál problémát okozhat, ami lágyítást tesz szükségessé. A hőkezelés természetesen növeli az előállítási költségeket és időt, ezért kerülendő.

Jelen munkánkban a mikrostruktúrái és keménységi változókat vizsgáltuk ferritképző (Si), ausztenitképző (C, Mn, Ni) és stabil karbidképző (Cr, W) ötvözőket tartalmazó ferrites saválló acél-ötvényben. Fény-, elektronmikroszkópos, röntgendiffrakciós szerkezetvizsgáló módszereket és makro- és mikro-keménység vizsgálatot alkalmaztunk.

### Kísérleti leírás

A vizsgált ötvözet 1.4740W szabványos összetételű ferrites saválló acél volt. Az acélt üzemi körülmények között indukciós kemencében olvasztották. A szabványos összetételt (min, max), illetve a kísérleti ötvözetek (H7, H8,

H12) összetételeit az (1), (2) egyenlet alapján számolt Cr, illetve Ni ekvivalens értékekre az 1. táblázat mutatja.

$$Cr_{eq} = Cr + 2Si + 1,5Mo + 0,75W \quad (1)$$

$$Ni_{eq} = Ni + 0,5Mn + 30C \quad (2)$$

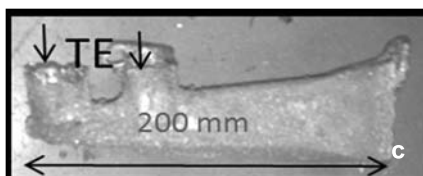
Látható, hogy mindhárom kísérleti ötvény összetétele a szabványos tűréson belüli, a Cr<sub>ekv</sub>/Ni<sub>ekv</sub> értékek a 1,835 és 2,198 közé esnek. A kísérletek során az acélt ék alakú homokfor-



a

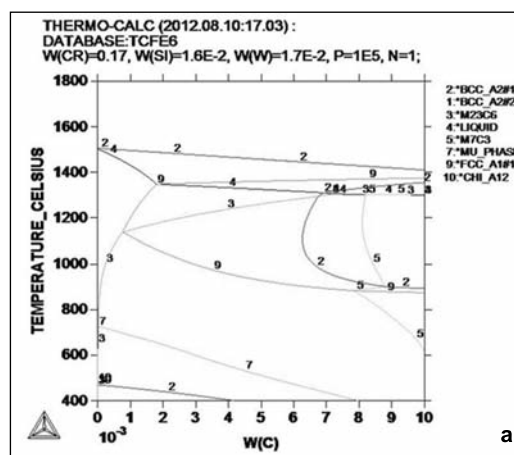


b

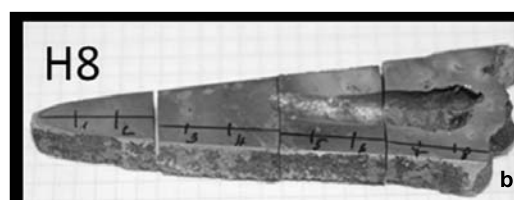


c

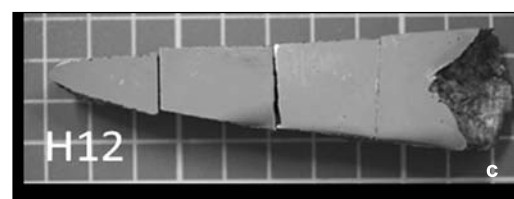
■ 1. ábra. Az ék alakú ötvény öntése, a homokforma termoelemekkel és a kész ötvény



a



b



c

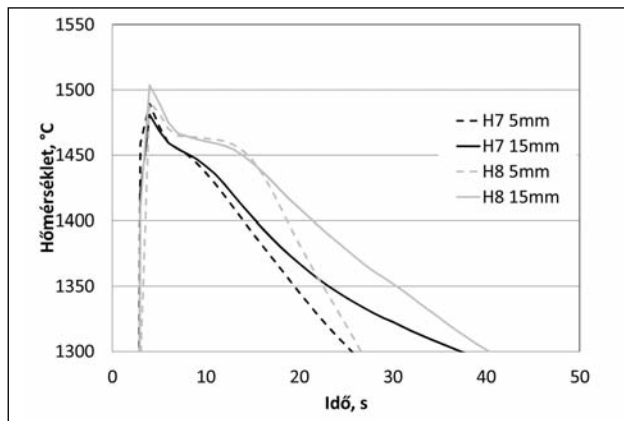


d

■ 2. ábra. A vizsgált ötvözet számított (Thermo-Calc) egyensúlyi fázisdiagramja a Fe, C, Cr, Si és W ötvözők figyelembevételével. Az ék alakú ötvényminták metallográfiai vizsgálatra előkészítve

mába öntöttük, a hűlési sebességet a forma 5 mm-es és 15 mm-es vastagságú részénél, S típusú termoelemmel és NI9213 adatgyűjtő segítségével rögzítettük. Az ék alakú öntvény 200 mm hosszú és a legszélesebb részén 40 mm széles lett (1. ábra).

Az így leöntött öntvényt hossz tengelye mentén kettévágtuk, metallográfiai csiszolatot készítettünk, hígított királyvizes oldattal marattuk. Fény és elektronmikroszkópos (Zeiss Axioimiger és Zeiss EVOMA10 EDAX szondával) vizsgálatot végeztünk mikroszondás elemanalízissel és Vickers, valamint



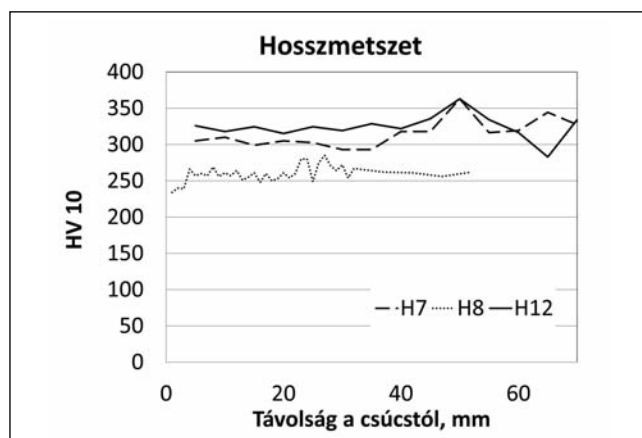
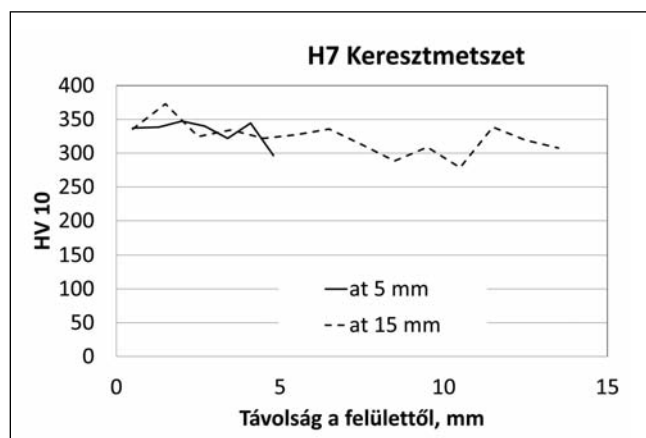
■ 3. ábra. A H7 és H8 jelű minták 5 és 10 mm-es vastagságánál rögzített lehülési görbék

microVickers (Tukon 2100B) keménységet mértünk 100 N és 0,1 N terheléssel. A jelenlévő fázisok azonosítá-

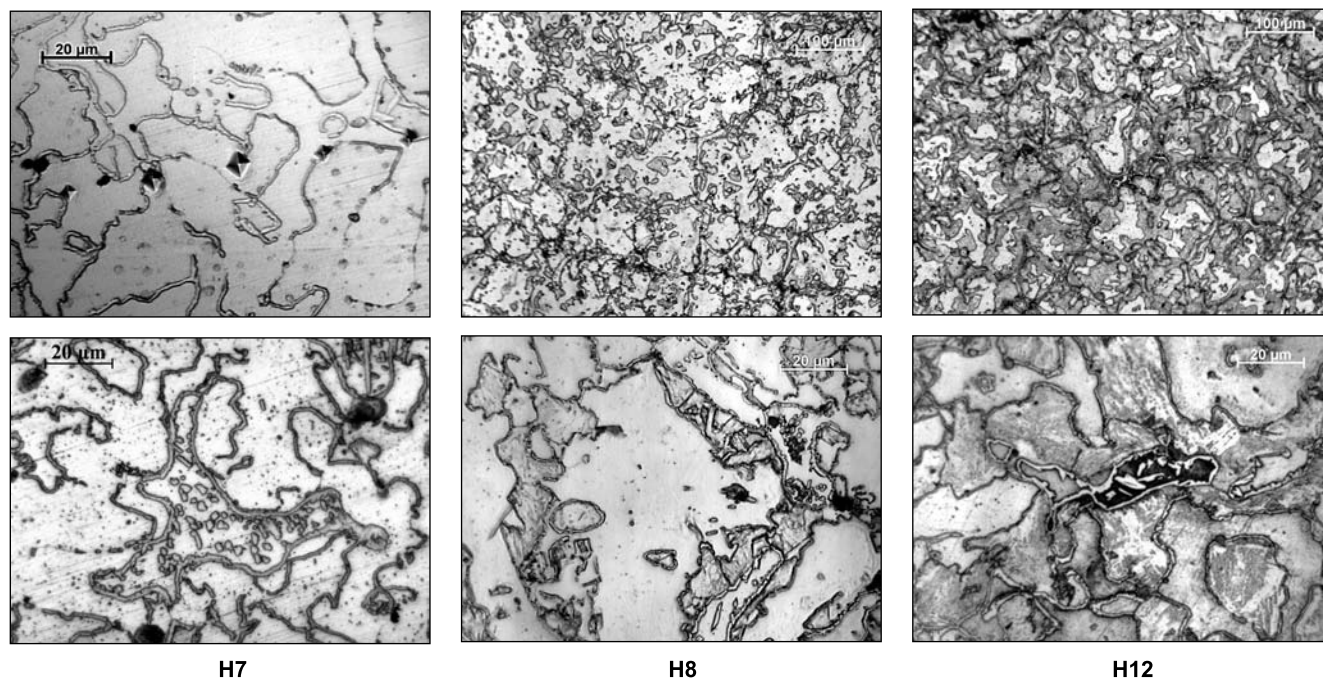
sára Co-sugárzással röntgendiffrakciós vizsgálatot (Bruker D8 Advance) végeztünk. A fázisok mennyiségét a Stresstech G3R Cr-csővel működő, maradó feszültség vizsgálatára kifejlesztett, röntgen diffraktométernek maradék ausztenit moduljával mértük.

### Eredmények

A 2. ábra mutatja a kísérleti ötvözet, Fe, Cr, C, Si és W ötvözőkre számított egyensúlyi fázisdiagramját, és a fél-ékp próbákat metallográfiai vizsgálatra történő előkészítés után. A diagram alapján látható, hogy a mikroszerke-



■ 4. ábra. Keménységvizsgálat eredménye

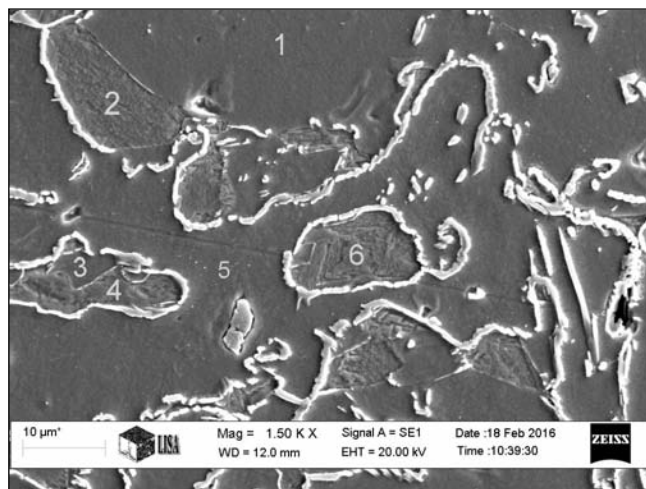


■ 5. ábra. Fénymikroszkópos szövetképek

zet nagyon bonyolult is lehet, akár egyensúlyi körülmények között is. Amennyiben a különböző hűlési sebességek és mikrodúsulási effektusok hatását is figyelembe vesszük, ez a komplexitás méginkább erősödik. Az 5 és 10 mm-es vastagságnál rögzített hűlési görbék a H7 és H8 mintákra a 3. ábra mutatja. Látható, hogy a kis koncentrációkülönbség 10 °C eltérést eredményez a likvidusz-hőmérsékletben, míg a szolidusz változatlan. A helyi megszilárdulási idő majd duplája a H8 jelű mintának, viszont a mintákon belül a kristályosodás szakaszában nincs érdemi különbség a lehűlési görbék a különböző vastagságú részekben.

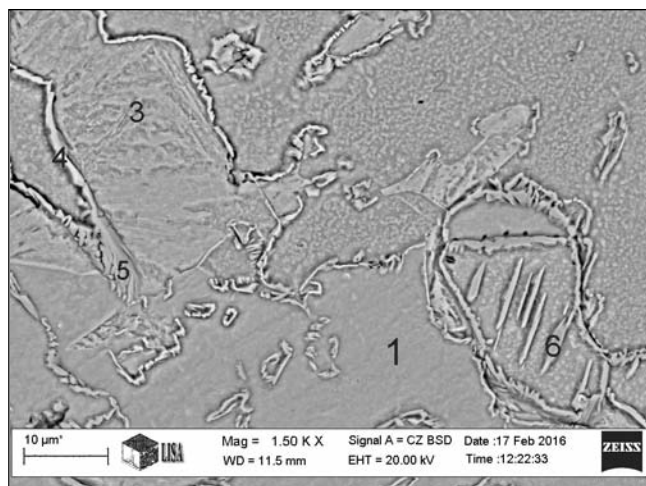
A 4. ábra mutatja a keménységvizsgálat eredményét. Adott minta különböző vastagságú részének keresztmetszeti eloszlásában nem tapasztalunk eltérést, ami várható volt a hasonló hűlési sebességéből következően. Ennek megfelelően, adott minta hosszirányú értékei is nagyon hasonlóak. Az egyes minták között viszont jelentős eltérést tapasztalunk a hossztengety menti vizsgálatok eredményében. A H12-es legkeményebb és a H8 leglágyabb között azonos vastagságnál akár 80 HV különbség is lehet.

Az 5. ábra mutatja a fénymikroszkópos vizsgálat eredményeit. Az előzetes elvárásoknak megfelelően komplex szerkezetet látunk, egy világosabb és egy sötétebb szövetelem és finom, főleg szemcse-határmenti kiválások van-



Elem, m/m%							
Terület	C	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	W
1.	0,72	2,56	18,56	0,56	74,11	0,76	2,72
2.	0,93	1,93	18,59	1,01	72,74	1,21	3,58
3.	0,66	2,04	18,75	1	73,19	0,61	3,76
4.	0,74	2,37	19,29	0,68	72,82	0,76	3,34
5.	1,94	2,31	18,44	0,67	71,85	1,06	3,72
6.	1,38	2,12	18,98	0,77	73,88	0,76	2,1

■ 6. ábra. Összehasonlító SEM- és EDX-elemzés a sötét (2, 4, 6 jelű területek) és a világos (1, 3, 5 jelű területek) fénymikroszkópos szövetelemek között



Elem, m/m%							
Terület	C	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	W
1.	1,81	1,41	18,76	0,79	72,93	0,73	3,56
2.	1,25	1,58	19,39	0,61	73,21	0,65	3,31
3.	0,44	1,98	18,49	0,53	74,88	0,84	2,85
4.	4,63	1,16	40,91	0,35	45,44	0,86	6,65
5.	3,46	1,18	34,53	0,54	55,12	0,57	4,6
6.	3,79	0,59	65,82	0	26,18	0,64	2,98

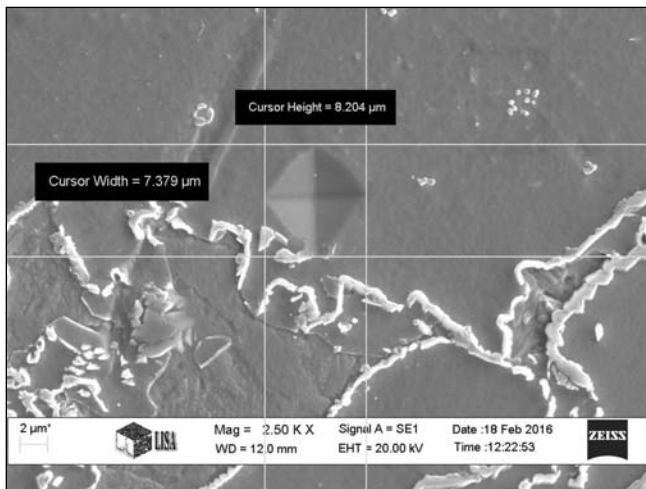
■ 7. ábra. Összehasonlító SEM- és EDX-elemzés

nak. A sötétebb szövetelem aránya a H12-es mintában nagyobb. Mivel ebben a szövetben helyenként ikerha-

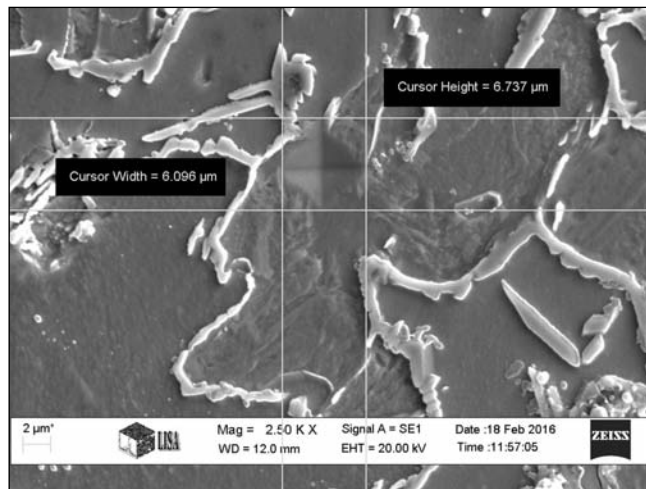
történi fázismennyiség meghatározása nagyon problémás, ezért a kritikus szövetek intenzitás arányainak figye-

tárok is megfigyelhetők voltak, valószínűsíthető, hogy ez az austenitfázis. A különböző szövetelemek részletesebb, az összetételi eltéréseket is kimutató SEM-vizsgálat eredménye a 6. ábra és a 7. ábra képein látható. A fénymikroszkópon különböző világos-sötét szövetelemek összetétele szignifikánsan nem tér el egymástól (6. ábra, 1, 2, 3 területek). A nagyon finom szemcsehatár menti kiválás W-Cr-Fe komplex karbid (7. ábra, 4, 5 jelű területek), míg a finom lemezes szemcsén belüli valószínűleg tisztán Cr-karbid. A világos-sötét szövetek összehasonlító mikroelemzés-vizsgálatának eredményét mutatja a 8.

ábra. A sötét szövetelem egyértelműen nagyobb keménységértéket mutat. A fázisok azonosításának eredményét a teljes diffraktogram alapján a 9. ábra mutatja. E szerint ferrit, ausztenit, Cr7C3 és Cr23C6 típusú karbidok képződtek. A fénymikroszkópos képen a ferrit/ausztenit hányadban van jelentős eltérés, ezért ennek a két szövetnek az egymáshoz képesti viszonyát határoztuk meg a ferrit és (200), (211) és az ausztenit (200) és (220) síksorozatok interferenciafüggvényének intenzitás aránya (görbe alatti terület) alapján. Itt kell megjegyezni, hogy a kompakt (nem por), erősen orientált minta teljes profil illesztésével



$d_1 = 7,379 \mu\text{m}$ ,  $d_2 = 8,204 \mu\text{m}$   
a



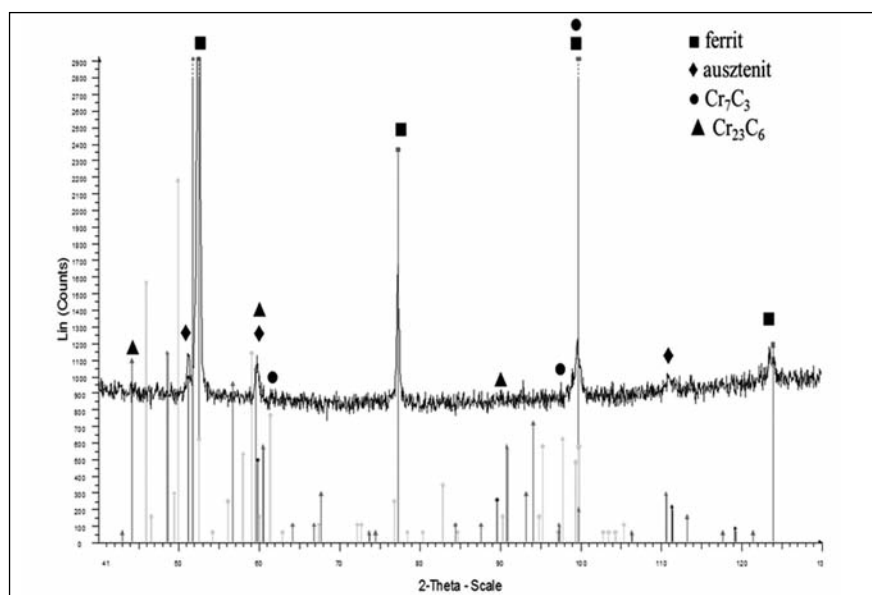
$d_1 = 6,096 \mu\text{m}$ ,  $d_2 = 6,737 \mu\text{m}$   
b

■ 8. ábra. A fénymikroszkópos sötét és világos fázisok összehasonlító mikrokeménység vizsgálata

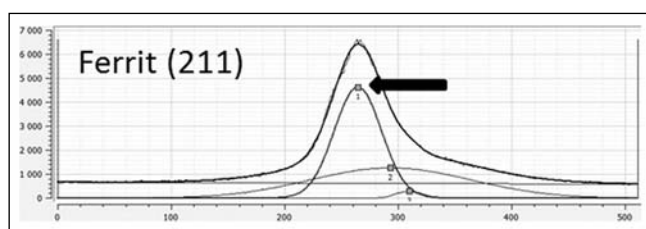
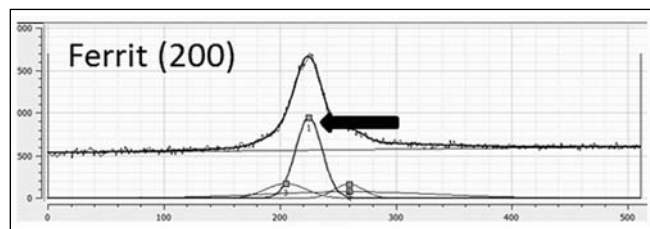
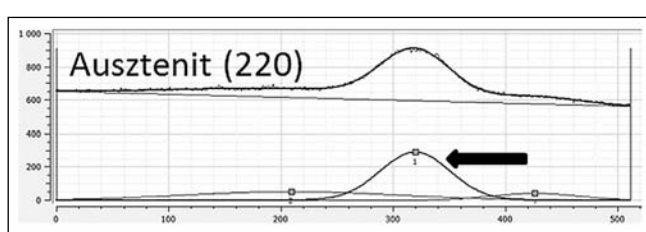
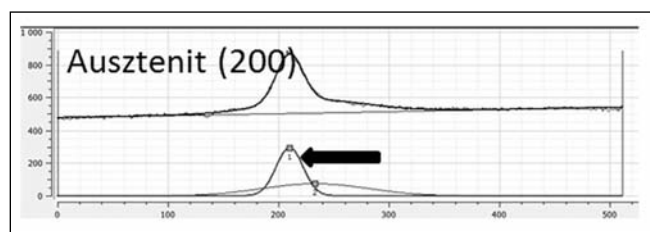
lembevételével történő vizsgálat legalább olyan jó eredményt ad. Az általunk alkalmazott módszer esetében lehetőség van az interferencia-függvények illesztésére, és az átlapolódó reflexiók szétválasztására. Példaként a H13-3 minta számításához használt interferencia-függvényeit, valamint a profilszétválasztás eredményét mutatja a 10. ábra. A mérést a hossz tengely mentén 6-8 ponton végeztük el, az átlageredményeket a 2. táblázat mutatja. A számítás szerint a H12 jelű minta több mint 21% ausztenitet tartalmaz.

### Összegzés

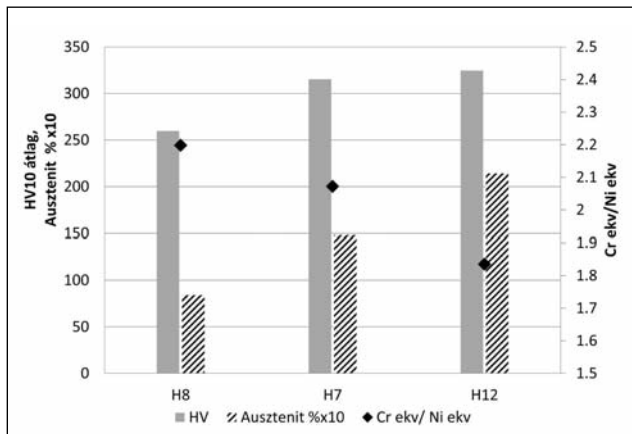
Cr, C, Si és W ötvözésű, ék alakú, saválló acélt homokformába öntöttünk a különböző hűlési viszonyok létrehozá-



■ 9. ábra. A H12 - 2a jelű minta teljes röntgendiffraktogramja



■ 10. ábra. A H12 - 3 jelű minta szelektív röntgendiffraktogramja helyzetérzékeny detektorral. Példaként a profilillesztés kiértékelés, felül mindig a mért és az eredő profil a háttérleválasztással, alul pedig az felbontott profil, nyíl jelzi a számoláshoz kiválasztott és használt csúcst



■ 11. ábra. A vizsgált paraméterek összegzése

**2. táblázat.** Az ötvények átlagos ausztenitartalma a szórással röntgendiffrakciós módszerrel meghatározva

Minta	Ausztenit tartalom %
H7	14,8 ± 5
H8	8,4 ± 4
H12	21,4 ± 3

sa érdekében. Az ötvözet az egyik új generációs ferrites saválló acél, melyet kipufogórendszerek alapanyagának használnak. Különböző, a szabványon belüli összetételű mintákat öntöttünk, melyeknek a  $Cr_{ekv}/Ni_{ekv}$  értéke 1,8 és 2,1 közé esett. A vizsgált paramétereket a 11. ábra foglalja össze (az

megengedett mértéket, mely az előírás szerint maximum HV 295 lehet, ezért a terméket hőkezelni kell. Szeretnénk felhívni a figyelmet, hogy ez a hatás úgy alakult ki, hogy mindhárom ötvözet összetétele beleesett a szabványos tűrésbe. Ezért az a javaslatunk, hogy a hőkezelés elkerülése érdekében az ötvözet összetételének határait szűkebbre kell venni, mint amit a szabvány megenged.

#### Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Alkalmazott Anyagtudomány és Nano-

technológia Kiválósági Központ keretében valósult meg. A szerzők köszönetet mondanak Kovács Árpádnak a SEM-, és dr. Nagy Erzsébetnek az XRD-vizsgálatokban nyújtott segítségükért.

#### Irodalom

- [1] Bülbül, S. — Sun, Y.: Corrosion behaviors of high Cr–Ni cast steels in the HCl solution, *Journal of Alloys and Compounds* 498 (2010) 143–147.
- [2] Koa, S. J. — Kimb, Y.: High temperature fatigue behaviors of a cast ferritic stainless steel, *Materials Science and Engineering A* 534 (2012) 7–12.
- [3] Lo, K. H. — Shek, C. H. — Lai, J. K. L.: Recent developments in stainless steels. *Materials Science and Engineering R* 65, (2009) 39–104.
- [4] Pryds, N. H. — Huang, X.: The Effect of Cooling Rate on the Microstructures Formed during Solidification of Ferritic Steel. *Metallurgical and Materials Transactions, Volume 31A.* (2000) 3155–3166.
- [5] Qu, H. P. — Lang, Y. P. — Chen, H. T. — Rong, F. — Kang, X. F. — Yang, C. Q. — Qin, H. B.: The effect of precipitation on microstructure, mechanic properties and corrosion resistance of two UNS S44660 ferritic stainless steels, *Materials Science and Engineering A* 534 (2012) 436–445.

## MEGHÍVÓ

### a 2016. szeptember 16–17-i X. Fazola Fesztiválra

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület és helyi szervezetei, az Északkelet-Magyarország Ipartörténetének Ápolásáért Alapítvány, a Miskolci Egyetem Műszaki Anyag- és Földtudományi, illetve Bölcsészettudományi Karai, az MTA Miskolci Területi Bizottsága, a B. A. Z. Megyei Mérnöki Kamara, az MMKM Kohászati Múzeuma, a Rotary Club Miskolc, az ÉSZAKERDŐ Zrt. tisztelettel várja egyesületünk kedves bányász, kohász tagtársait, hozzátartozóit, barátait a már hagyományossá vált rendezvényükre.

#### A rendezvény előzetes programja

##### Szeptember 16 (péntek)

- 10:00 Tudományos konferencia „Hulladékból alapanyag” témakörben az MTA Miskolci területi Bizottság székében, Erzsébet tér 3.
- 10:00–13:00 A Miskolci Egyetem hallgatóinak, oktatóinak játékos szakmai bemutatói a Széchenyi utcán
- 19:00 Kohász, bányász, erdész hagyományőrző szakestély a Bartók Béla Művelődési Házban, Andrassy u.15.

##### Szeptember 17. (szombat)

- 9:00 Zenés kisvonatozás Újmassára a Fazola műemlékkohóhoz
- 10:00 Ünnepi megnyitó
- 10:30–16:00 Interaktív szakmai bemutatók

Szívesen felajánljuk lehetőségeinket a műemlékkohó térségében reklámcélú táblák, eszközök megjelenítésére. A segítő támogatásokat előre is köszönjük.

Jó szerencsét!

**Dr. Nyitrai Dániel OMBKE helyi vezető**

**Sipos István, az alapítvány elnöke**

Címünk: Északkelet-Magyarország Ipartörténetének Ápolásáért Alapítvány 3535 Miskolc, Bartók Béla u. 1.  
Tel.: 30/904-1776 e-mail: postmaster@ekmita.t-online.hu