

- [9] Bokányi, L., Takács, J., Varga, T., Mádai-Üveges, V., Nagy, S., Paulovics, J.: Kutató-fejlesztő munka a bioeljárás-technika és a reakciótechnika terén. Publications of the University Of Miskolc Series A-Mining 79. köt. (2010), pp. 303–313., p. 11.
- [10] Bokányi, L., Varga, T., Mádai-Üveges, V., Paulovics, J.: Bio-processing research in Institute of Raw Materials Preparation and Environmental Processing, University of Miskolc. In: 2nd International Conference on Biotechnology and Metals. (2011), pp. 5–8., 4 p. ISBN 978-80-553-0723-7
- [11] Bokányi, L., Varga, T., Mádainé Üveges, V.: A biológus lehetőségei és korlátai az elektronikai hulladékok feldolgozása terén, III. RING – Fenntartható Nyersanyaggazdálkodás Konferenciakötet, szerk: Czupy et al, Sopron, e-book, (2019) p.158-165 ISBN: 978-963-334-353-1
- [12] Karavaiko, G. I., Rossi, G., Agate, A. D., Groudev, S. N., Avakyan, Z. A.: Biogeotechnology of Metals, 1988
- [13] Hedrich, S., Johnson, D. B.: Acidithiobacillus ferridurans sp. nov., an acidophilic iron-, sulfur- and hydrogen-metabolizing chemolithotrophic gammaproteobacterium, International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology (2013), 63, 4018–4025.
- [14] Nunez, H., et al: Detection, identification and typing of Acidithiobacillus species and strains: a review, Research in Microbiology 167 (2016) 555–567.
- [15] Srichandan, H., Kumar Mohapatra, R., Parhi, P. K., Mishra, S.: Bioleaching approach for extraction of metal values from secondary solid wastes, A critical review; Hydrometallurgy 189 (2019) 105122
- [16] Natarajan, K. A.: Biotechnology of Metals; Principles, Recovery Methods and Environmental Concerns, Chapter 6, Elsevier (2018) ISBN: 978-0-12-804022-5
- [17] Isldar, A., van Hullebusch, E. D., Lenz, M., Laing, G. D., Marra, A., Cesaro, A., Panda, S., Akcil, A., Kucuker, M. A., Kuchta, K.: Biotechnological strategies for the recovery of valuable and critical raw materials from waste electrical and electronic equipment (WEEE) – A review, Journal of Hazardous Materials 362 (2019) 467–481.
- [18] Jin-Yan, L., Xiu-xiang, T., Pei, C.: Study of formation of jarosite mediated by thiobacillus ferrooxidans in 9K medium, Procedia Earth and Planetary Science 1 (2009) 706–712.
- [19] Bokányi L., Varga, T.: Desulphurisation of waste car tyres by bioleaching followed by flotation; Proceedings of XXIX. International Mineral Processing Congress, IMPC 2018, 3063-3071). "Ore and Metals" Publishing house, 2018.
- [20] Bokányi L., Sedlaková-Kadukova J., Mádai-Üveges, V.: Preliminary experiments on the bioleaching of indium on waste LCD panels, Proceedings of 5th. Biotechnology & Metals International Scientific Conference, (2018) pp:12-15 ISBN 978-80-89883-07-3
- [21] Wang, S., Chen, L., Zhou, X., Yan, W., Ding, R., Chen, B., Wang, C.T., Zhaou, F.: Enhanced bioleaching efficiency of copper from printed circuit boards without iron loss, Hydrometallurgy 180, (2018) 65–71.
- [22] Simon, K.: Bioleaching Processes for Waste Recycling with Acidithiobacillus ferrooxidans, TDK-munka, Miskolci Egyetem, konzulensek: Dr. Bokányi Ljudmilla, dr. Mádainé Üveges Valéria, (2019).
- [23] Wang, J., Bai, Xu, J., és Liang, B.: Bioleaching of metals from printed wire boards by Acidithiobacillus ferrooxidans and Acidithiobacillus thiooxidans and their mixture, Journal of Hazardous Materials, 172, (2009) 1100–1105.
- [24] Drotár, M. (2013) Nyomatott áramköri lapok (NYÁK) bioszolubilizálásának kísérleti vizsgálata, Szakdolgozat, Miskolci Egyetem. Konzulensek: Dr. Bokányi Ljudmilla és Varga Terézia

PÁZMÁN JUDIT – FEHÉR JÁNOSNÉ – GONDA VIKTOR – SÁNTA EDIT ORSOLYA – VERŐ BALÁZS

Az Al5182 ötvözet teljesítőképességének meghatározása

Az ipari felhasználások egyre inkább olyan extrém kritériumokat fogalmaznak meg az alumíniumötvözetekkel szemben, mint a nagy szilárdság és nagy szívósság együttese, továbbá, ha a felhasználás megköveteli, emellé még jó korrózióállóságnak is társulnia kell. Ezeket a komplex igényeket a hagyományos technológiákkal elérni nem egyszerű feladat. A kutatómunkánk során az autóipar számára fontos Al5182 ötvözetet vizsgáltuk meg abból a szempontból, hogy a vevői igényeknek való megfelelés milyen technológiai műveletsorral valósítható meg. Vizsgáltuk a homogenizálás hatását, a jelenlegi alkalmazott ipari technológiákat: a meleg- és hideghengerlés kombinációját, illetve a korszerű intenzív képlékeny alakítások közül a könyöksajtólást (ECAP – equal channel angular pressing) és a többtengelyű kovácsolást (MF – multiple forging), elemezve, hogy milyen kedvező, illetve nemkívánatos tulajdonságokkal ruházzák fel az ötvözetet.

Bevezetés

A fogyasztói társadalom tagjainak jogos igénye, hogy a termékekkel és szolgáltatásokkal szemben támasztott elvárásait a piac magas színvonalon és ár/értékarányosan ki tudja elégíteni, vagy más szóval teljesíteni tudja. A társadalom tagjai az igényeket, elvárásokat csak saját ismereteik szintjén tudják megfogalmazni. Példaként említhetjük, hogy egy személygépkocsival szemben követelményként

csak azt tudják megfogalmazni, hogy azzal biztonságosan el tudjon jutni A-ból B-be és vissza, de arra már nincs rálátásuk, hogy a személygépkocsi B oszlopát milyen kémiai összetételű és milyen hőkezeltségi állapotú acélból célszerű elkészíteni. Nem véletlen tehát, hogy a teljesítmény vagy teljesítőképesség – idegen szóval performance – jelenti azt a fogalmat, amely a vevő/eladó kapcsolatát meghatározza.

A teljesítőképesség értelemszerűen a kérdéses termék – legyen az anyag vagy szerkezet – tulajdonságaiban tes-

tesül meg. Az anyag- vagy gépészmérnök elsőrendű feladata a terméket jellemző és az igények kielégítését biztosító tulajdonságegyüttes definiálása. A tulajdonságegyüttes ismeretében pedig mód nyílik az ezeket a tulajdonságokat hordozó konkrét anyagminőség kiválasztására, előállítási technológiájának kijelölésére. Ezt a három elemből álló folyamatot az ún. láncmodellel írhatjuk le, amely a teljesítőképességet, a tulajdonságegyüttest és az anyagot reprezentáló, egymásba kapcsolódó láncszemekből áll.

A teljesítőképesség mérésére ma még nincs általánosan elfogadott módszer, de jelen publikációnkban egy ilyen módszerre teszünk javaslatot egy konkrét anyagfejlesztés kapcsán.

Kutatómunkánk során egy az autóipar által kedvelt Al-Mg szilárd oldatos ötvözetben, az Al5182-n (kémiai összetétele az 1. táblázatban látható) végeztünk öntött, illetve homogenizált állapotban intenzív képlékeny alakításokat, és meghatároztuk a különböző állapotú minták mechanikai jellemzőit, azaz a folyáshatárt, a szakítószilárdságot, a szakadási nyúlást, és a mikrokeménységet [1–5]. Az autóipari felhasználás során elvárás a jó korrózióállóság is, melyre szabványos – ASTM G67 – 13 Standard Test Method for Determining the Susceptibility to Intergranular Corrosion of 5XXX Series Aluminum Alloys by Mass Loss After Exposure to Nitric Acid (NAMLT Test) – szemcseközi korróziós tesztet végeztünk [6]. A szabvány nem írja elő, de a megrendelői igényeknek való megfelelés miatt a szabványos vizsgálat előtt a mintákat 100 órán át 100 °C-on kell hőkezelné. A mintákon megengedett tömegvesztés nem haladhatja meg az 5 mg/cm²-t. Ezt a szigorított vizsgálatot hajtottuk végre, melyet sajnos a speciális minta-előkészítési procedúra miatt nem minden mintán tudtuk elvégezni. Így a korróziós vizsgálatot csak a könnyöksatolt (ECAP) mintákra tudtuk alkalmazni.

1. táblázat. Az Al5182 ötvözet kémiai összetétele

Kémiai összetétel (tömeg%)									
Mg	Mn	Si	Cr	Cu	Fe	Ti	Zn	Egyéb	Al
4-5	0,2-0,5	0-0,2	0-0,1	0-0,15	0-0,35	0-0,1	0-0,25	0-0,15	93,2-95,8

Dr. Pázmán Judit 2005-ben szerzett anyagmérnöki BSc-diplomát a Dunaújvárosi Főiskolán, majd 2007-ben anyagmérnöki MSc-diplomát a Miskolci Egyetemen. Ezt egészítette ki 2010-ben a nanotechnológiai MSc-szakiránnyal. 2011-ben védte meg PhD-fokozatát. 2012-től a Dunaújvárosi Főiskola, majd a Dunaújvárosi Egyetem főiskolai docense. Szakterülete: anyagtudomány, intenzív képlékeny alakítások, alumíniumötvözetek fejlesztése és szerkezetvizsgálat.

Dr. Fehér Jánosné okleveles kohómérnök, a Nehézipari Műszaki Egyetemen végzett 1982-ben, egyetemi doktori oklevelet szerzett 1990-ben. Jelenleg a Dunaújvárosi Egyetem Anyagtudományi Tanszékén dolgozik tudományos kutatóként. Főbb kutatási területei az alumínium- és rézötvözetek és ezek gyártási folyamatainak fejlesztése a magasabb szilárdságú és villamos vezetőképességű anyagtulajdonságok mellett jól alakítható termékek előállítására.

Dr. Gonda Viktor 1997-ben szerzett gépészmérnöki diplomát a Dunaújvárosi Főiskolán, majd 2001-ben egyetemi oklevelet a BME Gépészmérnöki Karán, 2008-ban doktorált a Delfti Műszaki Egyetemen. 2012-től egyetemi docens az Óbudai Egyetem Bánki Karának Anyagtechnológia Tanszékén, tématerülete az alakítástechnológia, kutatási témája: fémek intenzív képlékenyalakítása könnyöksatolással.

Sánta Edit Orsolya 2010-ben szerzett anyagmérnöki BSc-diplomát a Dunaújvárosi Főiskolán járműipari anyagtechnológia szakirányon. 2010-től a Dunaújvárosi Főiskola, majd a Dunaújvárosi Egyetem tanszéki mérnöke. Szakterülete/főbb vizsgálatai: vas- és alumíniumalapú ötvözetek szabványos korróziós vizsgálatai, autóipari alkatrészek terheléses vizsgálata.

Dr. Verő Balázs technológus szakos okl. kohómérnök, az MTA doktora. 1993–2018-ig a Bay Zoltán Kft. vezető kutatója, több éven át tudományos igazgatóhelyettese. 2007–2014-ig a Dunaújvárosi Főiskola, illetve Egyetem egyetemi tanára, két szemeszteren át tanszékvezető. 2014-től a DUE professor emeritusa. Másfél évtizeden át a BKL Kohászat felelős szerkesztője volt. Az ME és a BME doktori és habilitációs tanácsának tagja, az MTA Anyagtudományi és Technológiai Bizottságának elnöke volt. Kutatási területe: fémek és ötvözetek szövet-szerkezete és felhasználói tulajdonságai közötti kapcsolat.

A kapott vizsgálati eredményeket felhasználva egy komplex teljesítménymutatót (CPI) definiáltunk [7], oly módon, hogy meghatároztuk mindegyik paraméter maximumát, és ehhez viszonyítottuk az egyes technológiai utakkal legyártott minták adott mechanikai jellemzőit, így képeztünk négy arány/viszonyszámot, melyeknek vettük a szorzatát, azaz azonos súllyal vettük figyelembe az egyes jellemzőket és így kaptuk meg a teljesítménymutatót (CPI = complex performance index, azaz komplex teljesítménymutató).

$$CPI = \left(\frac{HV0,3}{HV0,3_{max.}} \right) * \left(\frac{R_{p0,2}}{R_{p0,2}^{max.}} \right) * \left(\frac{R_m}{R_m^{max.}} \right) * \left(\frac{A}{A_{max.}} \right) * 100 (\%) \quad (1)$$

Az (1) összefüggéssel a maximális szilárdsági és szívóssági paraméteregyüttesre vonatkoztatva állítottunk fel egy rangsort az egyes technológiai utakra.

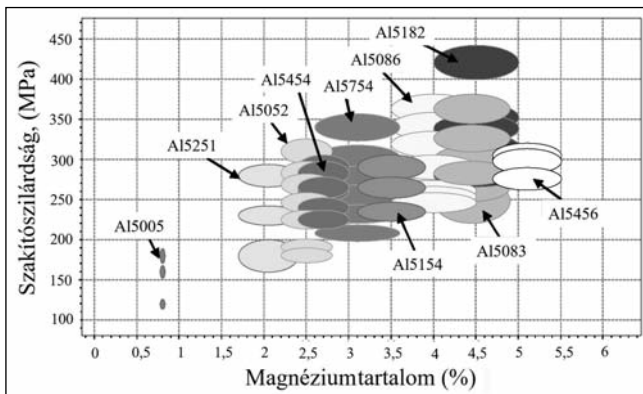
A korróziós teszt elvégzése után már egy kibővített összefüggéssel (2) határoztuk meg a CPI-t, mely még összetettebben jellemzi a vizsgálati ötvözetet.

$$CPI_{korr} = \left(\frac{HV0,3}{HV0,3_{max.}} \right) * \left(\frac{R_{p0,2}}{R_{p0,2}^{max.}} \right) * \left(\frac{R_m}{R_m^{max.}} \right) * \left(\frac{A}{A_{max.}} \right) * \left(\frac{W_{loss}^{min.}}{W} \right) * 100 (\%) \quad (2)$$

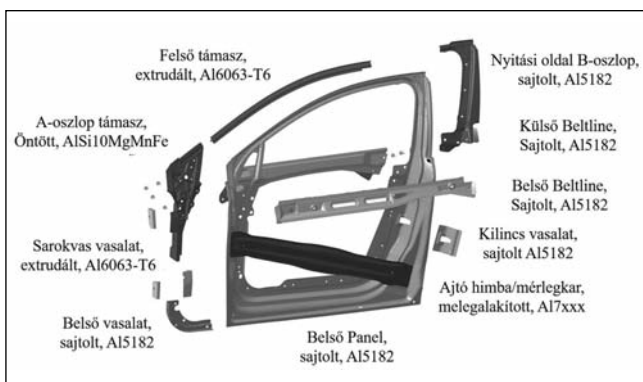
Az ötvözet fő ötvözőeleme a magnézium, mely oldott formában, illetve a további ötvözőelemekkel primer fázisokat képezve a szemcsehatárokon detektálható. A primer fázisok alakja, mérete és a szemcsehatárokon való elhelyezkedése, jelentős mértékben változik mind a homogenizálás, mind a képlékeny alakítás hatására. Ezek pedig befolyásolják a félkésztermék mechanikai tulajdonságait, és így felhasználhatóságát. Ha az ötvözetben a magnéziumeloszlás homogén, akkor a magnézium oldódásából

adódó rácstorzulással a magnéziumtartalomnak megfelelő átlagos szilárdságnövekedés érhető el. Ha viszont lokális inhomogenitások alakulnak ki kristályosodás során, akkor ezek belső feszültségeket indukálhatnak az ötvözetben. Emellett a primer fázisok szemcsehatármenti elhelyezkedése hatással van az ötvözet interkristallin korróziós viselkedésére. Ugyanis a hidegalakítás során végzett közbelső lágyítások, vagy akár a felhasználási hőmérséklet egyaránt kedveznek az Al_5Mg_8 fázis képződésének, és így fokozzák a korróziós hajlamot. Ezért vezették be azt a szigorított autóiipari korróziós tesztet, melyet kutatómunkánk során is alkalmaztunk, hogy 100 °C-on 100 h-t is öregítik a vizsgálati mintát, mielőtt magát a tényleges korróziós vizsgálatot, azaz a salétromsavas kezelést megkezdénék. Ennek a fázisnak a mennyisége pedig az ötvözet magnéziumtartalmának növekedésével nő. Ugyanakkor az ötvözet mechanikai tulajdonságainak javulása, így a szakítószilárdság is az oldott magnézium mennyiségével egyenes arányban növekszik (1. ábra). A szilárdsági jellemzők pedig a hidegalakítás alkalmazásával többszörösére emelhetők.

Al5182 ötvözetet tehát főként az autóiipar, így pl. a karosszéria-alkatrészek (Ertüő & Kumruođlu, 2015.), üzemanyagtartályok (stepboxok), emellett a tengeri hajózás alapanyagaként használják, de készülnek belőle kereskedelmi edények, tálak is, melyeknél együttes elvárás a nagy szilárdság, amely legalább 3% feletti Mg-tartalommal érhető el, ugyanakkor a jó mélyhúzhatóság, ami legalább 24-29% nyúlásértékeket jelent és a jó korrózióállóság, ami egy szigorított autóiipari standard szerint max. 5 mg/cm² tömegvesztéget engedélyez. Ezeknek a paradox tulajdonság-



■ 1. ábra. Az Al5xxx ötvözet szakítószilárdsági értékeinek változása a magnéziumtartalom növekedésével



■ 2. ábra. Az Al5182 felhasználási területei. (Colman, 2017)

együtteseknek a megvalósítására az 5xxx ötvözeteket használják sok esetben már az acélok helyett is, mely lehetővé teszi akár a könnyebb, jobb manőverezhetőségű hajók gyártását is, amellett, hogy ez üzemanyag-megtakarítással is jár. Az alumíniumötvözet használata 22%-kal csökkenti a hajók tömegét. A személygépkocsik ajtóinak vázszerkezetében főként az Al5182 ötvözetet használják (2. ábra).

Az elvégzett kísérletek

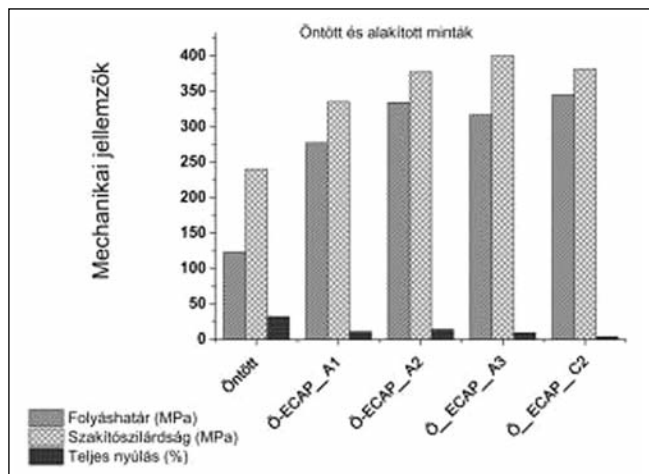
Az Al5182 ötvözetben a 2. táblázatban szereplő technológiai utakat hajtottuk végre. Ennek alapján öntött és homogenizált állapotú Al5182 ötvözetben végeztünk könyöksajtolást A utas (többszörös átsajtolás esetén a mintát ugyanabban a pozícióban helyezzük a sajtolási csatornába) [8–9], és C utas (többszörös átsajtolás esetén a mintákat minden egyes átsajtolást követően az óramutató járásával ellentétes irányba 180°-kal elforgatjuk) technikával [12], valamint több tengelyű kovácsolással (Gleeble 3800 fizikai szimulátor alkalmazásával, volfrám-karbid alakítószerszám-pár végzi az alakítást, egyszeri alakítást követően a minta 90°-ot elfordul). A könyöksajtolással alakított mintáknál az egyszeres átsajtolással elért alakítás mértéke 0,81, a kétszeres átsajtolásnál már 1,62, a több tengelyű kovácsolással pedig 1 és 5 [10–11].

2. táblázat. A megvalósított technológiai utak

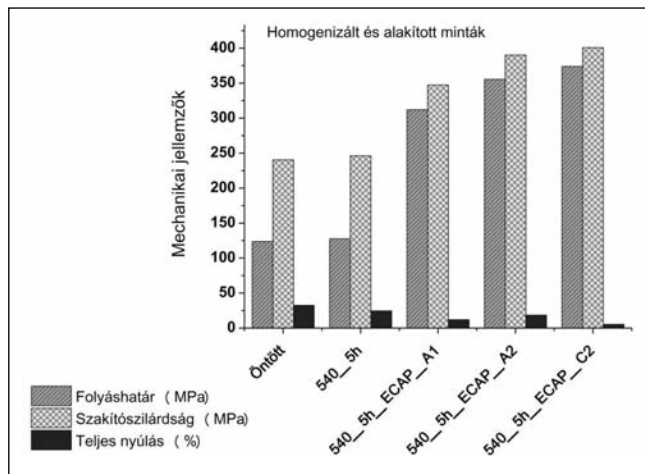
Homogenizálás		Alakítás	
Hőmérséklet (°C)	Idő (h)	Típusa	Alakváltozás mértéke
-	-	öntött	-
-	-	ECAP A utas	0,81
-	-	ECAP A utas	1,62
-	-	ECAP C utas	1,62
540	5	-	-
540	5	ECAP A utas	0,81
540	5	ECAP A utas	1,62
540	5	ECAP C utas	1,62
540	5	-	-
540	5	MF	1
540	5	MF	5

Az alakított mintákon szakítóvizsgálatot, mikrokeménység-mérést és korróziós tesztet végeztünk. A szakítóvizsgálatot és a mikrokeménység-mérés eredményeit az öntött és homogenizált mintákra a 3. és a 4. ábra oszlopdiagramjai foglalják össze.

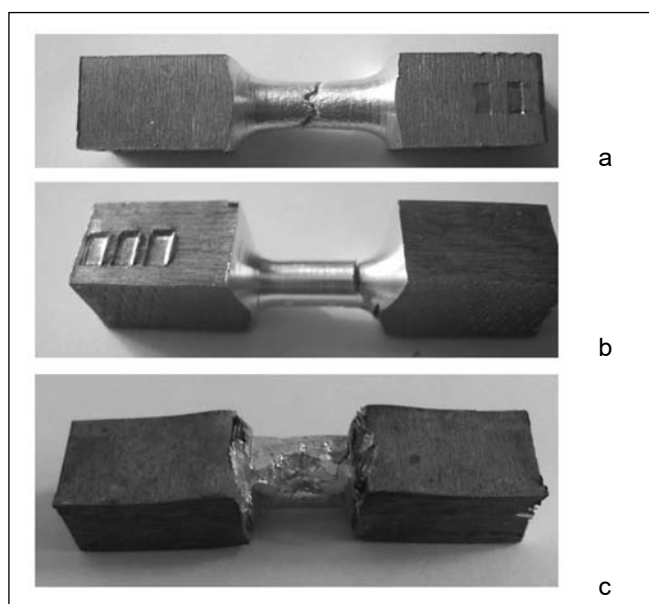
Az öntött állapotban szobahőmérsékleten alakított A utas és C utas minták mechanikai jellemzőit mutatja a 3. ábra. Az A utas alakításoknál az első átsajtolás az öntött szerkezet adta jellemzőket kétszeresére növeli, és ez további átsajtolásokkal már 3x-os szorzót jelent a folyáshatár értékeknél. A szakítószilárdságnál ez a növekmény kisebb mértékű, itt a háromszoros átsajtolás kb. 2x-es értéket ad, míg a nyúlásértékek drasztikus csökkenése figyelhető meg az első átsajtolás után, és kismértékű növekedés mutatkozik a második átsajtolásnál, majd ismételt csökkenés figyelhető meg a harmadik átsajtolás után.



■ 3. ábra. Öntött minták mechanikai tulajdonságai az alakítások függvényében



■ 4. ábra. Homogenizált minták mechanikai tulajdonságai az alakítás függvényében



■ 5. ábra. Szakító próbatestek a vizsgálat elvégzése után. a) 540 °C 5 h homogenizált minta; b) 540 °C 5 h MF 5 alakított minta; c) 540 °C 5 h MF 10 alakított minta

A homogenizált mintáknál már az első átsajtolás után a folyáshatár 2,5x-es, míg a szakítószilárdság értékek 1,5x-esére növekednek. A szívóssági értékek, itt jelen esetben a szakadási nyúlás felére csökken. A második átsajtolás további szilárdságnövekedést eredményez, bár ennek mértéke töredéke az első átsajtoláséhoz képest, de a szakadási nyúlás érték nem csökken, még kismértékben növekszik is.

A többtengelyű kovácsolással alakított minták esetén a homogenizált állapothoz képest több mint 2,5x-es folyáshatár-növekedés figyelhető meg, míg a szakítószilárdság 1,6x-os növekményt mutat. Ezzel szemben a szakadási/ teljes nyúlás értéke a homogenizált minta értékének a felére csökken. Azt azonban meg kell jegyezni, hogy az 5-ös alakítási mértéknél a minta elérte az alakíthatósági határát, ugyanis a szilárdsági értékek csak részben határozhatók meg, a szakadási nyúlás értéke pedig nem mérhető. A próbatesten az alakítást követően felületi sérülések jelentek meg, a szakítópálca kimunkálása is nehézkes volt, továbbá a többi mintához képest a próba nyakban szakadt. A 10-es alakítás után a próbatest teljes tönkrementelt mutatott.

3. táblázat. Az egyes technológiai útvonalakkal elért mechanikai tulajdonságok

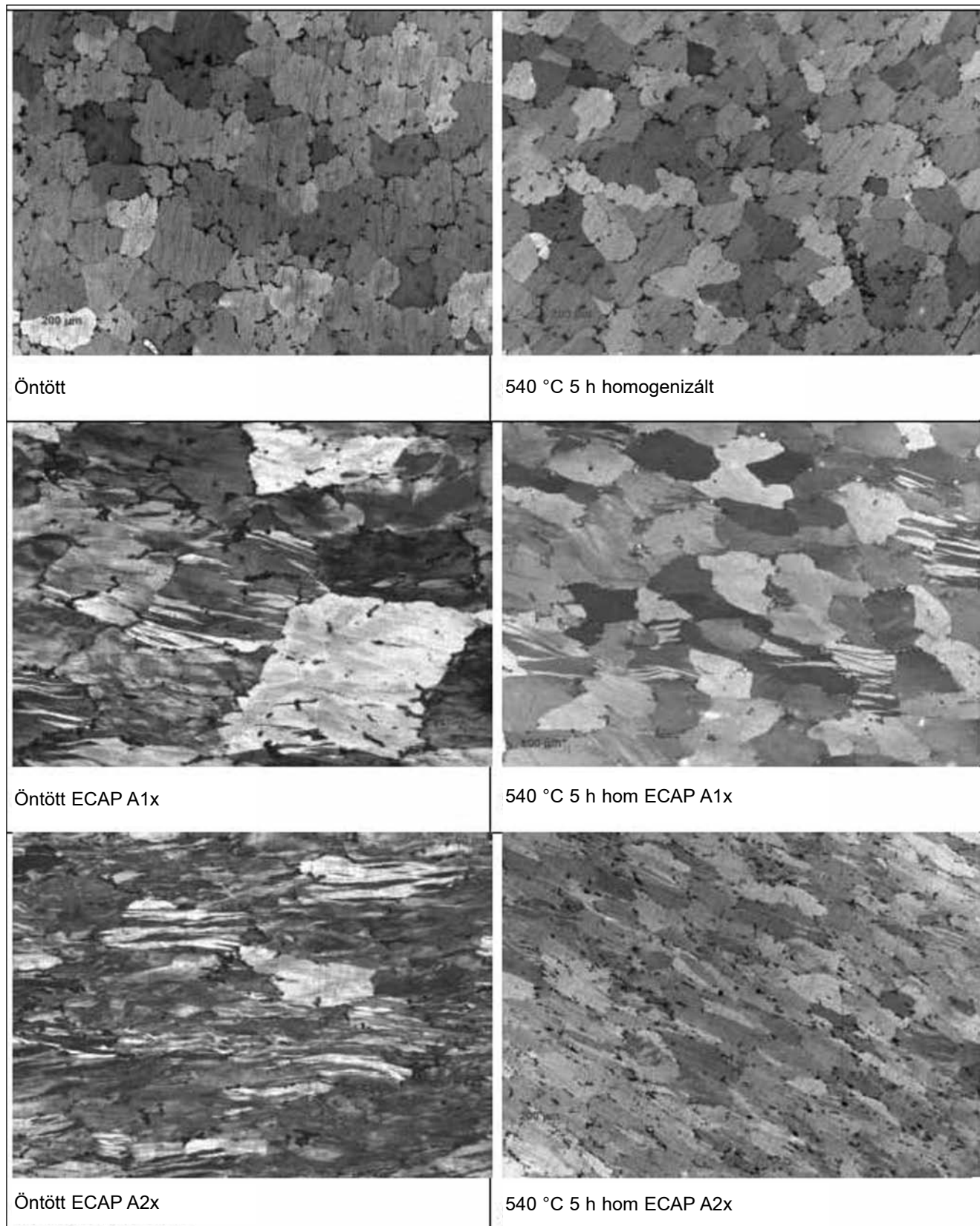
Homogenizálás		Alakítás		Keménység, HV0,3	Folyáshatár (MPa)	Szakítószilárdság (MPa)	Egyenletes nyúlás (%)	Teljes nyúlás (%)
hőmérséklet (°C)	idő (h)	típusa	alakváltozás mértéke					
-	-	öntött	-	67,0	123,8	240,5	20,1	32,5
-	-	ECAP A utas	0,81	96,0	277,5	335,6	4,6	11,2
-	-	ECAP A utas	1,62	118,3	334,5	377,5	4,6	14,4
-	-	ECAP C utas	1,62	123,0	345,2	381,6	2,5	4,0
540	5	-	-	70,7	127,7	246,2	18,2	24,6
540	5	ECAP A utas	0,81	100,0	312,1	347,4	4,2	12,0
540	5	ECAP A utas	1,62	127,8	355,5	390,2	4,2	18,5
540	5	ECAP C utas	1,62	126,7	373,9	400,9	3,5	5,3
540	5	-	-	70,7	128,7	254,0	19,6	27,3
540	5	MF	1	119,0	340,2	401,8	4,0	11,4
540	5	MF	5	140,5	-	220,2	-	-

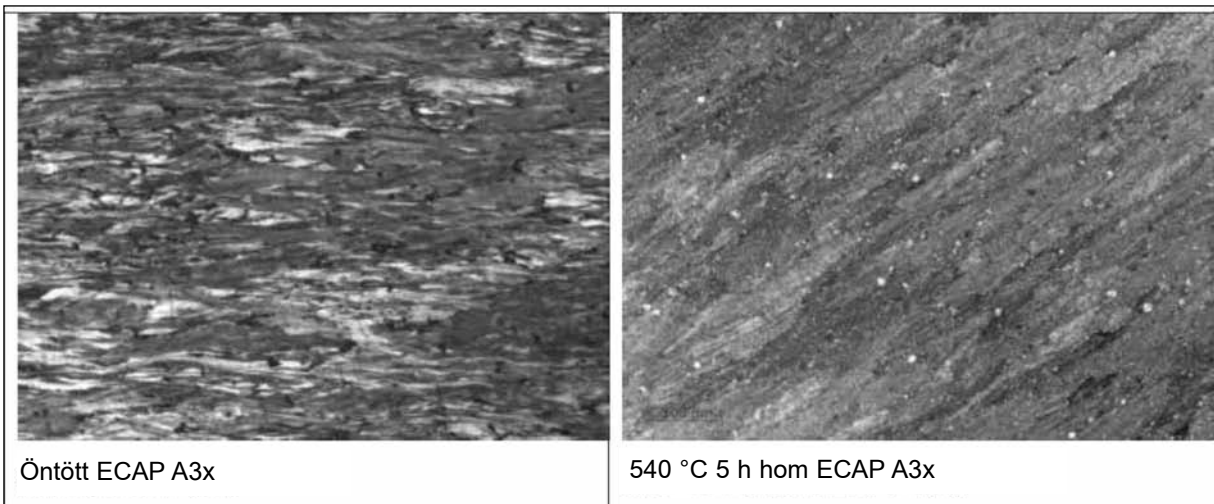
Szövetszerkezet-vizsgálat

Az öntött, illetve homogenizált, valamint az alakított mintákon szövetszerkezet-vizsgálatot végeztünk, hogy megfigyeljük a kiinduló dendrites szerkezet változását az alakí-

tások hatására. A 4. táblázat szövetképei jól szemléltetik, hogy az alakváltozás növekedésével a cellákon belül szubcellák alakultak ki, és a kezdeti közel ekvixiális szerkezet elnyújtott szendvicsszerkezetté alakul. A cellák mérete az átsajtolások számával finomodott.

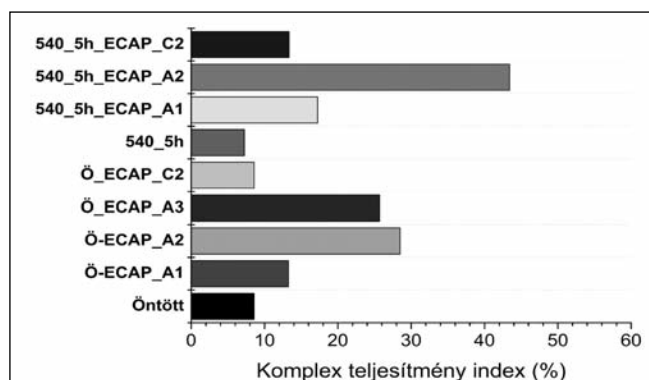
4. táblázat. Az Al5182 ötvözet szövetszerkezete öntött, homogenizált és alakított minták esetén





Teljesítményindex

A bevezetésben ismertetett komplex teljesítményindexszel minősítettük az egyes technológiai utakat. Az első körben a szilárdság–szívósság maximum, majd a korróziós teszt után a szilárdság–szívósság–korrózióállóság hármásának való megfelelés szempontjából. A 6. ábra mutatja a szilárdság–szívósság maximumának való megfelelés eredményeit. A sávdiaagramon jól látszik, hogy a homogenizált (540 °C 5 h) és könyöksajtolással (ECAP) kétszer A utas technikával alakított minta adja a legnagyobb CPI értéket, és ezzel messze meghaladja a többi technológiai útvonallal elért komplex teljesítményindexet.

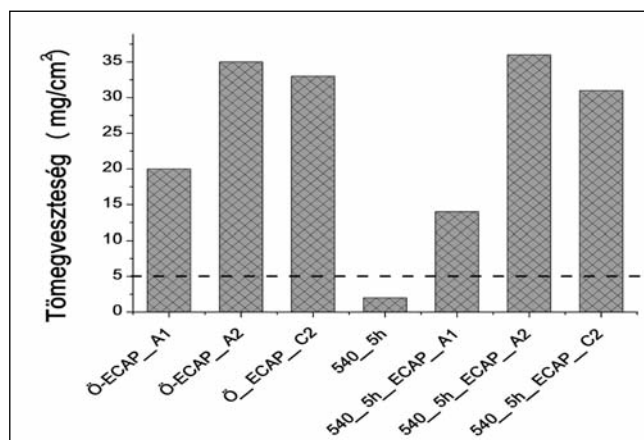


■ 6. ábra. Teljesítményindex-értékek a mechanikai jellemzők függvényében

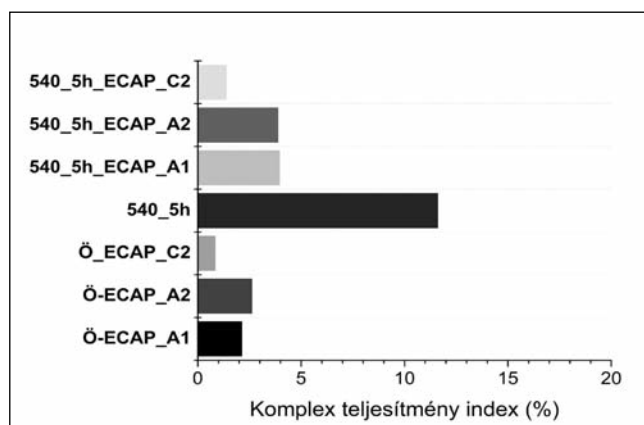
A mechanikai jellemzőkkel történt minősítést követően elvégeztük a bevezetőben ismertetett szigorított szemcsehatármenti korróziós tesztet. Sajnos nem minden minta volt alkalmas méreti adottságai miatt ennek kivitelezésére, továbbá meg kell jegyeznünk, hogy nem a szabványos mintageometriát követtük, mert az alakítások után erre nem volt lehetőség egyik minta esetén sem. Így a mintakialakítás során csupán arra törekedtünk, hogy síklapokkal határolt, hasáb alakú mintákat alakítsunk ki, hogy a szabvány által megkövetelt területszámításokat el tudjuk végezni. A vizsgálati eredményeket a 7. ábra mutatja. Jól látható, hogy a szigorított követelménynek csak egyetlenegy minta az 540 °C 5 h homogenizált próbatest felelt meg. A többi minta esetén a megengedett tömegvesztés többszörösét mértük. Ennek oka, hogy az alakításokkal elért szemcse/cellafinomodások kedveznek a szemcsehatármenti korrózió terjedésének, és így a tömegvesztés is többszörös lesz.

Ezt követően az új tényezőt is beépítettük a komplex teljesítményindex meghatározásába. Ezeket a már módosított értékeket mutatja a 8. ábra.

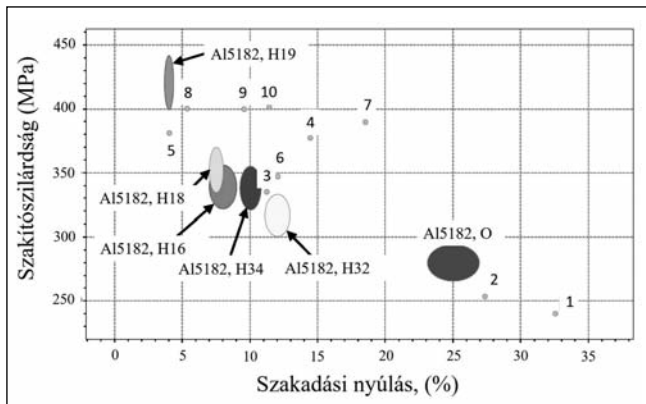
A sávdiaagramban drasztikus változások figyelhetők meg a korábbi szilárdság–szívósság maximumhoz képest. A korróziós teszt dominanciája egyértelműen azt mutatja, hogy ez az ötvözet intenzív képlékenyalakítás hatására erős korróziós hajlamot mutat, mely az autóipar számára már nem elfogadható. A vizsgálati eredmények alapján csak az 540 °C 5 h homogenizált, alakítást nem kapott minta teljesítette a szilárdság–szívósság–korrózióállóság hármásának való megfelelést.



■ 7. ábra. Korróziós teszt eredményei megfelelési szinttel



■ 8. ábra. A teljesítményindex alakulása ECAP minták esetén a korróziós tesztet követően



■ 9. ábra. Szakítószilárdság–nyúlás diagram az ipari és a kísérleti minták eredményeinek összefoglalására.

1 – Öntött, 2 – 540 °C 5 h homogenizált, 3 – Ö_ECAP_A1, 4 – Ö_ECAP_A2, 5 – Ö_ECAP_C2, 6 – 540 °C 5 h_ECAP_A1, 7 – 540 °C 5 h_ECAP_A2, 8 – 540 °C 5 h_ECAP_C2, 9 – Ö_ECAP_A3, 10 – 540 °C 5 h_MF_1

A kapott szakítószilárdsági és nyúlási értékeket összehasonlítottuk a CES EDUPACK szoftverben található különböző szilárdsági állapotú, ipari hagyományos technológiával (meleg- és hideghengerlés) gyártott Al5182 ötvözet mechanikai jellemzőivel, és az alábbi megállapításokat tehetjük (9. ábra):

- Az öntött állapotban 1x-es A utas könyöksajtólással alakított minta szilárdsági jellemzőjében eléri a H16-H18 állapotok értékeit.
- Homogenizálást követően végzett 1x ECAP A utas alakítás kombinációja az Al5182 ötvözet számára nagyobb szakítószilárdságot és nyúlás értéket jelent, mint az öntött kiinduló állapottal elért mechanikai jellemzők.
- A kétszeres átsajtólással a H18 állapothoz tartozó szilárdsági és nyúlás értékeknél nagyobb mechanikai jellemzők érhetők el.
- A homogenizált állapot kedvez a szilárdságnövekedésnek a kétszeres átsajtolás esetén is.
- Az öntött állapotban ECAP 3x alakítású minta szilárdsági értékét tekintve megközelíti a H19 állapotét, ugyanakkor kétszeres nyúlás értéket is mutat.
- A homogenizált állapotban ECAP 2x-es alakítást kapott minta eléri a H19 állapot értékeit, nyúlás tekintetében jobb érték adódott. A C utas 2x-es alakítás kisebb, de a H19-nél jobb nyúlást mutat, míg az A utas minta esetén a nyúlás érték több mint négyszerese a H19-es állapotnak.
- Mind szilárdsági, mind nyúlási maximumot a homogenizált állapotú (540 °C 5 h) és ECAP A utas 2x minta adta.

Következtetések

Kutatómunkánk célja az volt, hogy meghatározzuk az autóiparban gyakran használt Al5182 szilárd oldatos alumíniumötvözet teljesítőképességét különböző technológiai útvonalakra. A vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy a homogenizált állapot kedvez a szilárdsági jellemzők növelésének, és az alakítások hatására a mechanikai jellemzők a többszörösére növelhetők. Az ötvözet azonban az 5-ös alakváltozási mértéket már csak felületi repedések mellett viseli el, míg a 10-es alakváltozási mértéknél teljes tönkremenetelt mutat.

A mechanikai jellemzőkből meghatározott teljesítmény-index-értékek alapján az 540 °C-on 5 h homogenizált, majd ECAP A2x átsajtólással alakított minta mutatja a legjobb szilárdsági-szívóssági komplex maximumot.

Az ötvözetre jellemző szemcsehatárközi korrózió terjedését elősegíti az intenzív képlékeny alakítás indukálta szemcsefinomodás. A korróziós teszt eredményeit figyelembe véve, a homogenizált minta adja a legmagasabb/legjobb CPI értéket.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton mondanak köszönetet az EFOP-3.6.1-16-2016-00003 számú, „K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen” című projektnek. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] *Olaf Engler et al.*: Development of intermetallic particles during solidification and homogenization of two AA5xxx series Al-Mg alloys with different Mg contents; *Journal of Alloys and Compounds* 728 (2017) 669–681.
- [2] Quantitative Analysis of Texture Evolution in Cold-Rolled, Continuous-Cast AA 5xxx-Series Aluminium Alloys; *Metallurgical and Materials Transactions A*; Volume 35A, 265-277; (2004)
- [3] *Li a, W.C. Liua., H. Yuana, Y. K. Gaob*: Comparison of earing behavior between continuous cast and direct chill cast AA 5182 aluminum alloys during cold rolling and annealing *J Journal of Materials Processing Technology* 210 (2010) 2007–2015
- [4] *A. M. Glenn, S. P. Russo, J. D. Gorman, P. J. K. Paterson*: The effect of grain reöning on the microsegregation of aluminium–magnesium alloy 5182, *Micron* 32 (2001) 841–850
- [5] *R. Raj Mohan, R. Venkatraman, S. Kabilan and S. Raghuraman*: A review on deformation studies of aluminium alloys processed through equal channel angular pressing, *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res.* 2012
- [6] ASTM G67 – 13 Standard Test Method for Determining the Susceptibility to Intergranular Corrosion of 5XXX Series Aluminum Alloys by Mass Loss After Exposure to Nitric Acid (NAMLT Test); ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Jan 5 06:51:07 EST 2015 1, Downloaded/printed by Alcoa Inc (Alcoa Inc) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.
- [7] *Ashby M.*: 2019. CES EDUPACK 2019 software, downloading date: 20th January 2020. http://support.granta.com/resources/cesedupack/2019/help/topic1.htm?rhcsh=1#t=html%2Fchart%2Fpif_about.htm
- [8] *M Saravanan, R M Pillai, B C Pai, M Brahmakumar and K R Ravi*: Equal channel angular pressing of pure aluminium – an analysis, *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 29, No. 7, December 2006, pp. 679–684.
- [9] *Y. J. Chen, Y. C. Chai, H. J. Roven, S. S. Gireesh, Y. D. Yu, J. Hjelen*: Microstructure and mechanical properties of Al–xMg alloys processed by room temperature ECAP, *May 2012 Materials Science and Engineering A* 545:139–147.
- [10] *Judit Pázmán, Péter Bereczki, Gábor Ladányi, Zoltán Bachman, Balázs Verő*: Effect of the Multiple Forging and Aging on the mechanical properties of AlMgSi1 Alloy, *NanoSPD6*, Metz, France, June 30 – July 4, 2014. poster presentation.
- [11] *Pázmán Judit, Bereczki Péter, Verő Balázs, Kardos Ibolya, Fehér Jánosné*: Intenzív képlékeny alakítás hatása az AlMgSi1 ötvözet mesterséges Öregítésére, *OATK 2013 szóbeli előadás*; IX. Országos Anyagtudományi Konferencia, 2013. október 13–15.; Balatonkenese
- [12] *Pázmán Judit*: Porkohászati és öntészeti AlCuSiMg-ötvözet könyöksajtólása, 2010; Miskolci Egyetem