

MISKOLCI EGYETEM
KERPELY ANTAL ANYAGTUDOMÁNYOK ÉS TECHNOLÓGIÁK
DOKTORI ISKOLA
ÖNTÉSZETI INTÉZET
DOKTORI ISKOLA VEZETŐJE: PROF. DR. MERTINGER VALÉRIA



Eltérő módon bevitt hőmennyiség hatása a gázhólyag képződésére AlSi7-ötvözet esetén

DOKTORI (PH.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

MIKÓNÉ MÁDI LAURA

okleveles kohómérnök

TUDOMÁNYOS TÉMAVEZETŐ:

DR. VARGA LÁSZLÓ

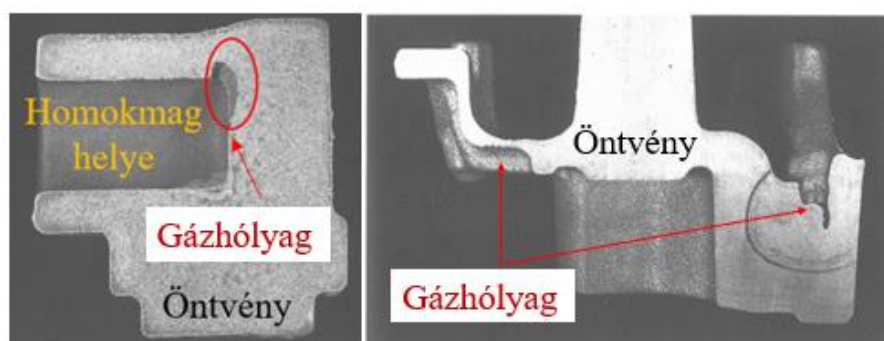
egyetemi docens

MISKOLC

2022

1. BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK

Az öntészeti tudomány és technológia fejlődésének köszönhetően újabb lehetőségek nyílnak a komplex geometriájú és a vékony, kis falvastagságú öntvények gyártására. A bonyolult öntvénygeometria nagyobb olvadt fémrel érintkező homokmagfelületet eredményez [1]. A mag felületének növelése és a maggáz kilevegőztetési nehézségek jelentősen befolyásolják a homokmagban kialakuló gáznyomás nagyságát és az öntvénybe történő gázbetörési hajlamot. A műgyantás homokmag kötőanyagának kiégése során fejlődő gázok az öntvényben gázhólyagos öntvényhibákat okozhatnak, amelyek akár egy-két centiméteres méretük miatt jelentősen csökkentik az öntvény szilárdságát és élettartamát [2-8]. Az 1. ábrán egy öntöttvas öntvényben található, maggáz okozta gázhólyagos öntvényhiba látható.



1. ábra Öntöttvas öntvényben található maggáz okozta gázhólyagos öntvényhiba [2]

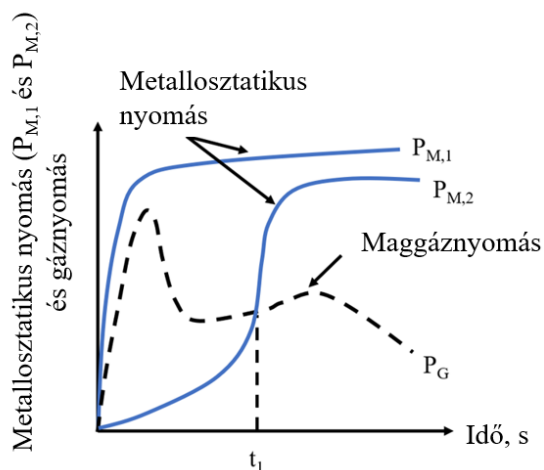
A homokmagban feltorlódott gázok útját a homokmag homokszemcséi között található bonyolult alakú pórusjáratok, valamint a maggáz/fém határfelületen fellépő határfelületi erők befolyásolják. A természeti törvények alapján a gázok a kisebb ellenállás felé áramlanak.

A szakirodalom jelen állása szerint [2, 3], ha a homokmag feletti fémolvadék magasságával arányos metallosztatikus nyomás mindvégig nagyobb, mint a homokmagból felszabaduló maggáznyomás, gázhólyag nem alakul ki, amelyet a 2. ábra szemléltet és az (1)-es egyenlettel írható le:

$$p_{gáz,max} < \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

ahol,

- $p_{gáz,max}$: a homokmagból felszabaduló maggáz nyomása, Pa
- ρ : a folyékony fém sűrűsége, kg/m^3
- g : gravitációs gyorsulás= $9,81 m/s^2$
- h : a homokmag fölötti olvadékoszlop magassága, m.



2. ábra A metallosztatikus és a maggáznyomás viszonya [1]

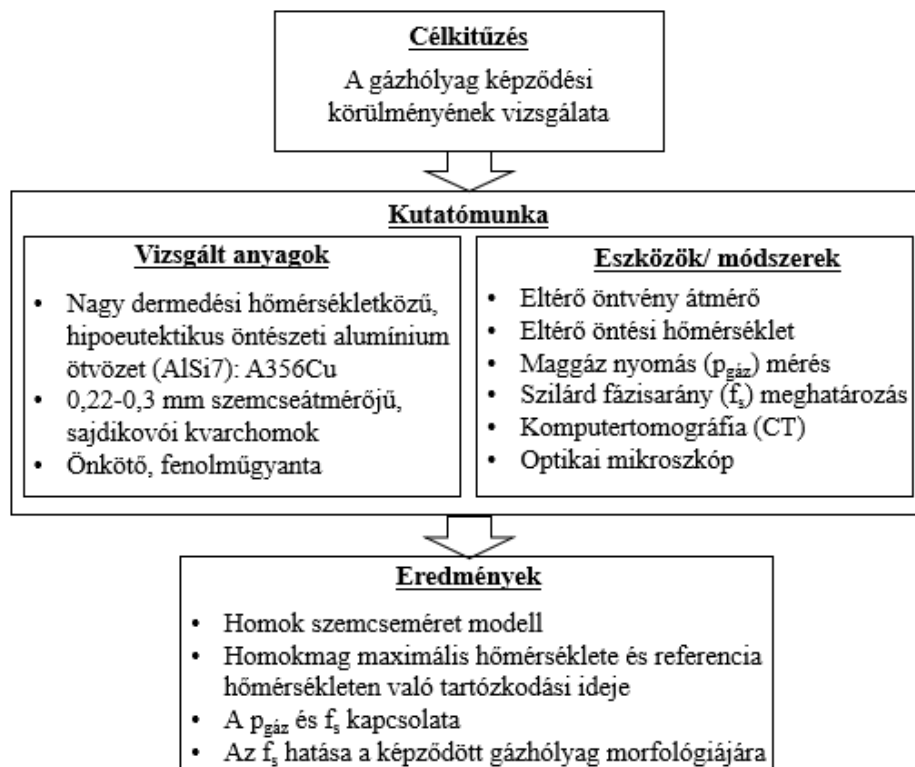
Campbell a gázhólyag kialakulásának elkerülése érdekében az öntési hőmérséklet növelését javasolja [4]. Elmélete szerint a maggáznak a dermedés során kialakuló vékony kéreg kialakulása előtt, a folyékony fémen keresztül még lehetősége van eltávozni. Ez legtöbb esetben az öntvény károsodásával párosul, hiszen az eltávozott gázhólyag után visszamaradó oxidhártya az öntvényben nyomástömorségből adódó öntvényhibát okozhat. Erbslöh és társai az öntési hőmérséklet, a formatöltési sebesség és a metallosztatikus nyomás növelésére hívják fel a figyelmet [2]. Az olvadék öntési hőmérséklete azonban fontos technológiai paraméter, továbbá az alumínium ötvözeteket általában kokillába öntik, ahol a kokilla falán rövid idő alatt vastag öntvénykéreg keletkezik, ami megakadályozza a gázhólyagok dermedő öntvényből való kijutását.

A tématerület szakirodalmának a tanulmányozása során azt a megállapítást tettem, hogy a gázhólyag képződés körülményei nem evidensek, csak ajánlások vannak azok elkerülésére vonatkozóan. Több szakirodalom utal a téma fontosságára és kutatási lehetőségeire, többek között az eltérő olvadék (alumínium, bronz, öntöttvas) minőség és a különböző hővezetési tulajdonságokkal rendelkező homoktípusok esetén kialakuló gáznyomás változásának a vizsgálatára [9-11].

2. AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI, VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Doktori kutatómunkám fő célja a gázhólyag képződési körülményeinek a vizsgálata, ezért olyan kísérleti tervet állítottam össze, amely segítségével alumínium olvadék által eltérő bevitt hőmennyiség esetén jól modellezhető a fém/homokmag között végbemenő gázhólyag képződési folyamat. A tématerülethez kapcsolódó szakirodalmakban a gáznyomás változását csak eltérő homokmag receptúra, maggeometria és olvadékminőség esetén vizsgálták. Valós öntvénygyártási körülmények során előfordul, hogy egy

receptúrával készült homokmag a különböző részein eltérő mértékű hőterhelésnek van kitéve. Tehát magkészítés során olyan homokmag receptúrát kell választani, amely eltérő hőterhelés esetén is alkalmas az adott öntvény gyártására. Az előkísérleteim során tapasztalt nagyszámú gázhólyagos öntvényhiba miatt arra a következtetésre jutottam, hogy a maggáznyomás mérés önmagában nem elegendő a gázbetörés körülményeinek vizsgálatára, ugyanis a dermedő határfelületi réteg is jelentősen befolyásolja a gázhólyag megjelenési formáját, valamint a mért maggáznyomás értéke tartalmazza az esetleges gázbetörés okozta nyomáscsökkenést is. Az általam elvégzett kutatómunka folyamata a 3. ábrán látható.



3. ábra A kutatómunka felépítése

A világon a legelterjedtebb könnyűfémötvözet típus az alumínium-szilícium (AlSi) ötvözet, amely hipoeutektikus, eutektikus és hipereutektikus összetételű is lehet. A jelenlegi gázhólyag modellek csak az olvadék/gáz határfelületen végbemenő eutektikus összetételre jellemző folyamatot modellezik. A gázhólyag képződés a nagy hőmérsékletközben dermedő, hipoeutektikus ötvözetekben, azonban eltérő módon megy végbe. Kutatómunkám során, ezért az AlSi7 hipoeutektikus öntészeti ötvözetet vizsgáltam.

Az eltérő öntvényátmérő és az eltérő öntési hőmérséklet gázhólyagképződésre gyakorolt hatásának összehasonlíthatósága érdekében a fém által a dermedés végéig leadott, a továbbiakban bevitt hőmennyiséget a látens hő [kJ/kg] figyelembevételével a (2)-es összefüggés segítségével határoztam meg.

$$Q = m \cdot (c_p \cdot \Delta T + L) \quad (2)$$

ahol:

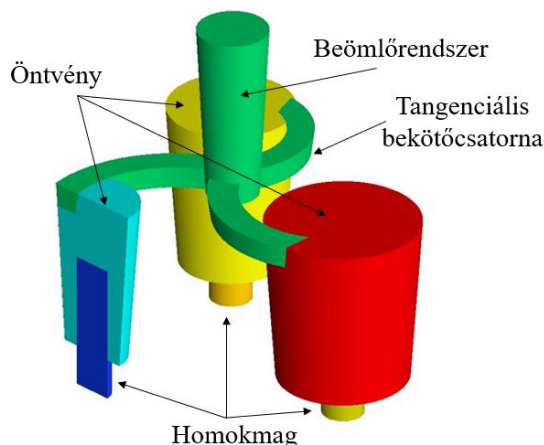
- Q: az olvadt fém által bevitt hőmennyiség, kJ
- m: az öntött tömeg, kg
- c_p : az olvadt fém fajlagos hőkapacitása, kJ/kgK
- ΔT : a túlhevítés hőmérsékletköze, K
- L: a látens hő, kJ/kg.

A (2)-es egyenlet szerint adott ötvözet minőség esetén, a fém által bevitt hőmennyiséget kétféle módon vihetjük be a kísérleti rendszerbe: vagy az öntési hőmérséklet (ΔT) megváltoztatásával vagy az öntvény tömegének (m) módosításával. Az eltérő öntvénytömegek hatásának vizsgálatát az öntvényátmérő változtatásával valósítottam meg. A továbbiakban az öntési hőmérséklet változtatásával bevitt hőmennyiséget Q_T -vel, míg az öntvényátmérő módosításával bevitt hőmennyiséget Q_\emptyset -val jelölöm.

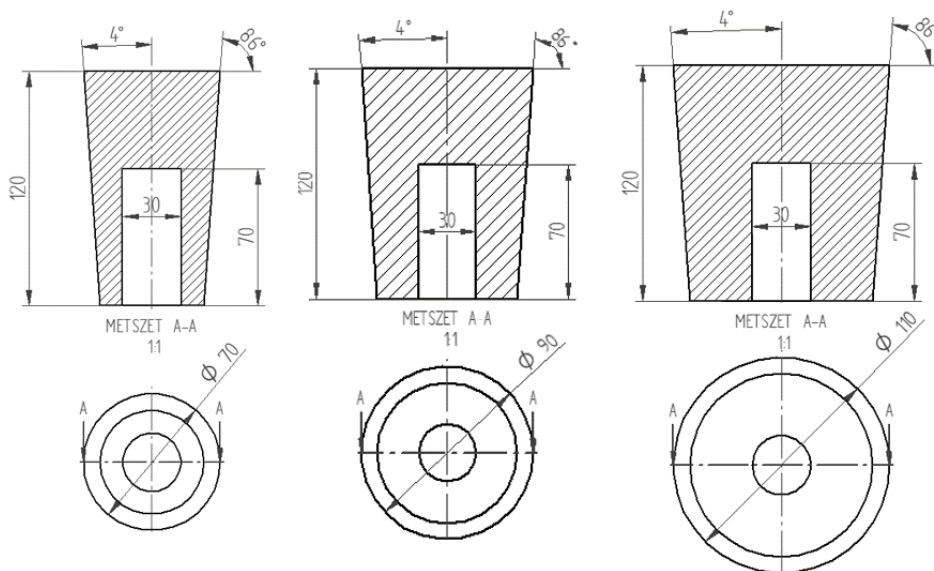
A vizsgált A356Cu (7% Si, 0,35% Mg, 0,2% Cu), öntészeti alumínium ötvözet ajánlott önthetőségi tartománya 677-788°C között van. Az ajánlott önthetőségi tartománynál kisebb öntési hőmérséklet esetén az öntvényben hidegfolyásos öntvényhibák alakulnak ki, míg a felső határ fölött az olvadék oxidációjának mértéke megnövekszik és összetétele megváltozik.

Az olvadék hőmérsékletváltozásának a hatását az A356Cu ötvözet önthetőségi tartományának két szélsőértékén (680°C és 780°C) és egy köztes öntési hőmérsékleten (730°C) vizsgáltam. A megválasztott három öntési hőmérséklet segítségével az ötvözet önthetőségi tartományban végbemenő teljes gázhólyagképződési folyamatot vizsgálni tudtam.

Az öntvény tömegének változtatásával bevitt hőmennyiség változás hatását az öntvényátmérő változtatásával ($\emptyset 70, 90, 110$ mm), eltérő öntvény/mag térfogatarányok esetén vizsgáltam adott, állandó maggeometria ($\emptyset 30 \times 70$ mm) és adott, állandó mag feletti olvadékoszlop magasság (50 mm) esetén. Az olvadékoszloppal arányos metallosztatikus nyomás mindvégig nagyobb volt, mint a mért maggáz maximális nyomása ($p_{\text{met}} \sim 12$ mbar, $p_{\text{maggáz,max}} \sim 6$ mbar). A kísérleti öntvények a formából való kiemelés érdekében 4°-os formázási ferdeséggel készültek. A három próbatest öntése egyidejűleg történt, tangenciális beömlőrendszer alkalmazásával, így egy adott öntési hőmérséklet hatása vizsgálhatóvá vált a különböző öntvénygeometriák esetén. A homokmagokat tartalmazó kísérleti öntvénycsokor CAD-geometriája a 4. ábrán látható.



4. ábra A kísérleti öntvény CAD-geometriája a beömlőrendszerrel és a homokmagokkal
A 70, 90 és 110 mm átmérőjű, 4°-os formázási ferdeségű kísérleti öntvények műhelyrajza az 5. ábrán látható.



5. ábra A kísérleti öntvények műhelyrajza, $\varnothing 70$, 90 és 110 mm átmérővel

Az 1. táblázat tartalmazza az öntési hőmérséklet változásával és az öntvényátmérő változásával (öntvény/ mag térfogatarányok esetén) bevitt hőmennyiség értékeket.

1. táblázat Az öntési hőmérséklet változásával és az öntvényátmérő változásával (öntvény/ mag térfogatarányok esetén) bevitt hőmennyiség értékek

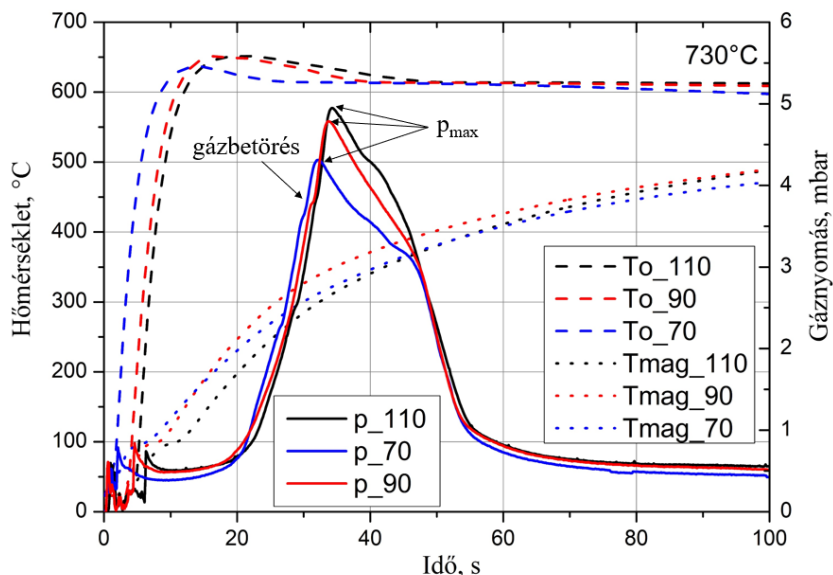
Ötvény átmérő [mm]	$V_{\text{öntvény}}$ [cm ³]	$A_{\text{öntvény}}$ [cm ²]	Öntvény modul, $V_{\text{öntvény}}/A_{\text{öntvény}}$ [cm]	Térfogat arány, $V_{\text{öntvény}}/V_{\text{mag}}$	Bevitt hőmennyiség [kJ]		
					680°C	730°C	780°C
70	360	374	0,96	7,27	440	478	517
90	630	494	1,27	12,73	823	894	966
110	975	627	1,55	19,71	1312	1427	1541

A kísérleti összeállításban az olvadék hőmérsékletének és a fém tömegének változtatásával bevitt hőmennyiség értékek 440-1541 kJ között változtak. Adott öntvényátmérő esetén, az A356Cu ötvözet önthetőségi tartományán belül az öntési hőmérséklet növelésével (680-780°C) a bevitt hőmennyiség (Q_T) ~20 %-kal növelhető. Adott öntési hőmérsékleten a Ø70-ről, Ø110 mm átmérő módosításával (a továbbiakban: d70, d90, d110), az öntvény/mag térfogatarány 63%-os növelésével, ~300 %-kal nő a bevitt hőmennyiség nagysága.

A megválasztott kísérleti paraméterek jól modellezik az öntvénygyártás során az olvadék/homokmag között lejátszódó folyamatokat, így komplex képet kaphatunk az öntvényátmérő és az öntési hőmérséklet változtatásának a gáznyomásra gyakorolt hatásáról. A kísérleti körülmények megalkotása a szakirodalomban alkalmazott kísérleti összeállítások továbbfejlesztése alapján történt [11-13]. A homokmagokból felszabaduló gázok nyomásváltozásának a mérésekhez három darab Baumer-típusú frontmembrános nyomástávadót használtam. Adatgyűjtéshez egy univerzális 8 csatornás HBM QuantumX-MX840B-típusú mérőerősítőt alkalmaztam.

3. AZ ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A 6. ábrán egy egyesített diagramon látható a homokmagokból felszabaduló gáznyomás-, a fém hőmérséklet- és a homokmag hőmérsékletváltozása az idő függvényében.



6. ábra Az öntés során végbemenő hőmérséklet- és gáznyomás változás az idő függvényében

A kísérleteim során mért maggáznyomás görbék maximuma ~4 mbar-nál és megjelenésüknek ideje öntés után a ~39. másodpercben jelentkezett.

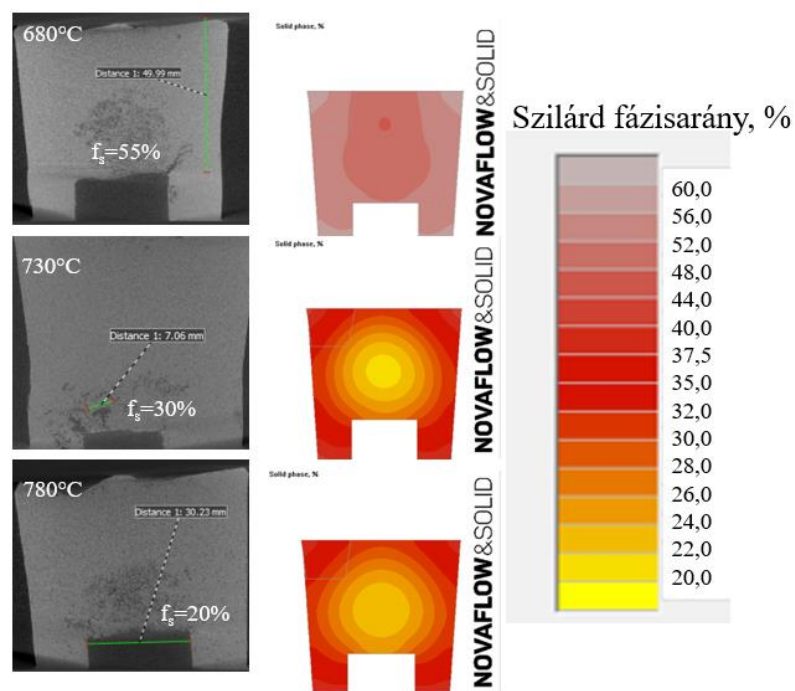
A vizsgált kísérleti körülmények esetén a homokmag/fém határfelületi réteg szilárd fázisaránya nagymértékben eltérhet, ezért indokoltnak tartottam eltérő öntési hőmérséklet és az eltérő öntvényátmérő esetén vizsgálni a határfelületi réteg szilárd fázisarányának mennyiségét. A homokmag/fém határfelületi réteg jellemzésére a szilárd fázisarány meghatározását választottam, amelyet NovaFlow&Solid öntészeti szimulációs program segítségével határoztam meg. A 2. táblázat tartalmazza az öntés utáni 39. másodperchez tartozó, az eltérő bevitt hőmennyiség értékek esetén az olvadék hőmérsékletét ($T_{olv(39.s)}$), a szilárd fázisarány százalékos jelenlétét ($f_{s(39.s)}$) és a mért maximális gáznyomás átlagértékét ($p_{max, \text{átl.}}$).

2. táblázat Az eltérő módon bevitt hőmennyiségek esetén a fém/homokmag határfelületén jelenlévő szilárd fázisarányának százalékos mennyisége és a mért maximális gáznyomás

Öntési hőmérséklet, °C	Öntvény átmérő, mm	Bevitt hőmennyiség, kJ	Mért értékek		Szimulált $f_{s,39.s}$, %
			$T_{olv,39.s}$, °C	$p_{max, \text{átl.}}$, mbar	
680	70	440	576	5,44	52,03
	90	823	589	5,46	44,01
	110	1312	595	5,60	39,70
730	70	478	609	4,12	24,56
	90	894	615	4,32	14,33
	110	1427	617	4,60	10,46
780	70	517	616	3,60	13,14
	90	966	620	4,09	5,04
	110	1541	622	4,58	0,00

A táblázatban látható, hogy az öntvényátmérő növelésével a bevitt hőmennyiség, míg az öntési hőmérséklet növelésével a határfelületi réteg hőmérséklete nő meg jelentősen.

A kísérleti körülmények során alkalmazott olvadékoszloppal arányos metallosztatikus nyomás minden esetben nagyobb volt, mint a mért maggáz maximális nyomása, így elméletben nem jöhetne létre gázbetörés a fém/homokmag határfelületen. A kísérleti öntvényekben, azonban az olvadékban megjelenő szilárd fázis megjelenése után mégis tapasztaltam gázbetörés. A kísérleti öntvényekben található gázhólyagok méretét és elhelyezkedését komputertomográfia (CT) segítségével vizsgáltam. Az eltérő öntési hőmérsékleten (680, 730, 780°C) öntött darabok CT-felvételei és a szimulációs programban (öntés után a 39. s-ben) számított szilárd fázisarány térkép összehasonlítása a 7. ábrán látható.

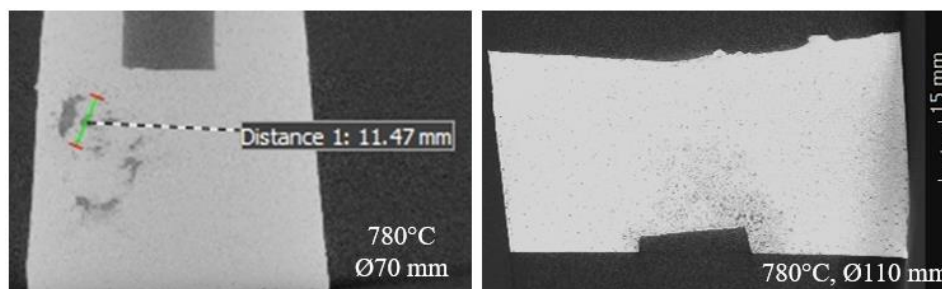


7. ábra Az öntészeti szimulációs program által számított szilárd fázisarány térkép (öntés utáni 39.s-ban) és a kísérleti öntvények CT-felvétele

A 7. ábrán látható, hogy a szilárd fázisarány százalékos jelenlétéből (azonos homokmagreceptúra esetén) következtetni lehet a képződött gázhólyag alakjára és méretére.

A metallosztatikus nyomásnál kisebb, mért maggáznymás esetén tapasztalt gázbetörés csak a metallosztatikus nyomás leépülésével valósulhat meg, ezért a kísérleteimből két példát emelnék ki a 780°C-on öntött 70 és 110 mm átmérőjű öntvények esetét. A 2. táblázatban látható, hogy a gáznymás maximum megjelenésének időpillanatában a 780°C-on öntött 70 mm átmérőjű öntvény határfelületi rétegének szilárd fázisarányának mennyisége 13,14 %, míg a 110 mm öntvényátmérő esetén 0,00% volt. Ennek köszönhetően összehasonlítható az az eset, amikor az olvadékban van szilárd fázis a maximális gáznymás megjelenésének időpillanatában és amikor nincs.

A CT-vizsgálatok kimutatták, hogy a 70 mm átmérőjű öntvényben volt gázhólyag, míg a 110 mm átmérőjű öntvény teljes térfogatában nem volt gázhólyag. A 110 mm átmérőjű öntvény nagy térfogata és a nem megfelelő utántáplálása miatt dermedés során bekövetkező térfogatváltozásból eredő zsugorodási porozitást ugyan tartalmaz, de maggáz okozta gázporozitás nem található benne. Továbbá a homokmag körüli rész a 70 mm átmérőjű öntvény esetében az oxidhártya miatt jellegzetesen fényes, míg a 110 mm átmérőjű öntvény homokmag/fém határfelülete dendritesen szívódott. A 8. ábrán a CT-vizsgálatból, speciális képi formátumban kimentett metszeteken látható, hogy a 70 mm-es öntvényben van gázhólyag, míg a 110 mm átmérőjű öntvényben nincs.



8. ábra A 780°C-on öntött 70 és 110 mm öntvényátmérőjű öntvények CT-felvétele

A jelenség azzal magyarázható, hogy az olvadékban a szilárd fázis megjelenésével fokozatosan leépül a metallosztatikus nyomás. Ennek oka, hogy az olvadék dermedése során egymással összenőtt dendritok 3D-s hálózata alakul ki, amelyek megtámaszkodnak, felfüggeszkednek a homokmagra, formafalra vagy a kokillára, de támaszkodási pontok között még ott van az olvadék. Ha a jellemző dendrit méret nagy (nagyságrendileg 10 mm körüli), akkor a határfelületi erő elhanyagolható és a metallosztatikus nyomás ugyanakkora marad. Ha azonban a jellemző dendrit méret kicsi (nagyságrendileg 100 μm körüli) és a folyadék jól nedvesíti a szilárd dendriteket, akkor a folyadék rajta lóg a dendriteken és a formafalban megtámaszkodó dendritszerkezet képes megtartani a folyadék tömegét. Ekkor megszűnik a metallosztatikus nyomás a homokmag/fémolvadék határfelületen, ami a rossz nedvesítés miatt elkezd felszakadni. Ha mindez azt megelőzően következik be, hogy felépül a gáznyomás a homokformában, akkor a maggáz képes betörni a dendritek között az olvadékba.

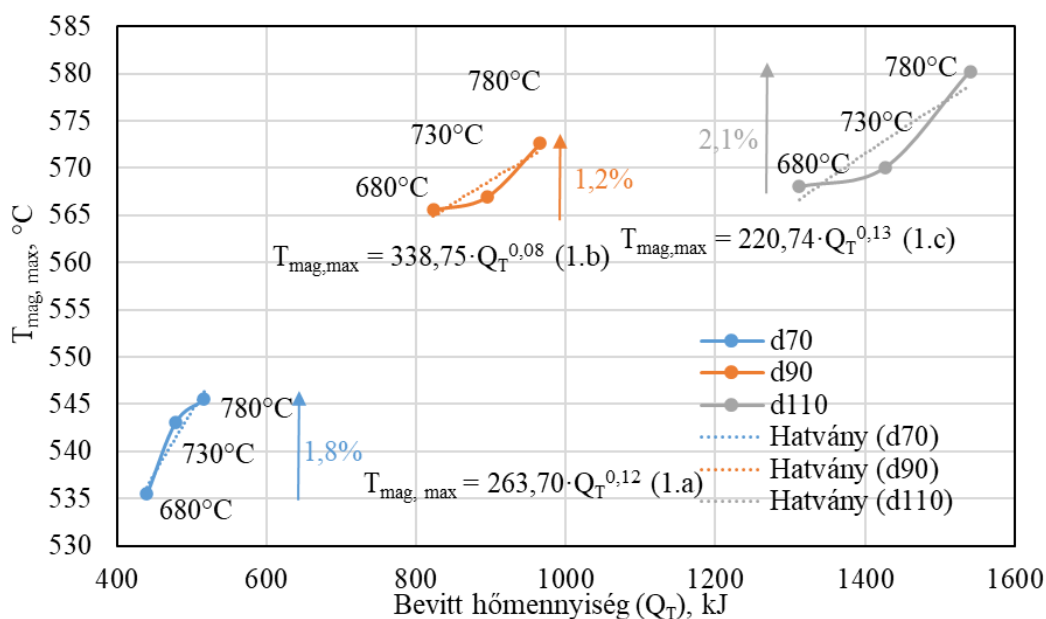
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kísérleteim során az alkalmazott fémmel érintkező maggeometria $\text{Ø}30 \times 70$ mm, míg a mag feletti olvadékoszlop magasság 50 mm (h_0) volt. A kísérleti öntvények különböző ($\text{Ø}70$, 90, 110 mm) átmérőkkel, 4°-os formázási ferdeséggel készültek. Az öntvényátmérő változtatásával, eltérő öntvény/mag térfogatarányok esetén, valamint az A356Cu öntészeti alumínium ötvözet (7% Si, 0,35% Mg, 0,2% Cu) önthetőségi tartományának két szélsőértékén (680-780°C-on) és egy köztes öntési hőmérsékleten (730°C-on) vizsgáltam a homokmagokból felszabaduló gázok mért nyomásváltozását.

A homokmagok 0,22-0,3 mm szemcseméretű, sajdikovói homokból, önkötő fenolgyantás kötőanyagból készültek. Az 1,5 g/cm³ térfogatsűrűségű, 1% fenolgyanta- és 0,5% katalizátortartalommal készült magokkal elvégzett kísérletek során az alábbi megállapításokat tettem. A kutatásaim során elért tudományos eredményeimet a következő tézisek szerint foglalom össze:

1.1. Tézis

Az A356Cu öntészeti alumínium ötvözet önthetőségi tartományán belül a homokmag maximális hőmérsékletét az 1.1. ábrán látható módon főként az öntvényátmérő változtatása által, a fém tömegével bevitt hőmennyiség (Q_θ) határozza meg, amely adott öntvényátmérő esetén az (1.a-c) regressziós egyenletekkel közelíthető, ahol a $T_{mag,max}$ jelöli a homokmag mért maximális hőmérsékletét [$^\circ\text{C}$], Q_T pedig az öntési hőmérséklet változtatásával bevitt hőmennyiséget [kJ]. Peremfeltételek: $680 \leq T_{\text{önt}} \leq 780$ [$^\circ\text{C}$], $440 \leq Q \leq 1541$ [kJ].



1.1. ábra Az öntési hőmérséklet változtatásával bevitt hőmennyiség hatása a homokmag maximális hőmérsékletére

- Ø70 mm öntvényátmérő esetén

$$T_{mag,max} = 263,70 \cdot Q_T^{0,12} \quad (1.a)$$

- Ø90 mm öntvényátmérő esetén

$$T_{mag,max} = 338,75 \cdot Q_T^{0,08} \quad (1.b)$$

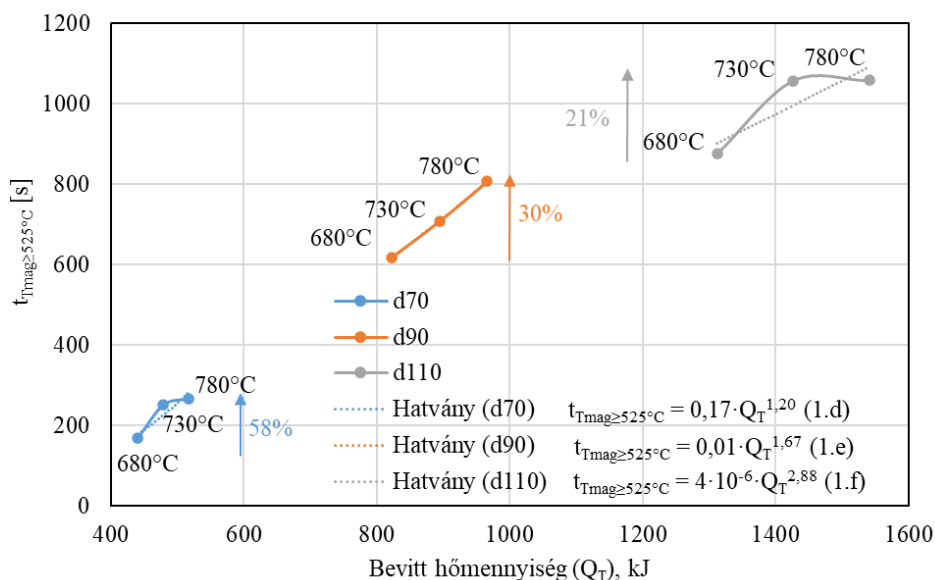
- Ø110 mm öntvényátmérő esetén

$$T_{mag,max} = 220,74 \cdot Q_T^{0,13} \quad (1.c)$$

1.2. Tézis

Az A356Cu öntészeti alumínium ötvözet önthetőségi tartományán belül a homokmag minimum 525°C -os, referencia hőmérsékleten való tartózkodási idejét az 1.2. ábrán látható módon főként, az öntvényátmérő változtatása által, a fém tömegével bevitt hőmennyiség (Q_θ) határozza meg, amely adott öntvényátmérő esetén az (1.d-f) regressziós egyenletekkel közelíthető, ahol a $t_{T_{mag} \geq 525^\circ\text{C}}$ jelöli a homokmag minimum 525°C -os, referencia hőmérsékleten való tartózkodási idejét [s], Q_T pedig az öntési hőmérséklet változtatásával

bevitt hőmennyiséget [kJ]. Ennek oka, hogy a vizsgált kísérleti rendszerben a fém tömege által bevihető hőmennyiség ($\Delta Q_{\varnothing} \sim 300\%$) jóval nagyobb, mint az önthetőségi tartományon belül az öntési hőmérséklet növelésével bevihető hőmennyiség ($\Delta Q_T \sim 20\%$).
Peremfeltételek: $680 \leq T_{\text{önt}} \leq 780$ [°C], $440 \leq Q \leq 1541$ [kJ].



1.2. ábra Az öntési hőmérséklet változtatásával bevitt hőmennyiség hatása a homokmag minimum, 525°C-os, referencia hőmérsékleten való tartózkodási idejére

- Ø70 mm öntvényátmérő esetén

$$t_{T_{\text{mag}} \geq 525^\circ\text{C}} = 0,17 \cdot Q_T^{1,20} \quad (1.d)$$

- Ø90 mm öntvényátmérő esetén

$$t_{T_{\text{mag}} \geq 525^\circ\text{C}} = 0,01 \cdot Q_T^{1,67} \quad (1.e)$$

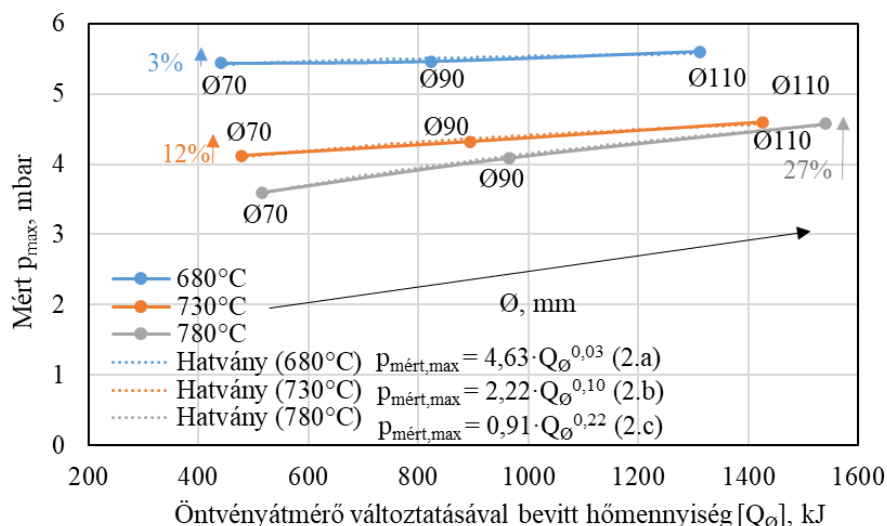
- Ø110 mm öntvényátmérő esetén

$$t_{T_{\text{mag}} \geq 525^\circ\text{C}} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot Q_T^{2,88} \quad (1.f)$$

2. Tézis

A vizsgált kísérleti rendszerben az öntvény tömegének és az öntvény hőmérsékletének változtatásával bevitt hőmennyiség ellentétes hatást gyakorol a homokmagokból felszabaduló gázok mért maximális nyomására.

A mért maximális gáznyomás az öntvényátmérő változtatása által, a fém tömegével bevitt hőmennyiség hatására a 2.1. ábra szerint nő, amely a (2.a-c) regressziós egyenletekkel közelíthető, míg az öntési hőmérséklet növelésével bevitt hőmennyiség hatására a 2.2. ábra szerint csökken, amely a (2.d-f) regressziós egyenletekkel közelíthető, ahol a p_{max} jelöli a mért maximális gáznyomást [mbar], Q_{\varnothing} az öntvényátmérő változtatása által, a fém tömegével bevitt hőmennyiséget [kJ], Q_T az öntvény hőmérsékletének változtatásával bevitt hőmennyiséget [kJ]. Peremfeltételek: $70 \leq \varnothing \leq 110$ [mm], $440 \leq Q \leq 1541$ [kJ].



2.1. ábra Az öntvényátmérő változtatása által, a fém tömegével bevitt hőmennyiség hatására a homokmagból felszabadult gázok mért maximális nyomására

- $T_{\text{önt}}=680^{\circ}\text{C}$ -on

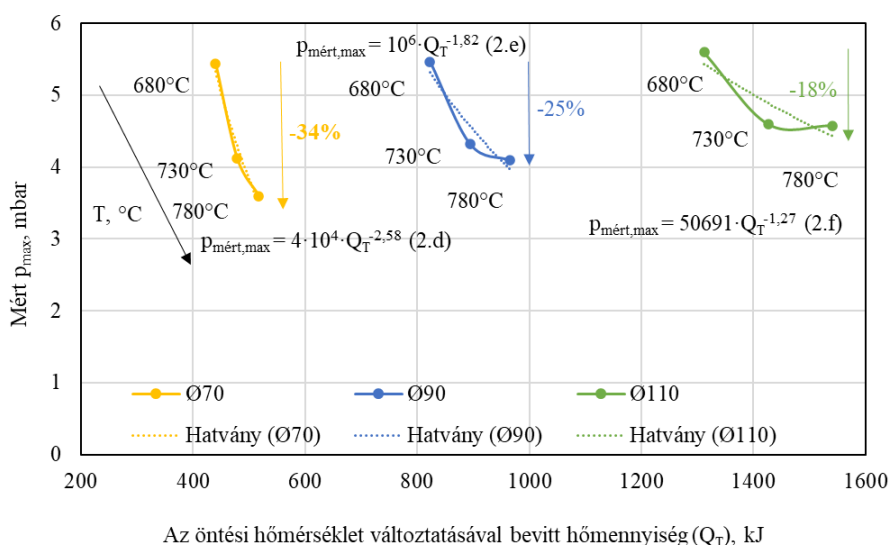
$$p_{\text{max}} = 4,63 \cdot Q_{\text{ø}}^{0,03} \quad (2.a)$$

- $T_{\text{önt}}=730^{\circ}\text{C}$ -on

$$p_{\text{max}} = 2,22 \cdot Q_{\text{ø}}^{0,01} \quad (2.b)$$

- $T_{\text{önt}}=780^{\circ}\text{C}$ -on

$$p_{\text{max}} = 0,91 \cdot Q_{\text{ø}}^{0,22} \quad (2.c)$$



2.2. ábra Az öntvény hőmérsékletének változtatásával bevitt hőmennyiség hatása a homokmagból felszabadult gázok mért maximális nyomására

- Ø70 mm öntvényátmérő esetén

$$p_{\text{max}} = 4 \cdot 10^7 \cdot Q_T^{-2,58} \quad (2.d)$$

- Ø90 mm öntvényátmérő esetén

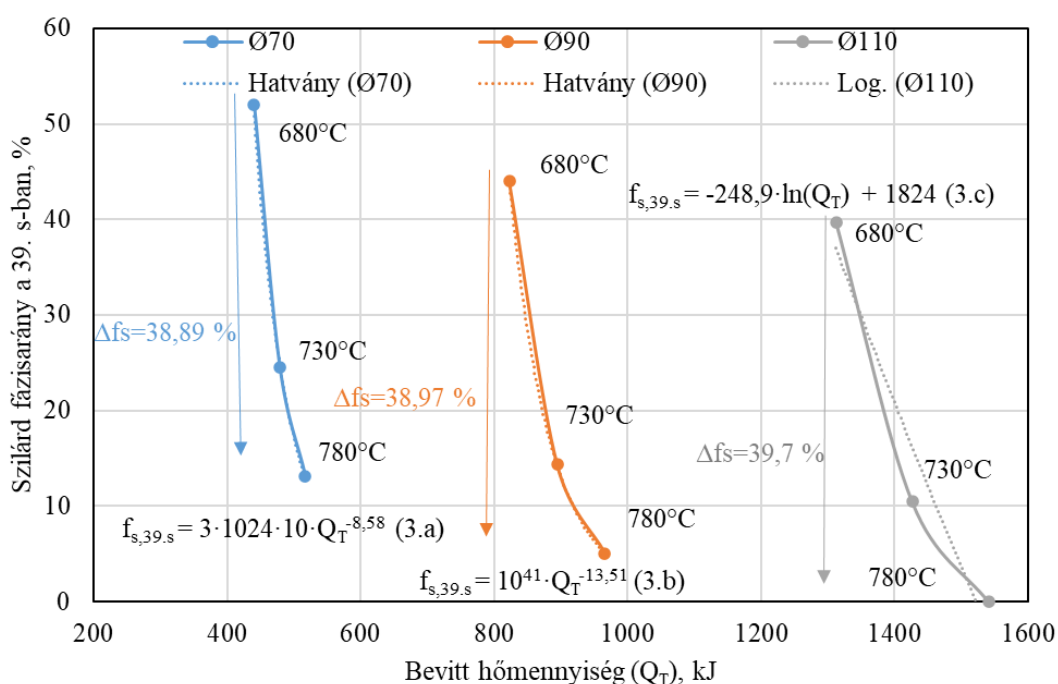
$$p_{\text{max}} = 10^6 \cdot Q_T^{-1,82} \quad (2.e)$$

- Ø110 mm öntvényátmérő esetén

$$p_{\text{max}} = 50691 \cdot Q_T^{-1,27} \quad (2.f)$$

3. Tézis

A vizsgált kísérleti rendszerben az A356Cu öntészeti alumínium ötvözet önthetőségi tartományán belül a fém/homokmag határfelületén, öntés után a 39. másodpercben szimulációval meghatározott szilárd fázisarány százalékos mennyiségét (jele: f_s , mértékegysége: %) a 3. ábrán látható módon főként az öntvény hőmérsékletének változtatásával bevitt hőmennyiség és kevésbé az öntvényátmérője által, az öntvény tömegének változtatásával bevitt hőmennyiség határozza meg, amely a (3.a-c) regressziós egyenletekkel közelíthető, ahol a p_{max} jelöli a mért maximális gáznyomást [mbar], Q_T pedig az öntvény hőmérsékletének változtatásával bevitt hőmennyiséget [kJ]. Peremfeltételek: $680^\circ\text{C} \leq T_{\text{önt}} \leq 780^\circ\text{C}$, $440\text{kJ} \leq Q \leq 1541\text{kJ}$, $0\% \leq f_s \leq 52\%$.



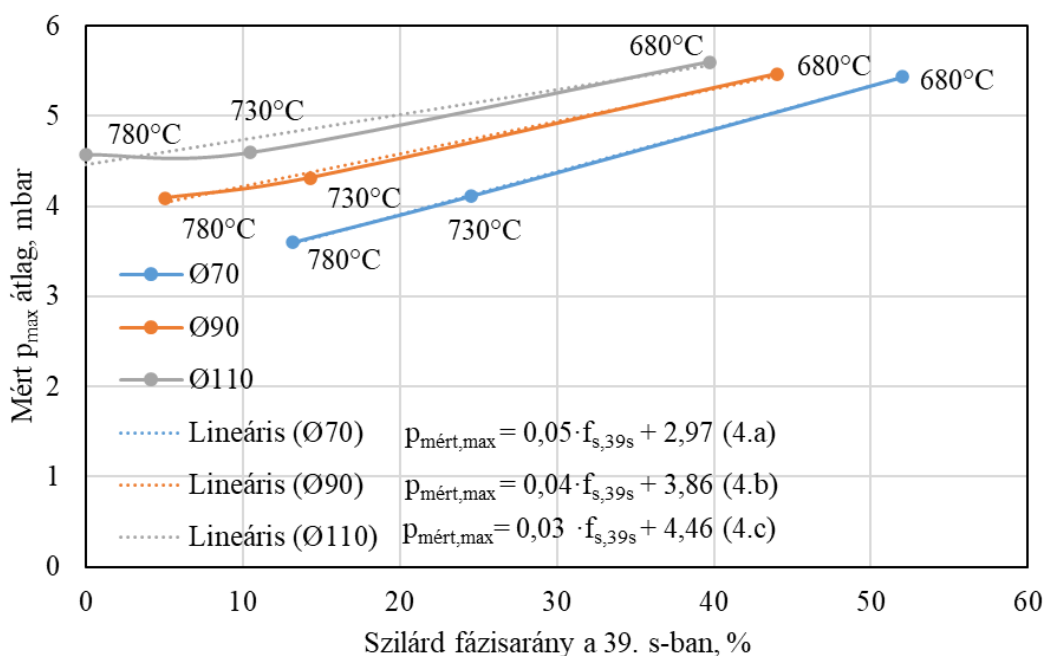
3.ábra Az öntési hőmérséklet változtatásával bevitt hőmennyiség hatása a fém/homokmag határfelületi réteg szilárd fázisarányának százalékos mennyiségére

- Ø70 mm öntvényátmérő esetén
$$f_s = 3 \cdot 10^{24} \cdot Q_T^{-8,58} \quad (3.a)$$
- Ø90 mm öntvényátmérő esetén
$$f_s = 10^{41} \cdot Q_T^{-13,51} \quad (3.b)$$
- Ø110 mm öntvényátmérő esetén
$$f_s = -248,9 \cdot \ln(Q_T) + 1824 \quad (3.c)$$

4. Tézis

A homokmagból felszabadult gázok, mért maximális gáznyomása és a szimulációval, öntés után a 39. másodpercben, meghatározott fém/homokmag határfelületen jelenlévő szilárd fázisarány mennyisége között szoros kapcsolat van.

A vizsgált kísérleti körülmények esetén az olvadék szilárd fázisarányának növelésével nő a mért maximális gáznyomás értéke, amely adott öntvényátmérő esetén a 4.1. ábrán látható módon változik és a (4.a-c) regressziós egyenletekkel közelíthető, míg adott öntési hőmérséklet esetén a 4.2. ábrán látható módon változik és a (4.d-f) regressziós egyenletekkel közelíthető, ahol a $p_{mért,max}$ jelöli a mért maximális gáznyomást [mbar], $f_{s,39.s}$ a szimulációban öntés után a 39.s-ban, a fém/homokmag határfelületén meghatározott szilárd fázisarány mennyiségét (%). Peremfeltételek: $70 \leq \emptyset \leq 110$ [mm], $12,81 \leq f_s < 73$ [%].



4.1.ábra Eltérő öntvényátmérők esetén a szilárd fázisarány mennyiségének hatása a mért maximális gáznyomásra

- Ø70 mm öntvényátmérő esetén

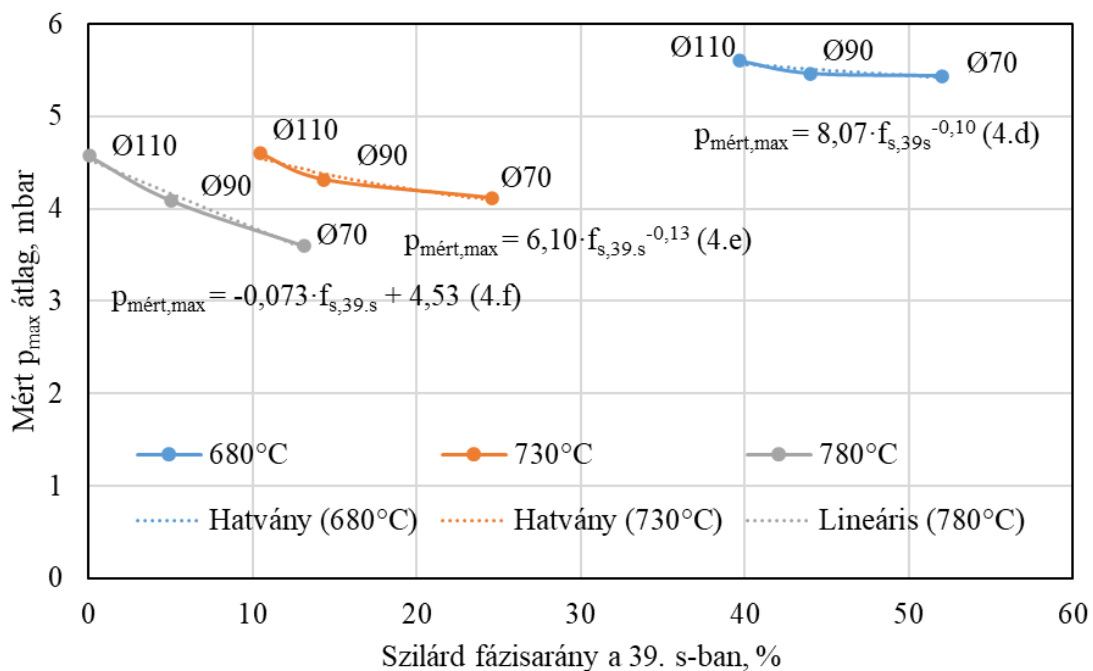
$$p_{max} = 0,05 \cdot f_{s,T} + 2,97 \quad (4.a)$$

- Ø90 mm öntvényátmérő esetén

$$p_{max} = 0,04 \cdot f_{s,T} + 3,86 \quad (4.b)$$

- Ø110 mm öntvényátmérő esetén

$$p_{max} = 0,03 \cdot f_{s,T} + 4,46 \quad (4.c)$$



4.2. ábra Eltérő öntési hőmérsékletek esetén a szilárd fázisarány mennyiségének hatása a mért maximális gáznyomásra

- $T_{\text{önt}}=680^{\circ}\text{C}$ -on

$$p_{\text{max}} = 8,07 \cdot f_{s,\emptyset}^{-0,10} \quad (4.d)$$

- $T_{\text{önt}}=730^{\circ}\text{C}$ -on

$$p_{\text{max}} = 6,10 \cdot f_{s,\emptyset}^{-0,13} \quad (4.e)$$

- $T_{\text{önt}}=780^{\circ}\text{C}$ -on

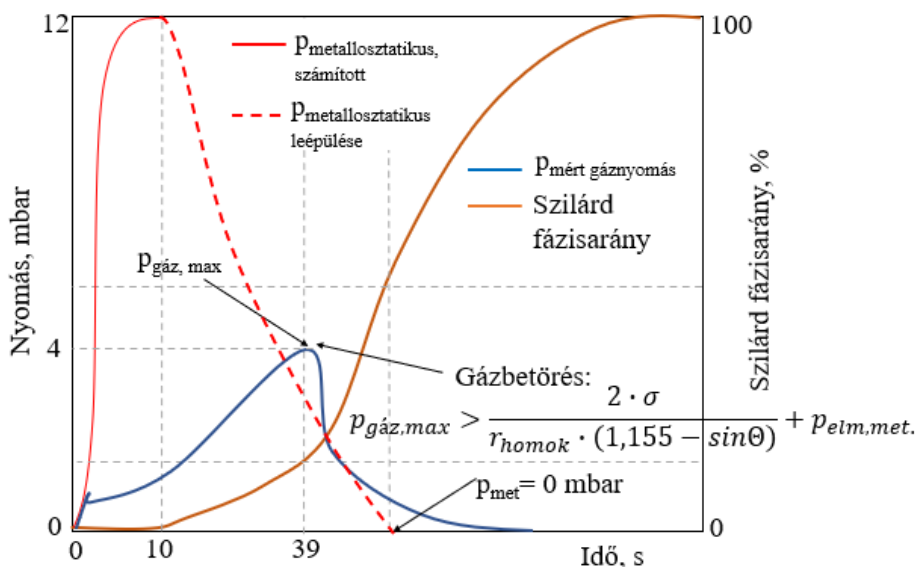
$$p_{\text{max}} = -0,07 \cdot f_{s,\emptyset} + 4,53 \quad (4.f)$$

5. Tézis

Gázbetörés a metallosztatikus nyomásnál kisebb maggáz nyomás esetén is létre jöhet abban az esetben, ha az olvadékban még a gáznyomás maximuma előtt megjelenik a szilárd fázis és a felületi energiák megfelelő körülményeket hoznak létre. A szilárd fázisarány megjelenésével az 5. ábrán látható módon épül le az elméleti metallosztatikus nyomás. Tehát a szilárd fázisarány és a maggáz képződés kinetikájának ismeretében a szimulációkba is beépíthető egy olyan feltétel, ami előre jelzi a gázhólyag kialakulásának veszélyét. A gázbetörés peremfeltételét az (5)-ös egyenlet írja le:

$$p_{\text{gáz,max}} > \frac{2 \cdot \sigma}{r_{\text{homok}} \cdot (1,155 - \sin \theta)} + p_{\text{elm,met}} \quad (5)$$

ahol $p_{\text{gáz,max}}$ [Pa] a homokmagból fejlődő gázok mért maximális nyomása, σ [J/m²] a fémolvadék felületi feszültsége, r_{homok} a homok szemcsemérete [m], θ a peremszög, $p_{\text{elm,met}}$ [Pa] a leépülő, elméleti metallosztatikus nyomás.



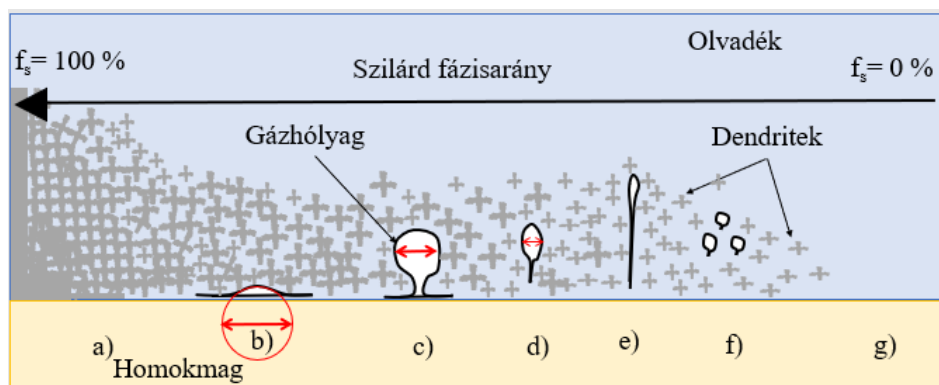
5. ábra A szilárd fázisarányral változó, elméleti metallosztatikus nyomás és a mért gáznyomás viszonya

6. Tézis

A kísérleti öntvények vizsgálata során azt a megállapítást tettem, hogy a fém/homokmag határfelületi rétegben jelenlévő szilárd fázisarány mennyisége a 6. ábrán látható módon befolyásolja a képződött gázhólyag morfológiáját. Az elmélet szerint két esetben nincs gázbetörés:

- ha nullához közeli a szilárd fázisarány mennyisége és teljesül, hogy a metallosztatikus nyomás mindvégig nagyobb, mint a maggáz nyomása.
- Valamint, ha a fém viszkozitása már elég nagy ahhoz, hogy a maggáz ne tudjon betörni a fém/homokmag határfelületen.

Köztes esetekben az olvadék szilárd fázisaránya határozza meg a kialakuló gázhólyag alakját. Kis szilárd fázisarány esetén diszperz, míg nagy szilárd fázisarány esetén nagyméretű gázhólyagok keletkeznek.



6. ábra Az olvadék szilárd fázisarányának hatása a képződött gázhólyag morfológiájára

4. ÖSSZEFOGLALÁS, AZ EREDMÉNYEK FELHASZNÁLHATÓSÁGA

A tézisekben megfogalmazott tudományos eredmények új ismeretekkel bővítik az öntödei homokmagokról szóló ismereteket. Az elért új eredmények jól hasznosulnak az oktatásban, kutatásban és az öntvény/homokmag konstrukció tervezés során.

Doktori kutatómunkám legfőbb célkitűzése a műgyantás homokmagokból felszabaduló gázok mért nyomásváltozásainak vizsgálata volt eltérő öntvény falvastagság és öntési hőmérséklet esetén. A kísérleteim során tapasztalt nagyszámú gázbetörés miatt arra a következtetésre jutottam, hogy a gázhólyag képződésének körülményeit nem elegendő csupán a gáznyomás méréssel vizsgálni, új minősítő jelző bevezetésére volt szükség. Mivel azt tapasztaltam, hogy a gázhólyag alakját az olvadék szilárd fázisaránya jelentősen befolyásolja, ezért a gáznyomást és az olvadék szilárd fázisarányát együttesen vizsgáltam és vontam le következtetéseket.

A homokmagokból felszabaduló gázok nyomásának mérésével kimutattam, hogy az olvadék hőmérsékletének és az öntvény átmérőjének változtatásával bevitt hőmennyiség ellentétes hatását a homokmagból fejlődő gázok mért maximális nyomására. Az öntési hőmérséklet növelésével csökken, míg az öntvényátmérő növelésével nő a mért maximális gáznyomás. Ez azzal magyarázható, hogy a határfelületi réteg szilárd fázisarányának százalékos mennyiségét főként a fém hőmérséklete határozza meg, így a nagy szilárd fázisaránnyal rendelkező határfelületi réteg alatt a maggázok feltorlódhatnak nagy mért gáznyomást és nagyméretű gázhólyagokat eredményezve. Gázbetörés esetén, azonban kisebb a mért nyomás értéke, ami igazolja a magasabb hőmérsékleten mért kisebb gáznyomás értéket. Ezek alapján felvázoltam egy sematikus ábrát, amely magyarázza, hogy az olvadék szilárd fázisaránya milyen hatással van a képződött gázhólyag méretére és morfológiájára.

Disszertációm legfőbb jelentősége az a felismerés, hogy gázbetörés a metallosztatikus nyomásnál kisebb maggáz nyomásnál is létrejöhet abban az esetben, ha a maggáznyomás felfutási szakasza előtt megjelenik az olvadékban a szilárd fázis. A maggáz képződés kinetikája és a dermedési viszonyok ismeretében megadható az az időintervallum, amikor nagy valószínűséggel keletkezik gázhólyag. Ezek alapján már öntvénytervezés során a szimulációs szoftverekbe beépíthető egy olyan feltétel, ami jelzi a gázhólyag képződésének veszélyét. A gázhólyag képződés területén elért eredményeim nagymértékben hozzájárulhatnak az öntvény maggáz okozta porozitás tartalmának csökkentéséhez.

5. SUMMARY

The primary objective of my PhD research was to investigate the measured pressure changes of gases from artificial resin-bonded sand cores at different casting wall thicknesses and temperatures. Due to the large number of ingresses observed during my experiments, I concluded that it was not sufficient to investigate the conditions of the blow-hole formation by measuring the gas pressure alone, thus a new qualifying characteristic had to be introduced. As I found out, that the shape of the blow-holes are significantly influenced by the solid fraction of the melt, I investigated it along with the gas pressure to make my conclusions.

From the pressure measurements of the gases released from the sand cores, I have shown that the amount of heat input of the temperature of the melt and diameter of the casting are having the opposite effect on the pressure of the gases released from the sand cores. As the casting temperature increases, it drops, and as the diameter is growing it rises. This phenomenon can be explained by the percentage of the solid phase ratio of the interfacial layer is mainly influenced by the temperature of the melt, thus under this layer which has a high solid phase ratio, the core gases can become congested, which leads to high gas pressure and large gas bubbles. In case of gas ingresses however, the value of the measured pressure is lower, which justifies the lower value of measured pressure on high temperatures. Based on these results, I drew a schematic diagram showing the effect of the solid phase ratio of the melt on the size and morphology of the formed blow-hole.

The main significance of the dissertation is the recognition that gas ingresses can occur at a gas pressure lower than the metallostatic pressure, provided that a solid phase is present in the melt prior to the ramp-up phase of the core gases. To avoid gas ingresses castings should be cooled after this gas pressure increasing has been ended. Following this, at the planning phase of the manufacturing, knowing the kinetics of the gas formation and the solid phase ratio, the method can be installed into casting simulations as a condition, which forecasts the dangers of blow-hole formations.

6. FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- [1] L. Winardi, H.E. Littleton, C.E. Bates: Pressures in Sand Cores, AFS Transactions, 2007. vol.115., Paper 07-062(04).pdf, 303-312
- [2] IKO-Erbslöh, Jörg Baier, Martin Köpper: Manual of Casting Defects, Incidence and avoidance of defects attributable to moulding sands, 1994., P: 51-55.
- [3] P.Scraber, C.Bates, J.Griffin: Avoiding gas defects through mould and core package design. Modern Casting, v. 96, issue 12, 2006, pp 38- 40.
- [4] John Campbell: Complete Casting Handbook- 10.5. Rule 5: ‘Avoid core blows’ 635-659
- [5] Bates CE, Monroe RW (1981) Mold binder decomposition and its relation to gas defects in castings. AFS Trans 89:671–686
- [6] H. Gerard Levelink, F.P.M.A. Julien und H.C.J. De Man, Apeldoorn: Gasentwicklung in Formen und Kernen als Ursache von Gußfehlern, Gießerei 67 (1980) Nr. 5-3 März, S.: 109-115.
- [7] W. BAUER (1984): Einfluß der chemischen Zusammensetzung und des Formstoffes auf Gasblasenfehler In Gußeisen, GIESSEREI-PRAXIS Nr. 12, 198-205
- [8] Vivek V. Yadav, Shailesh J. Shaha (2016): Quality Analysis of Automotive Casting for Productivity Improvement by Minimizing Rejection, International Journal of Mechanical And Production Engineering, ISSN: 2320-2092, Volume- 4, Issue-6
- [9] Doru Michael Stefanescu (2017): Surface Quality, Penetration Defects and Casting Skin, Course Metallurgy, solidification and modeling of cast iron castings 5th edition, Presentation, Jönköping, Sweden
- [10] J. Svidró, A. Diószegi, L. Tóth, J.T. Svidró (2017): The Influence of Thermal Expansion of Unbonded Foundry Sands on The Deformation of Resin Bonded Cores, Arch. Metall. Mater. 62 (2017), 2, 795-798, Doi: 10.1515/Amm-2017-0118
- [11] Tóth L., Nándori Gy. (1986): A vegyi kötésű formázóanyagokból az öntés során képződő gázok nyomásváltozásainak elemzése, BKL- Öntöde 37. évfolyam 6. szám, 130- 134
- [12] S.Ravi, J. Thiel (2017) Prediction of Core Gas Pressure from Chemically Bonded Sand Molds Using Process Simulation Software, AFS Transactions, Paper 17-097 v125 - Page 1 of 8
- [13] A.Chojecki, J. Mocek: Gas pressure in sand mould poured with cast iron, Archives of Foundry Engineering Volume 11, Issue, 1/2011, 9-14

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN SZÜLETETT SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

1. Mádi Laura, Kazup Ágota, Bubonyi Tamás, Varga László (2021): A homokmagokból eltérő öntési hőmérsékletnél felszabaduló gázok nyomásváltozásának és az öntvényben megdermedt gázhólyagok kialakulásának vizsgálata, BKL, 2021/1. szám 154. évfolyam
2. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2020): The effect of different grain sizes and heat input on the gas pressure inside artificial resin-bonded sand cores, 12th Hungarian Conference on Materials Science (HMSC12), IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 903, IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/903/1/012034
3. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2020): The Pressure Characteristics of the Released Gases from Sand Cores: International Journal of Engineering and Management Sciences, pp. 73-79, (IJEMS) Vol. 5. (2020). No. 2 DOI: 10.21791/IJEMS.2020.2.9
4. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2018): Öntödei műgyantakötésű maghomok keverékekből felszabaduló gázok nyomásának mérése, XX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa ISSN: 1842-9440
5. Mádi Laura, Varga László, Mikó Tamás (2017): Examination of the Properties of Resin Bonded Core Mixtures, 885 pp. 171-177., 7 p., Materials Science Forum

7.1. Szóbeli előadások

1. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2019): The Pressure Characteristics of the Released Gases from Sand Cores, 7th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering, Debrecen, angol előadás
2. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2019): A műgyantakötésű homokmagokból öntés során felszabaduló gázok nyomásának vizsgálata, 25. Nemzetközi Magyar Öntőnapok Kiállítás és Konferencia, Herceghalom
3. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2018): Öntödei műgyantakötésű maghomok keverékekből felszabaduló gázok nyomásának mérése, XX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Gyulafehérvár
4. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2017): A gázáteresztőképesség hatása a műgyantakötésű magokból képződő gázok nyomására, XI. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonkenese
5. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2017): Eltérő granulometriai héjhomok magok tulajdonságainak vizsgálata, 24. Nemzetközi Magyar Öntőnapok Kiállítás és Konferencia, Herceghalom
6. Mádi Laura, Varga László (2017): Examination of the quality and quantity of emission from resin bonded foundry cores, XXXI. microCAD

7.2. Poszter előadások

1. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2019): A műgyantakötésű homokmagokból öntés során felszabaduló gázok nyomásának vizsgálata, XII. OATK, Balatonkenese
2. Mádi Laura, Budavári Imre, Varga László (2017): A gázáteresztőképesség hatása a műgyantakötésű magokból képződő gázok nyomására, XI. Országos Anyagtudományi Konferencia, Balatonkenese