

SZALVA PÉTER – ORBULOV IMRE NORBERT

A vákuumos kilevegőzés hatása a nyomásos alumíniumöntvények mechanikai tulajdonságaira

A nyomásos öntvények porozitása fontos kérdés, mert a darabok mechanikai tulajdonságait és a későbbi feldolgozást erősen befolyásolja. A tanulmányban bemutatott peremfeltételek mellett a porozitása 57%-kal csökkent a vákuumos kilevegőzés nélkül öntött darabokhoz képest. Ennek következményeként a mechanikai tulajdonságok szignifikánsan javultak. A porozitás csökkenését mikroszerkezeti vizsgálatokkal, a mechanikai tulajdonságok növekedését pedig szabványos körülmények között végzett mechanikai vizsgálatokkal igazoltuk.

1. Bevezetés

Az autópár és az autópári beszállítók több évtizedes kihívása a járművek tömegcsökkentése. Az 1990–2010-es időszak alatt a járművek átlagos tömege 10%-kal, miközben az üzemanyag fogyasztása 6-8%-kal csökkent [1]. Ennek legfőbb okai abban keresendők, hogy az öntés technológiája képes kielégíteni az alkatrészekkel szemben növekvő funkció-integritás igényét (bonyolult geometria). Továbbá, a könnyűfém ötvözetek alapanyagként szolgáltatnak kiváló feldolgozhatóságot, nagy korrózióállóságot [2]. Az Al-Si és az Al-Si-Cu öntészeti alumíniumötvözetek széles körben alkalmazott autópári alapanyagok a jó önthetőségük és kedvező árak miatt.

Abban az esetben, ha a gyártott darabban szemben nagy elvárás a felület kiváló minősége, az alakhűség és a geometriai méretpontosság, valamint a nagy darabszám, akkor a nyomásos öntés egy lehetséges válasz-

tás [3]. A nyomásos öntéssel előállított alkatrészek teherbírása jó, azonban a tömegtermelés alapját képező olcsó szilumin ötvözetek alakváltozóképesége erősen korlátos, így szerkezeti elemként történő használatuk nem elterjedt. Az ipari igények azonban ezeket is egyre inkább megkövetelnék.

A hidegkamrás nyomásos öntés technológiai megvalósítása során az olvadt fémet nagy sebességgel a formaüregbe juttatjuk, ahol az nagy nyomás alatt szilárdul. Az olvadék formaüregbe juttatásakor a turbulencia miatt gázok záródnak a fémbe [4]. A levegő-bezáródásokat a szerszám vákuumos kilevegőzésével lehet csökkenteni. Azt a levegőmennyiséget, ami ezek után is az öntvényben marad, azt a szilárdulás közben a fémre ható nagy nyomás a lehető legkisebb méretűre nyomja össze [5]. Az így keletkező porozitás a darab mechanikai tulajdonságait rontja [6]. Ebből is következik tehát, hogy a darab geometriai kialakítása közvetlenül befolyásolja

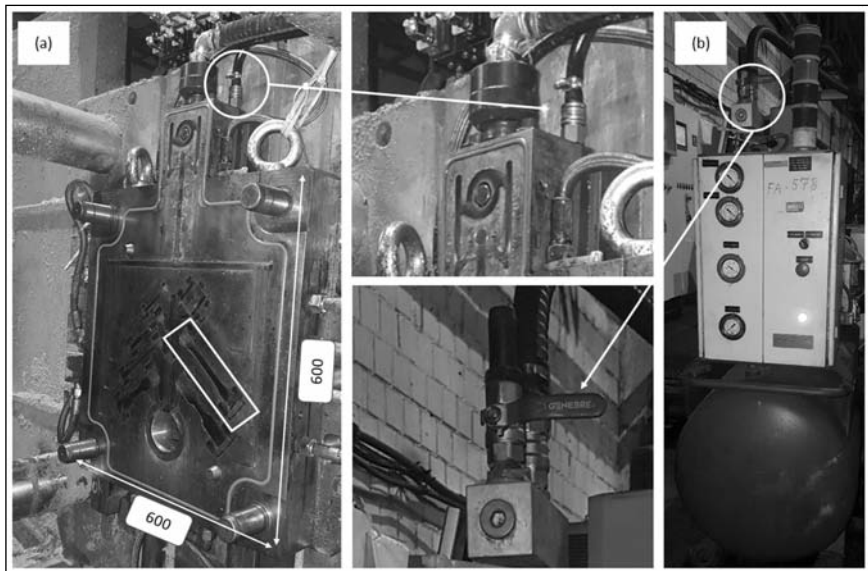
annak a minőségét [7]. A bezáródott gázok forrása többértű, a szerszámba zárt levegőn túl a lefújó anyag párolgása és a kenőanyagok égésterméke egyaránt lehetséges forrás. Járulékos nehézség a darab porozitásával, hogy öntést követően azonnal nem detektálható. Sokszor csak utófeldolgozás – mint oldó hőkezelés vagy hegesztés [8] –, során derül ki, hogy selejtet eredményezett. A porozitás csökkentésre a nyomásos öntés esetén egy lehetséges megoldás a vákuumos kilevegőzés.

A vákuumos kilevegőzés folyamatát az öntőgép öntési műveletének három fázisához igazodóan mutatjuk be. Az első fázisban a kamrába juttatott olvadékot a dugattyú kis sebességgel (0,2-0,5 m/s-mal) feltölti, és eljuttatja a töltőcsatorna és a formaüreg határára, a rávágásig. A második fázisban történik a nagy sebességű formatöltés 2-5 m/s-os dugattyúsebességgel. Végezetül a teljesen feltöltött formaüregben lévő fémre a dugattyú nagy utánnomást fejt ki. A vákuumos kilevegőzést egy vákuumszivattyúval elszívott tartályon és egy szerszámmra rögzített vákuumszelepen keresztül valósítják meg. Az elszívás az első fázisban, a dugattyúnak a kamra betöltőnyílása előtt elhaladását követően indul meg. Az elszívás a töltés folyamán végig fennál, a szelepet a folyékony fém lemeredése zárja le [9]. Így a levegő nagy hányada eltávozik a formaüregből [10].

Ebben a tanulmányban azt vizsgáltuk, hogyan hat a vákuumos kilevegőzés nyomásváltoztatása az öntvény mechanikai tulajdonságaira. Az AlSi9Cu3(Fe) ötvözet mechanikai tulajdonságait vizsgáltuk és értékeltük ki a kétváltozós Weibull-analízissel [11]. Az öntvény próbatetek töretfelü-

Szalva Péter 2006-ban diplomázott a BME Gépészmérnöki Karán, 2008-ban szerezte meg a hegesztő szakmérnöki diplomáját. 2015-től dolgozik a Fémalk Zrt.-nél, fő feladata a vákuumos kilevegőzéssel támogatott vízszintes hidegkamrás nyomásos öntészet és alkalmazási területeinek technológiai fejlesztése. Ipari kutatóként az öntvények inhomogenitásainak a darab élettartamára gyakorolt hatását vizsgálja.

Orbulov Imre Norbert 2009-ben szerzett PhD-fokozatot a BME Gépészmérnöki Karán, majd 2018-ban szerezte meg az MTA doktora címet. Jelenleg az Anyagtudomány és Technológia Tanszék egyetemi tanára és az MTA-BME Lendület Kompozit Fémhabok Kutatócsoport vezetője. Kutatási területe a fémmátrixú kompozitok és fémhabok előállítása öntészeti eljárásokkal, valamint a kompozitok tulajdonságainak vizsgálata.



■ 1. ábra. a) az öntőszerszám; b) vákuumtámogató egység

1. táblázat. Az alapanyag kémiai összetétele [12]

Ötvözet	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
	%							
DIN226	9,70	0,72	2,60	0,32	0,29	0,79	0,08	Maradék

leteit fénymikroszkóppal és pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. A próbaöntés során az ötvözet kémiai összetétele változatlan volt, egyedül a formaüregbe zárt levegő abszolút nyomását változtattuk a teszt során.

2. Felhasznált anyagok és módszerek

2.1. A vizsgált ötvözet

A próbákat az AlSi9Cu3(Fe) (EN AC 46000, DIN226) alumíniumötvözetből öntöttük. Az ötvözet kémiai összetételét az 1. táblázat foglalja össze. Az ötvözetválasztás oka, hogy ez egy olcsó és széles körben tanulmányozott nyomásos alumíniumötvözet, de a vákuumos kilevegőzés hatása kevésbé ismert. A választott ötvözetnek kedvező mechanikai tulajdonságai vannak, de a szakadási nyúlás értéke öntött állapotban szabvány szerint kevesebb, mint 1%. A kedvező mechanikai tulajdonságokat a szilícium (~9%) és a viszonylag nagy (~3%) réz-ötvözés adja, valamint az utóbbinak köszönhető a kiváló keményítés lehetősége. Az alapanyag „K” tömbjeit földgáztüzelésű kemencében olvasztottuk. Az olvadékat rotoros, nitrogén-gázos öblítéssel 6 percig kezeltük. Az öntés során egyetlen kezelt adagot

használtunk fel, amelyet egy automata adagolású ellenállás hevítésű hőtartó kemencéből adagoltunk.

2.2. A nyomásos öntőgép, az öntési paraméterek és a próbatest szerszám

A próbaöntést OMS 450-es típusú vízszintes hidegkamrás nyomásos öntőgéppel végeztük. Az öntőgép vezérlése adta a vákuumrendszert működtető jelet. A formaüregbe zárt gázokat a vákuumszelepen keresztül szívták el. A vákuumszelep egy VDS kinetikus szelep volt, amely közvetlenül csatlakozott a szerszám kilevegőzési rendszeréhez (1a ábra). A vákuumot egy külső egység szolgáltatta (1b ábra). A formaüreg nyomását a vákuumszelephez közvetlenül csatlakozó, de az elszívó cső csatlakozástól távoli helyen mértük, a csatlakozási pontot körrel jelöltük (1a ábra). A fojtószelep működésének eltérő hatását, amit az áramló közeg zavarására gyakorolhat és így a formaüreg nyomására, ezzel tudtuk kiszűrni. A kísérletben vizsgált három különböző nyomásértéket fojtószeleppel állítottuk be, amit körrel jelöltünk (1b ábra). A szerszámot egy zsinór alakú szilikongumi tömítéssel szigeteltük. A vákuum abszolútnyomás-értékét egy Thyracont VD81-es

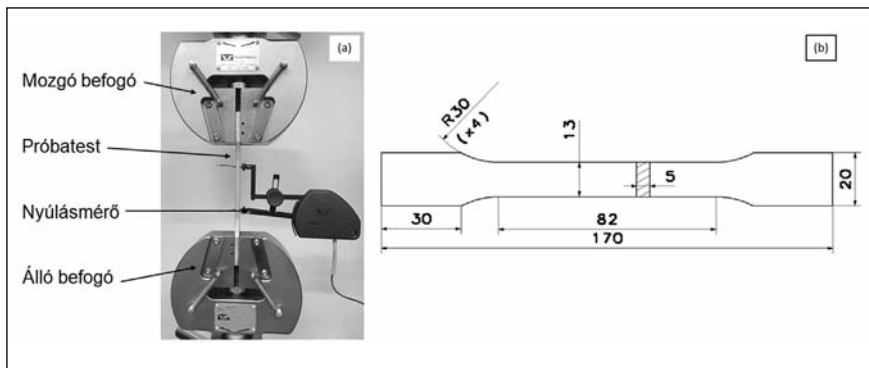
digitális nyomásmérő műszerrel mértük.

A próbaöntés során először a vákuumos kilevegőzés nélküli öntést végeztük el. A szerszám összegzett rávágási keresztmetszete 136 mm², a közösített kilevegőzési rendszer keresztmetszete a vákuumszelep előtt 33 mm². A vákuum kilevegőzéssel öntött tesztek során a formaüregbe 170 mbar, 90 mbar és 70 mbar-os abszolút nyomásértékeket állítottunk be. Minden egyes nyomásszinten 40 db csokrot löttünk, amiből az első 3 lövést technológiai okok miatt eldobtuk. A teszt során az olvadék hőmérsékletét 710 °C-on tartottuk, a szerszámfeleket 180 °C-os hőmérsékletre temperálták Tool-Temp TT-288-as típusú olajos hőszabályozó egységekkel. Az öntvénycsokor teljes térfogata a rávágási és kilevegőzési rendszerrel együtt 289,3 cm³, a kamrában maradt levegő térfogata 517 cm³ volt 39%-os töltöttségi fok mellett, 60 mm-es dugattyú keresztmetszettel. A dugattyú sebessége az első fázisban 0,5 m/s, a második fázisban 2,8 m/s volt. A harmadik fázisban a fémre ható nyomás értéke 704 bar volt. Öntést követően a darabokat vízben hűtöttük, és szobahőmérsékleten hevertettük legalább 8 napig.

2.3. Az öntött szakítópróbatesszt

Az öntött darabok mechanikai tulajdonsága erősen változhat egyik ponttól a másikra, ezért a vizsgált próbatest egy kistérfogatú öntött stancolt darab [13]. Az öntvények mechanikai tulajdonságai nagymértékben függenek az öntvény falvastagságától [14]. A munkában vizsgált próbatest vastagsága minden esetben 5 mm volt. A mechanikai tulajdonságokat Instron 5985-ös típusú mechanikus szakítógépen vizsgáltuk szobahőmérsékleten. Az elmozdulást finomnyúlás-mérő segítségével detektálták (2a ábra), a szakítási sebesség 1 mm/perc, a nyúlásmérő mérőhossza L₀ = 50 mm volt.

A szakítóvizsgálatot öntött, stancolt állapotban végeztük el további forgácsolás nélkül. A vizsgált próbatest geometriai viszonyait ábrával szemléltettük (2b ábra). Az osztósíki anyag-többletet finom csiszolópapírral távolítottuk el. A vizsgálatot az ISO 6892-1:2016 [15] szabvány alapján hajtottuk



■ 2. ábra. a) a szakítóvizsgálat elrendezése; b) a próbatest geometriája

végére, „D” típusú, 13×5 mm-es keresztmetszetű próbatesteken, „B” eljárással. Az ötvény oldalfala falferdeséggel rendelkezik, és 0,2 mm-es sarokrádiusszal, ezeket a keresztmetszet-számítás során figyelembe vettük. A próbatestválasztás oka továbbá, a Fémalk termékpalettáját is figyelembe véve, a lapos próbatest az ötvénycsokor legrepresentatívabb darabja a vizsgálati eredmények szempontjából.

2.4. Az ötvények minősítése

Az ötvények térfogati porozitását hidrosztatikus méréssel értékeltük ki, amit szabvány szerint hajtottunk végre BN-75/4051-10 [16]. Az ötvényeket megméri szárazon és vízbe merítve, a felhajtóerőből származó tömegkülönbséggel a próbatest sűrűsége, a következő összefüggéssel számolható (1) [17]:

$$\rho_s = \frac{m_{sz}}{m_{sz} - m_v} \rho_w \quad (1)$$

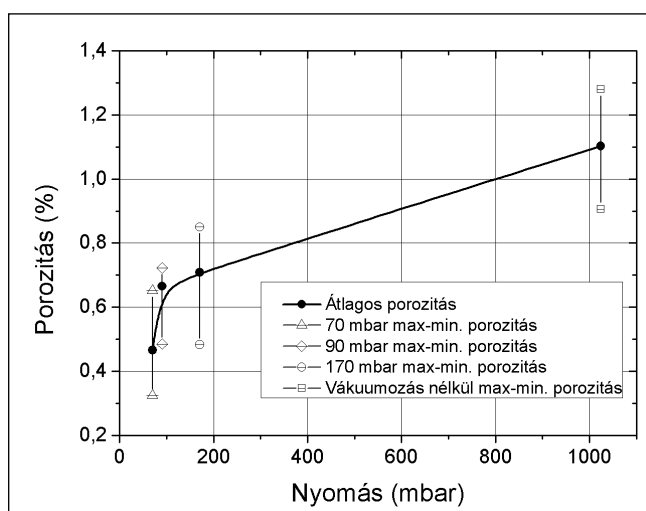
ahol ρ_s a próbatest sűrűsége (gcm^{-3}), ρ_w a víz sűrűsége (20°C -on $0,998 \text{ gcm}^{-3}$ az ITS-90 [19] alapján), m_{sz} a próbatest tömege szárazon m_v a próbatest tömege a vízben. A próbatest sűrűsége a porozitást is magában foglalja. Ezáltal, az adott próbatest porozitása a következő összefüggéssel számolható (2):

$$P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{Al}}\right) 100\% \quad (2)$$

ahol P a porozitás (%), ρ_s a korábban számolt pró-

batest sűrűség (gcm^{-3}), ρ_{Al} az AlSi9Cu3(Fe) ötvözet sűrűsége $2,75 \text{ gcm}^{-3}$ az EN1706 [18] szabvány alapján, összetételből számolt sűrűsége $2,736 \text{ gcm}^{-3}$.

A darabokat szakítóvizsgálat előtt röntgenvizsgálattal is ellenőriztük. A próbatestek zsugor- és gázporozitását az ASTM E505 [20] alapján értékeltük. A darabok minősége minden esetben az 1-es (legjobb) osztályba esett a vastagság alapján szigorított, legvékonyabb darab vastagság esetében is. Ennek oka a röntgen berendezés Yxlon MU2000 felbontóképessége, a próbatestek térfogata és a vákuumtámogatás. A röntgenberendezéssel detektálható legkisebb hibaméret 0,2 mm. Ezért a röntgenvizsgálat eredményét előminősítésnek alkalmaztuk a tesztek során. A tanulmány elsősorban a porozitás típusú inhomogenitásokat vizsgálta, ezért az oxidzárványral terhelt darabokat kizártuk a kiértékelésből. Az ötvények mikroszerkezetét Olympus BX51M fénymikroszkóppal vizsgáltuk. A töretek felületét



■ 3. ábra. Az átlagos porozitás értéke a vákuumtámogatás függvényében

Zeiss Evo MA15 pásztázó elektronsugaras mikroszkóppal (SEM) [21], az anyagösszetételt energiadisziperzív röntgenspektrométerrel (EDS) [22] vizsgáltuk.

2.5. A mechanikai tulajdonságok meghatározása

A mechanikai tulajdonságokat a kétváltozós Weibull-analízissel értékeltük ki. A választott eljárás oka, hogy az ötvények szilárdsága a technológia sajátosságai miatt nagy szórást mutat [11]. Tehát pusztán az eredmények átlagát venni nem kielégítő, figyelembe kell venni azok szórását is. Az eloszlás a következő összefüggéssel írható le (3):

$$F(x; \alpha, \beta) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (3)$$

ahol $F(x; \alpha, \beta)$ jelenti a valószínűséget, x az értékelni kívánt mechanikai tulajdonságot, β a Weibull-modulus, ami a (3) egyenlet átrendezésével és kétszeri logaritmizálásával a következő alakban írható (4):

$$\ln\{\ln[1/(1 - F(x; \alpha, \beta))]\} = \beta \ln x - \beta \ln \alpha \quad (4)$$

ahol β a kapott eloszlásra illesztett görbe meredeksége, x értékei a kísérletek során kapott mérőszámok, amelyeket növekvő sorba kell rendezni ($x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_n$). Végül az $F(x; \alpha, \beta)$ a kísérleti eredmények alapján a következő összefüggéssel írható le (5):

$$F(x; \alpha, \beta) = (i - 0,3)/(N + 0,4) \quad (5)$$

ahol i a rendezett mérési sor valamelyik eleme, N a mérések darabszáma [23].

3. Eredmények és elemzésük

3.1. A vákuumos kilevegőzés hatása a porozitásra

Az AlSi9Cu3(Fe) alumíniumötvözetből vákuumos kilevegőzéssel és anélkül gyártott próbatestekből 20 darab ötvényt választottunk. A vákuumos kilevegőzés nélküli, valamint 170 mbar, 90 mbar és 70 mbar abszolút nyomáson gyártott

darabok röntgeneredménye 1-es szintnek felelt meg, ez jó minőség. Idegen anyagot, nagyméretű zsugor- és gázporozitást nem detektáltunk. A 20 előmintából véletlenszerűen 15 próbatestet szakítottunk el.

A hidrosztatikus mérés alapján átlagolt értékeket nyomásszintenként ábrázoltuk (3. ábra). A vákuum hatására nemcsak a porozitás csökkent, hanem azok homogén eloszlást mutattak a röntgenfelvételek alapján.

Az átlagos porozitásértékekre illesztett görbe a 80-100 mbar-os nyomástartomány alatt erős csökkenést mutat.

3.2. Mechanikai tulajdonságok

Három meghatározó mechanikai mérőszámot vizsgáltunk egytengelyű szakítóvizsgálattal, és értékeltük ki Weibull-analízissel, nevezetesen az egyezményes folyáshatár ($R_{p0,2}$), a szakítószilárdság (R_m), és a szakadási nyúlás (A) értékeit. A kapott eredményeket táblázatban (2. táblázat) foglaltuk össze 50%-os és 95%-os megbízhatósági szinteken, összehasonlításként a legelső sorban a szabvány szerinti minimum értékeket tüntettük fel.

Az eredmények vizsgálata közben megfigyeltük az egyes megbízhatósági szinten számolt folyáshatárértékek minimális különbségét, ami a kis szó-

rással magyarázható. Továbbá, a porozitásgörbén a 90 és 70 mbar között, jelentős szilárdság- és nyúlásértéknövekményt tapasztaltunk. A kapott mechanikai mérőszámokat a porozitás függvényében ábrázoltuk (4. ábra), így függetleníve a vákuumtámogatás értékétől, mint technológia paramétertől.

Az 50%-os és 95%-os megbízhatósági szinten kapott pontokra egyeneseket illesztettünk, ami az alábbi egyenlettel írható le (6):

$$y = mx + b \quad (6)$$

ahol y az adott mechanikai tulajdonság, m a görbe meredeksége, x a porozitás értéke, b a mechanikai tulajdonság teoretikus értéke 0% porozitásnál.

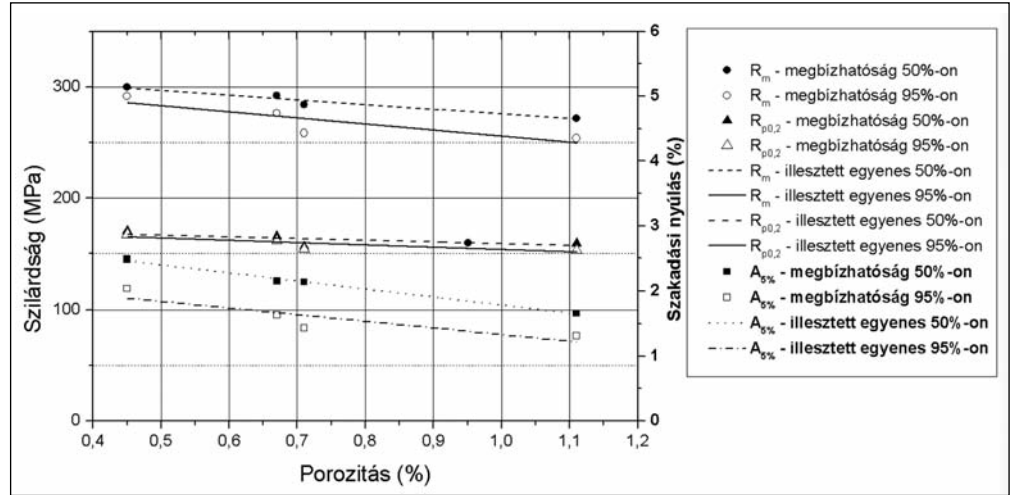
Az egyenesek egyenletei érvényesek a 0,4%-os porozitásnál nagyobb és 1,2%-os porozitásnál kisebb tarto-

mányban az eddig elvégzett kísérletek alapján. Továbbá, az adott alumínium-ötvözetre és természetesen öregített állapotban. Az egyenesek paramétereit táblázatban foglaltuk össze (3. táblázat).

A porozitás jelentősen befolyásolja az AISi9Cu3(Fe) ötvözet mechanikai tulajdonságait. A vákuumos kilevegőzés jelentősen csökkenti a porozitás mennyiségét és javítja a mechanikai tulajdonságokat.

3.3. A próbatest mikro- és makroszerkezete

A mechanikai tulajdonságok számottevően növekedtek 80-100 mbar-os abszolút nyomástartomány alatt. A szilárdságnövekmény a vákuumos kilevegőzés hatására következik be. Ennek igazolására az ötvényekből készült csiszolatokat szemcseszerkezet-vizsgálatnak vetettük alá, a töretek repedés kiindulási pontját pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. Az AISi9Cu3(Fe) ötvözet vákuumos kilevegőzés nélküli, valamint vákuumos kilevegőzéssel gyártott próbatestek azonos pontjából származó csiszolati képen (5. ábra) jól látható, hogy a szemcseszerkezet átlagos mérete és alakja nem mutat különbséget. A szemcseszerkezet méretét a másodlagos dendritágtávolsággal, az alakját pedig a dendritek morfológiájával minősítettük. A csiszolati képen látható, az ötvözet kémiai összetételével egyezően a jellemző fázisok a világoszürke α -Al, és a szemcsék határán a szürke, lemezes eutektikum. Az α -Al alumíniumban gazdag fázis, az eutek-



■ 4. ábra. Mechanikai tulajdonságok a porozitás függvényében, különböző megbízhatósági szinteken

2. táblázat. Az AISi9Cu3(Fe) mechanikai tulajdonságai különböző nyomásszinten

Nyomás (mbar)	$R_{p0,2}$ (MPa)		R_m (MPa)		A (%)	
	R 50%	R 95%	R 50%	R 95%	R 50%	R 95%
70	170,3	167,2	299,8	291,6	2,49	2,04
90	165,6	161,7	292,2	276,3	2,16	1,63
170	156,5	154,0	283,9	258,4	2,14	1,43
Léggöri	159,2	152,9	271,6	253,7	1,66	1,31
EN1706 szerint	140	140	240	240	< 1	< 1

3. táblázat. Az AISi9Cu3(Fe) mechanikai tulajdonságai különböző nyomásszinten

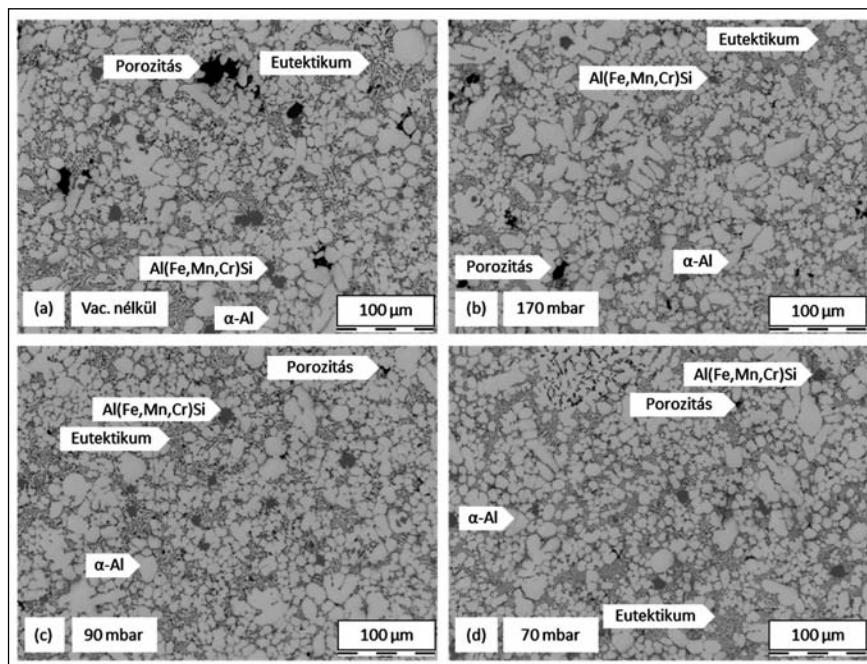
Paraméterek	$R_{p0,2}$ (MPa)		R_m (MPa)		A (%)	
	R 50%	R 95%	R 50%	R 95%	R 50%	R 95%
b	174,3	174,1	318,3	310,2	3,02	2,35
m	-15,5	-20,6	-42,7	-54,6	-1,24	-1,02

tikum α -Al és szilícium lemezes szerkezetű elegye. Az α -Al dendritesen, az eutektikum finom lemezes struktúrában kristályosodott. A csiszolatokon felismerhető még egy sötétszürke, poligonálisan kristályosodott fázis, ez a Al(Fe,Mn,Cr)Si intermetallikus vegyület. A csiszolati képeken továbbá jól látható a hidrosztatikus mérésel is igazolt térfogati porozitáscsökkenés. Ez a porozítások méret és darabszám csökkenésével, továbbá azok homogén eloszlásával is igazolható. A porozítások átlagos mérete vákuumos kilevegőzés nélkül $0,391 \pm 0,215$ mm, vákuumos kilevegőzéssel 170 mbar-on, $0,327 \pm 0,170$ mm, 90 mbar-on $0,283 \pm 0,123$ mm, és 70 mbar-on $0,223 \pm 0,055$ mm.

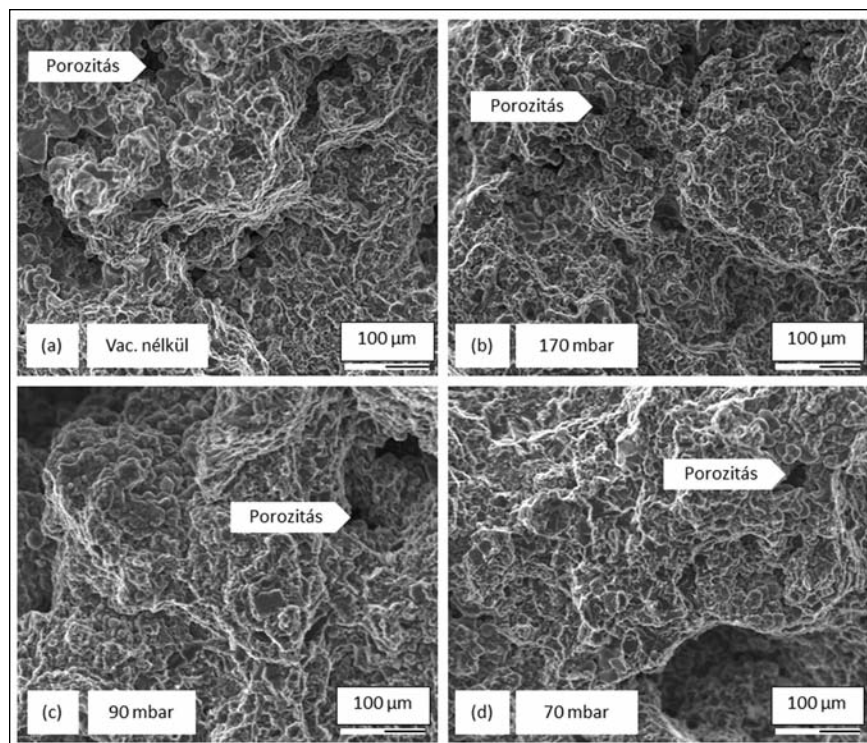
Azokat a darabokat, amelyek töretek szabad szemmel is jól látható alumínium-oxid hányót tartalmazott, kivettük a kiértékelésből, mert a jelen tanulmány célja a porozitás hatásának a vizsgálata.

A töretfelületi repedés kiindulási pontját pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. Az alumínium fémes kötésű, lapon középpontos kockarácsba rendeződik, ami a legképlékenyebb köbös rács, olvadáspontja 660 °C. A nagy mennyiségű (~ 9%) szilícium eutektikumot képez az alapfémmel, ami az adott ötvözet legalacsonyabb olvadáspontját (~ 580 °C), és a legkisebb szilárdulási zsugorodását biztosítja az ötvözetnek. A szilícium nagy keménységű, gyémántráccsal rendelkező elem, olvadáspontja 1414 °C. Az ötvözet töretfelülete, a két fő ötvözőre szobahőmérsékleten jellemző sajátosságot mutat, képlékeny és ridegtöret együttese, ami hasadásos töretet eredményez (6. ábra).

A porozítások környezetének alapos tanulmányozása közben arra a megfigyelésre jutottunk, hogy azok mérete és mennyisége mellett az alakjuk is változik az abszolút nyomásszint változtatása közben. Míg vákuumos kilevegőzés nélkül a zsugorodási és gázporozítások egyaránt jelen voltak, addig ezek vákuumos kilevegőzése hatására már csak zsugorodási porozítások formájában voltak felismerhetők. A töreteken vizsgált zsugorodási üregek belseje szabálytalan (7. ábra), az éles élék az eutektikum, a gömbölyű formák az alumínium dendritáinak a jelenlétére utalnak.



■ 5. ábra. Az öntvénycsiszolatok mikroszkópi felvétele különböző nyomásszinteken: a) Légköri nyomáson; b) 170 mbar-on; c) 90 mbar-on; d) 70 mbar-on



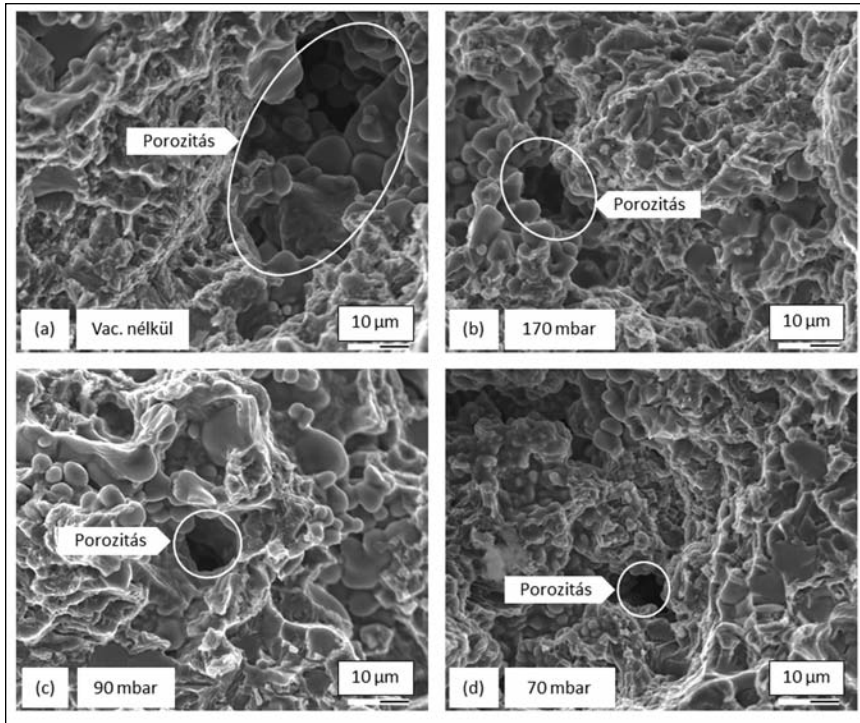
■ 6. ábra. A töretfelületek SEM-képe a különböző nyomás szinteken: a) Légköri nyomáson; b) 170 mbar-on; c) 90 mbar-on; d) 70 mbar-on

4. Következtetések

Az AlSi9Cu3(Fe) ötvözetből vákuumosítás nélkül, és vákuumos kilevegőzéssel gyártott nyomásos öntvény próbatesteken végeztünk szakítóvizsgálatokat, az ISO 6892-1:2016 szabvány szerint. A vákuumos kilevegőzés értékei 170 mbar, 90 mbar és 70 mbar

volt. Az öntvények mikroszkópos és szilárdságvizsgálata azt igazolta, hogy a vákuumos kilevegőzés csökkenti az öntvények porozitását, ami ezen keresztül javítja az öntvények szilárdsági és szakadási nyúlási értékeit.

A tanulmányban közölt adatok alapján az öntvény porozitása vákuumosítás nélküli öntött darabokon



■ 7. ábra. A porozítások környezete nagy felbontású SEM-képeken a különböző nyomásszinteken: a) Vákuumozás nélkül; b) 170 mbar-on; c) 90 mbar-on; d) 70 mbar-on

1,10%-os mért értékről 0,47%-ra csökkent 70 mbar-os vákuumos kilevegőzéssel öntött darabok esetén, ami 57%-os csökkenés. Ennek hatására a porozítások átlagos mérete csökkent, a mechanikai tulajdonságok javultak az azonos vastagságú próbatesteken. A szilárdsági és nyúlási értékek javulása 0,4%-os porozításon, az illesztett egyenes alapján: egyezményes folyáshatár 159,2 MPa-ról 170,3 MPa-ra (7%-os javulás), szakítószilárdság 271,6 MPa-ról 299,8 MPa-ra (10%-os javulás), szakadási nyúlás 1,66%-ról 2,49%-ra (50%-os javulás).

A legkisebb nyomású vákuumos kilevegőzéssel öntött darabok SEM-képe azt mutatta, hogy a tönkremenettel helyén talált porozítások jellemzően zsugorodásból származtak.

Köszönetnyilvánítás

A kísérletek megvalósításában nyújtott segítségért köszönetet mondunk a FÉMALK Zrt.-nek.

Irodalom

[1] G. Tyler Miller, Jr., Scott E. Spoolma: Living in the Environment, (Cengage Learning, 2011), pp. 396
 [2] Dobránszky J., Bernáth A., Orbulov I.: Magnézium: a fém, mely nagyon

könnyű, de fontosnak találtatt (1–2. rész) BKL Kohászat, 2005. 5. sz., 33–40.

[3] Jorstad, J. & Apelian, D.: Pressure Assisted Processes for High Integrity Aluminum Castings, IJMC, 2/1. 19–39.(2008)<https://doi.org/10.1007/BF03355420>
 [4] Léránth Gábor, Barkóczy Péter: Nyomásos öntvények vizsgálata, Anyagmérnöki Tudományok, 37. kötet, 1. szám (2012.), 277–284.
 [5] Dúl Jenő: Nyomásos öntészeti ismeretek, (TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0001) 20–62. https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0001_1A_A4_05_ebook_nyomasos_onteszeti_ismeretek/A4_05_nyomasos_onteszeti_ismeretek.pdf
 [6] A. Zyska, Z. Konopka, M. Lagiewka, M. Nadolski: Porosity of Castings Procedure by the Vacuum Assisted Pressure Die Casting Method, Foundry Engineering, 1. 125–130. (2015)
 [7] Jenő Dúl, Zsolt Leskó: Effect of composition and wall thickness on mechanical properties of high pressure die castings, Material Science Forum Vols. 790–791, 2014., 241–246.
 [8] Szalva Péter: Vákuumöntésű nyomásos alumínium alkatrészek fo-

gyóelektródás, védőgázos hegesztése, BKL Kohászat, 2018. 1. sz., 14–18.

[9] Y. Wen-bo, Y. Zi-hao, G. Zhi-peng, X. Shou-mei: Characterization of A390 aluminum alloy procedure at different slow shot speeds using vacuum assisted high pressure die casting, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 27/12. 2529–2538. (2017)
 [10] X.P. Niu, B.B. Hu, I. Pinwill, H. Li: Journal of Materials Processing Technology, 105, 119–127 (2000)
 [11] John Campbell, Castings (Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003) 314–318.
 [12] Dr.-Ing. Werner Hesse: Key to Aluminium Alloys (Aluminium-Verlag, Düsseldorf; 2008) p. 88.
 [13] Abdel Illah Nabil Kortí, Said Aboudi: Effects of Shot Sleeve Filling on Evolution of the Free Surface and Solidification in the High-Pressure Die Casting Machine, IJMC, 11/2. (2017) DOI 10.1007/s40962-016-0051-5
 [14] Leskó Zsolt, Dúl Jenő: Az összetétel és a falvastagság hatása a nyomásos öntvények mechanikai tulajdonságaira, BKL Kohászat, 2013. (146. évf.) 5–6. sz. 14–19.
 [15] ISO 6892-1:2016: Metallic materials – Tensile testing – Part1, Method of test at room temperature, (2016)
 [16] BN-75/4051-10: Porosity of Casting by hydrostatic weighing, (1975)
 [17] Z. Shiwei, S. Kun, H. Feng, Z. Fan: A new dropper-type gas flow measuring method based on weighing principle, Vacuum, 145. 203–208. (2017)
 [18] EN 1706:2013-12: Aluminium and aluminium alloys – Castings: Chemical composition and mechanical properties, (2013)
 [19] ITS-90 Density of Water Formula for Volumetric Standards Calibration, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 97, 3, 336–340. (1992)
 [20] ASTM E505-15: Standard Reference Radiographs for Inspection of Aluminum and Magnesium Die Castings, (2015)
 [21] M. Wicke, A. Brueckner-Foít, T. Kristen, M. Zimmermann, F. Buel-

buel, H.-J. Christ: Near-threshold crack extension mechanism in an aluminum alloy studied by sem and X-ray tomography, International Journal of Fatigue, 113. 87–98. (2018)

[22] Asghar Azizi: Investigation the controllable factors influencing the weight loss of grinding ball using

SEM/EDX analysis and RSM model, Engineering Science and Technology, an International Journal, 18. 278–285. (2015)

[23] C. Hanxue, H. Mengyao, S. Chao, L. Peng: The influence of different vacuum degree on the porosity and mechanical properties of aluminum die casting,

Vacuum, 146. 278–281. (2017)

[24] Kittiphan Bangyikha: Effect of Oxide film, Fe-rich phase, Porosity and their Interactions on Tensile Properties of Cast Al-Si-Mg Alloys (PhD thesis of the Faculty of Engineering of The University of Birmingham, 2005) pp. 45.

50 éves a Ganz Ábrahám Öntödei Gyűjtemény, a volt Öntödei Múzeum

Szeptember 27-én ünnepre készülődött a magyar öntész társadalom, az 1969. szeptember 24-én megnyitott Öntödei Múzeum félévszázados jubileumára.

Mások mellett elsősorban Kiszely Gyula technikatörténész érdeme, hogy Buda közepén megmenekült a lebontásra ítélt Ganz Törzsgyár kéregkerék-öntődéje, s mintegy öt éves előkészítő munka után, az épületet ipari műemlékké nyilvánítva és az eredeti berendezések javát ugyancsak védett műemlékként megőrizve, létrehozták Közép-Európa első öntödei múzeumát. Egy olyan szakmúzeumot, amelynek egy több mint 150 éve épült, a kor úttörő megoldásait alkalmazó ipari csarnok ad otthont, s amely végig öntödeként működött, nagyrészt a gyáralapító Ganz Ábrahám eredeti technológiáját alkalmazva.

A múzeum néhány nappal korábbi, műszaki okok miatti kényszerű bezárása következtében az ünneplésre érkező mintegy 120 vendég a múze-

um kertjében gyülekezett (1. kép). A Bányászhimnusz harangjátéka adott jelt a kezdésre, majd Boross Péter és dr. Ládai Balázs cantus praeseként intonálták a vendégköszöntő nótát. Dr. Hatala Pál egyesületi elnökünk nevében, távolléte miatt dr. Lengyel Károly üdvözölte a megjelenteket s vezette le az ünnepséget. Név szerint is köszöntötte dr. Peter Burkhardot, Svájc magyarországi nagykövetét, Ernyey Lászlót, a II. ker. Polgármesteri Hivatal tanácsnokát, dr. Németh Györgyöt, a TICCIH (Ipari Örökség Megőrzésével Foglalkozó Nemzetközi Bizottság) Magyar Szakbizottsága elnökét, Nagy Gergelyt, az ICOMOS (Műemlékek és Műemlékhelyszínek Nemzetközi Tanácsa) Magyar Nemzeti Bizottsága elnökét és Kovács Sándort, a Magyar Öntészeti Szövetség elnökét (2. kép).

Elsőként Maderspach Kinga kapott szót, aki úkapjáról írt könyvére hívta fel a jelenlevők figyelmét. Maderspach Károly 1823-tól 1849-ben bekövetkezett tragikus haláláig az egyik fontos

erdélyi kohászati üzem, a Ruszka-bányai Vasmű társtulajdonosa volt.

Ezt követően dr. Peter Burkhard köszöntötte a jelenlevőket, bevezető szavait Lathwesen László tolmácsolta. A beszéd további részét dr. Lengyel Károly olvasta fel magyarul. A nagyköveti beszéd utalt a két ország több évszázadra visszavevethető kapcsolatára, s a hazánkban megtelepedett híres svájciak munkáját méltatta, részletesebben szólva Ganz Ábrahám tevékenységéről, sőt a Ganz cég és a tiszteletbeli konzulnak kinevezett Ulrich Keller kapcsolatáról. Fontosnak tartotta megemlíteni, hogy jelenleg is több mint 300 svájci cég tevékenykedik hazánkban, hozzájárulva a magyar gazdaság eredményeihez, ápolva a két ország közötti kapcsolatokat.

A köszöntők sorában dr. Németh Györgyi következett, aki felolvasta dr. Miles Oglethorpe-nak, a TICCIH igazgatójának dr. Hatala Pálhoz írt levelét. A levélben az a határozott óhaj fogalmazódik meg, hogy az Öntödei Mú-



■ 1. kép. Az ünnepség színhelyén, a múzeum kertjében



■ 2. kép. A vendégek az első sorban: Ernyey László, Lathwesen László mellett dr. Peter Burkhard és munkatársa. Háttal Ráday Mihály és dr. Németh Györgyi