



Alumínium nyomásos öntvények tartamszilárdsága a gyártástechnológiából adódó anyaginhomogenitások figyelembevételével

Tézisfüzet

Szalva Péter

okleveles gépészmérnök, EWE, IWE hegesztő szakmérnök

Témavezető: *Dr. Orbulov Imre Norbert*, egyetemi tanár

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Gépészmérnöki Kar

Anyagtudomány és Technológia Tanszék



Budapest, 2022.

1. Bevezetés, a téma aktualitása

Az autóipar nagy sorozatban gyártott könnyűfém termékeivel szemben állított elvárások közül mind az ipari, mind pedig a felhasználói oldalról, kiemelkednek az újra-felhasználhatóság, gazdaságosság, funkcióintegritás igényei. A kiemelt igényeknek minden esetben oka van. Az újra-felhasználhatóság elsősorban az alapanyagra vonatkozik, a használatból történő kivezetés, vagy tönkremenetel után válik hangsúlyossá. A gazdaságosság kettős igény, egyrészt a gyártó piacon maradását támogatja, másrészt a felhasználónak üzemeltetési előnyt biztosít. A funkcióintegráció igénye, amivel több különálló részegységet, így azok összeszerelését is kiválthatjuk, és a termékfejlesztés is megvalósítható. A gyártástechnológia fejlődése nagy és összetett hatást gyakorol az iparra, valamint ezen keresztül az új és látens igények kielégítésére. A technológia fejlesztés hatását több tudományág vizsgálhatja, a munkámban ezek anyagtechnológiára gyakorolt hatását vizsgálom.

Az autóipar egy meghatározó igényformáló ágazat, a fejlesztés eredménye emberéletet menthet, egészséget befolyásol(hat), akár közvetlenül. A műszaki, minőségi és egyéb kritériumok teljesülése az iparág társadalomra gyakorolt hatása miatt kiemelten fontos. A tömegtermelés nagy szervezettséget és megfontolt műszaki fejlesztést igényel. A járművek részegységei között az öntött alumínium alkatrészek darabszáma és tömegaránya egyaránt nagy. Az alumínium könnyűfém ötvözetek alkalmazása csökkenti a járművek össztömegét, ezen keresztül csökkenti az üzemanyag fogyasztást, a károsanyag kibocsátást, és kedvezően hat az alapanyag újra-felhasználhatóságára. Az öntés kielégíti a gazdaságos, energiahatékony gyártást. Az öntéssel előállítható termék geometriának, mint funkcióintegrációs igény, inkább műszaki, mint bonyolultsági korlátai vannak.

Az öntéstechnológiák sokoldalú előnyt biztosítanak a felsorolt igények kielégítésére, a technológiaváltozatok nagy számban elérhetőek (homokforma, precíziós, kokilla, nyomásos öntés stb.). A szerkezeti alkatrészek gyártására kedvező a nyomásos öntés. Az előnyök elsősorban az automatizálhatóságban és a precíz anyagszerkezeti, geometriai ismétlési pontosságban rejlenek. A kész öntvények egy lépésben nyerik el bonyolult és méretpontos alakjukat, sokszor forgácsolást sem igénylő állapotukat („near-net-shape”). Az öntvények minőségét (nyomástömörtség, szilárdság, felületi minőség, méretpontosság stb.) eltérő paraméter-kombinációkkal lehet előállítani. A késztermék felületi minősége az öntőszerszám formaüregének a felületi minőségétől és bizonyos paramétereiktől egyaránt függ. A felsorolt technológia változatok közül a nyomásos öntés szavatolja a legkedvezőbb öntési ciklusidőt. Az öntőszerszám-betétek pontos hőháztartása biztosítja a gyors és intenzív hűtést, így a rövid ciklusidőt és az öntvénykéreg finom szemcseszerkezetét is elősegíti.

A nyomásos öntés több változata terjedt el, azonban egységes tulajdonságuk, hogy az olvadt fémet nagy sebességgel juttatják a formaüregbe. Az olvadék dermedése közben jelentkező halmazállapot és térfogatváltozással, vagyis a zsugorodással

szemben, utánnomással hatnak ellen. Ezzel a nyomással csökkenthető a gyors hűtésből adódó térfogatváltozás okozta anyagfolytonossági hibák mérete és számossága. A technológiaváltozatok lehetőséget biztosítanak az eltérő mértékű nyomásra: alacsony nyomású vagy nyomásos öntés.

A kedvező tulajdonságok mellett azonban szót kell ejteni a technológia nehézségeiről is. A hátrányok között említendő felhasználói oldalról az öntvények korlátozott méret- és tömegtartománya. Az eljárás megbízhatóságát több paraméter helyes beállítása eredményezi, ezek megválasztása és kontrollálása szakképzett embereket követel. A technológia megvalósítása szerszámozási és berendezési oldalról egyaránt költséges. A gyártás szükségszerű velejárói az öntvények inhomogenitásai (porozitások, zárvány, idegen fázisok stb.), amelyek változatossága, véletlenszerű elhelyezkedése, és az öntvényre gyakorolt hatása kedvezőtlen. A hibák megjelenésük helye (térfogati-, felületi-, mérrethibák, mechanikai hibák) szerint több csoportba sorolhatók. A szerszámgeometria bonyolultsága közvetlen hatással van a szerszámtöltés során az olvadék turbulens áramlására. Az olvadék turbulens áramlása, különösen a szerszám kilevegőzés nélküli zsebeinek töltése közben, borda keresztezéseknél, vagy keresztmetszetváltozások környezetében a zárt öntőszerszámba, a dermedés során anyagfolytonossági hibát okozhatnak. Az így keletkező hibák rontják a termék minőségét.

A geometriai összetettség, a funkcióintegráció csak bonyolult öntőszerszámmal valósítható meg, amely több bordát és keresztmetszet-változást tartalmaz. A tömegcsökkentés igénye, vagy azonos tömeg mellett növelt szilárdsági és élettartam elvárások kielégítése, az öntvénygeometria módosításával valósítható meg. Azon a ponton túl, ahol az adott alapanyag és geometria már nem képes az elvárt szilárdságot biztosítani, az alapanyag szilárdságnövelése vagy cseréje lehetséges. A szilárdságnövelés az alapanyag változtatás nélkül a hibák számának csökkentésével és addicionális technológiákkal (például hőkezelés) is megvalósítható.

Az értekezésben az nyomásos öntészeti módszerek közül a vízszintes hidegkamrás nyomásos öntéssel előállított öntvények inhomogenitásainak a szilárdságra és élettartamra gyakorolt hatásait vizsgálom. A hatásokat az anyagtudomány módszereivel közelítem meg. A nyomásos öntési technológia szükségszerű velejárója az anyagfolytonossági hiba. A munkám célja a vákuumos kilevegőzés porozitásmennyiség változásra gyakorolt hatásának a minősítése. Valamint, ezen keresztül a mechanikai tulajdonságok, élettartam, kifáradási szilárdság változásának a számszerű vizsgálata.

2. A kutatás célja

A szakirodalomkutatás alapján feltárt, és a próbatesteket biztosító öntődében is megerősített igény, hogy bár az AlSi9Cu3(Fe) ötvözet elterjedten alkalmazott és vizsgált nyomásos öntészeti ötvözet, elsősorban a kedvező ára miatt (1950-2050 BME, GPK, Anyagtudomány és Technológia Tanszék

euró/tonna, 2021. szeptember), azonban nincs rendelkezésre álló adat a vákuumos kilevegőzés hatásáról, a vizsgált öntési eljárás alkalmazása mellett. Részletesen publikált téma a vákuumos kilevegőzés pozitív hatása az öntvények utófeldolgozhatóságára (hőkezelés, hegesztés, szegecselés stb.), annak mértéke, és számszerű hatása azonban nem ismert. Továbbá, nem egyértelmű a vákuumos kilevegőzés hatására bekövetkező szilárdsági, kifáradási tulajdonságok javulásának szövetszerkezeti magyarázata. A szakirodalomkutatás alapján feltártam, hogy jelenleg nincs egzakt 3D-s (képalkotós) roncsolásmentes anyagvizsgálati kritérium rendszer élettartam szilárdság szempontjából releváns öntvények széria minősítésére, amelyek a technológiából adódó inhomogenitásokat tartalmaznak. Azonban kiemelendő, hogy a nyomásos öntési technológia szükségszerű velejárója a természetes anyagfolytonossági hiba (gázporozítás). A munkám célja nem csupán technológia fejlesztés, hanem az adott technológia anyagra gyakorolt hatásának a vizsgálata, ami nem nélkülözheti a technológia alapos ismeretét.

A szakirodalomkutatás ismeretében a következő célkitűzéseket tettem, a kísérleteket és vizsgálatokat ezek feltárása céljából terveztem. A vizsgált AlSi9Cu3(Fe) ötvözet, vízszintes hidegkamrás nyomásos öntéssel és ennek vákuumos kilevegőzéssel támogatott eljárásával gyártott öntvényeken.

1. A vákuumos támogatású AlSi9Cu3(Fe) alumínium ötvözet anyagvizsgálati eredményeinek bővítése, szabványos szilárdsági és alakváltozási mérőszámok meghatározása.
2. Az egyes vákuum szintek hatása a gázporozításra (technológiai paraméterektől függetlenül) és ezen keresztül a szabványos szilárdsági és alakváltozási mérőszámokra.
3. A vákuumos technológia anyagszerkezetre gyakorolt hatásainak minőségi (kvalitatív) és mennyiségi (kvantitatív) vizsgálata. A kifáradási szilárdság megállapítása az élettartam szakaszban ($2 \cdot 10^6$ ciklusig) és a tartamszilárdság tartományban (10^7 ciklusig), az $R=-1$, és $R=0,1$ terhelés aszimmetria mellett.
4. A fáradást követően feltárult töretek mikroszkópos és az előzetes CT vizsgálat visszacsatolásával a kifáradást okozó porozítások pozíciójának sajátosságainak megállapítása.
5. Az alkalmazott roncsolásmentes eljárásokkal detektált inhomogenitások sajátosságai (forma, gömbszerűség, méret) alapján a törést okozó hibák meghatározása.
6. Az öntvények törésmechanikai vizsgálatával a kritikus feszültségintenzitási tényező változás értékének meghatározása, és azt a szakirodalmi értékkel összevetve, az alkalmazott indirekt módszer alkalmazhatóságának igazolása.
7. Az alkalmazott törésmechanikai eljárással a kritikus hibaméretet és annak a tartamszilárdságra gyakorolt hatásának meghatározása.

3. Az alkalmazott módszerek és anyagok

A kísérletek alapanyaga a szilumin (jelölése AC-4xxxx) csoport egy jellegzetes ötvözete, kémiai megjelölése alapján AlSi9Cu3(Fe). Az eutektikus összetétel 9-11 %-os szilícium tartalommal az Al-Si alumínium-ötvözetek között a legkisebb térfogati zsugorodást adja. Az alumínium-szilícium ötvözetek mechanikai tulajdonságai erősen függenek a szemcsék méretétől és alakjától. A megszilárduló fémekben a kristályosodási központok számától és az olvadék hűlési sebességétől függően különböző nagyságú szemcsék jönnek létre. A szemcseméretet és a szemcsealakot az ötvözés, a hűlés sebessége, és az olvadékkezelés módja erősen befolyásolja. A rézötvözés az egyik legnagyobb elérhető szilárdsági és keménységi értékeket adja. A vas megítélése alapvetően kedvezőtlen az alakítható ötvözetek esetén, szennyezőként tartják számon. Azonban az öntészeti ötvözetekben az acél szerszámok oldása ellen adagolt kedvező hatású ötvöző. A szilícium finomítására sokszor stronciumot adagolnak az olvadékhoz.

A nyomásos öntés folyamatait az ismétlődő ciklusban több műveletre lehet osztani. Az egyes műveletek különböző mértékben, de jól automatizálhatók. Az első lépés a szerszámfelek zárása 1), majd ezt követi a folyékony fém töltőkamrába juttatása 2). A harmadik lépés a formaüreg töltése, vagyis az öntés 3). A negyedik művelet a szerszámfelek nyitása 4), majd az öntvény eltávolítása (kilöketés) a formaüregből 5). Végezetül egy lépésben valósul meg a szerszámfelek hűtése és a leválasztóanyag felvitele 6). Ezt követően a részműveletek ismétlődnek, és minden egyes ciklusban egy öntvénycsokor jön létre. A 3) lépés, vagyis az öntés három fázisát, külön is kiemelem, mert a nyomásos öntés elnevezés és a gyártott öntvények sajátosságát is ez adja. Az első fázisban az olvadék a kamrából a beömlőrendszeren keresztül eljut a formaüregbe. A második fázisban az olvadék átjut a rávágáson keresztül a darab alakját meghatározó formaüregbe. A harmadik fázisban az utányomás szakaszában, a dermedő fém térfogati zsugorodását nagy nyomással (500-1500 bar) kompenzáljuk, ezzel ellenhatunk a zsugorodási üregek kialakulásának, és az olvadékba bezáródott vagy bekeveredett gázok okozta gázporozításokat összepréseljük. A gyártási ciklikus ismétlődése csak szigorú ellenőrzések, és a gyártó nagy műveleti fegyelme esetén ad azonos öntvény minőséget a termék teljes életciklusa alatt.

A nyomásos alumínium öntvények inhomogenitásai közvetlenül befolyásolják azok mechanikai tulajdonságait, szilárdságát, szívósságát, és nem utolsósorban azok felületi minőségét. Az inhomogenitások az öntési folyamat során keletkezhetnek több okból kifolyólag, öntési paraméterek, ötvözet tulajdonságai, formaüreg és szerszám konstrukció. A nyomásos öntvények tömörsége magától értetődőnek tűnik, azonban az inhomogenitások öntvény tömörségre gyakorolt hatása nem hagyható figyelmen kívül. Az inhomogenitások osztályozására több lehetőséget ismertet a szakirodalom. Az inhomogenitások megjelenésük szerint három csoportba sorolhatók: 1) a hiba helye és alakja szerint (térfogati, felületi), 2) a hiba eredete szerint (gázporozítás, zsugorodási porozítás stb.), 3) a hiba típusa szerint (metallurgia sajátosságok, amelyek különféle hibákat okoznak). További lehetséges csoportosítás, az inhomogenitások keletkezése

szerint, ami lehetséges i) olvadék állapotban, ii) dermedés közben, iii) és szilárd állapotban egyaránt. Az adott ötvözet nyomásos öntése közben leggyakrabban előforduló alumínium anyagszerkezeti hibák: 1) az olvadék oxidációja miatt oxid film bezáródás; 2) levegőbezáródások (gázporozitás); 3) halmazállapot változás (zsugorodási porozitás); 4) vegyületfázisok kiválása.

Az öntvényhibák anyagvizsgálati módszereit elsősorban az ipari szabványok alapján végeztem és értékeltem ki. Az inhomogenitások mindegyike összefügg, hiszen belátható, hogy egy felületi hiba (hidegfolyás, hibás szerszámtöltés, nyílt pórus stb.) egyszerre okozhat alakhűség eltérést, felületi esztétikai hibát, jelenléte pedig a kifáradással szemben ronthatja a darab ellenállását. Az értekezés szempontjából elsősorban a térfogati hibákra és azok mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatását értékeltem, és ezek vizsgálati eljárásaira koncentráltam. Az alkalmazott roncslósos- és roncslósmentes vizsgálatokat felsorolva, röntgen és számítógépes tomográfiával vizsgáltam az anyagfolytonossági hibákat és azok sajátosságait, majd ezeket az eredményeket visszacsatoltam a szakító- vagy fásztóvizsgálatokat követően. Az eredmények visszacsatolását és a szemcseszerkezet vizsgálatát mikroszkópos vizsgálatokkal támogattam.

4. A kutatómunka összefoglalás, új tudományos eredmények

A kutatómunkámban a nyomásos alumíniumötvözetű öntvények gyártásból adódó inhomogenitások szilárdságra, élettartamra gyakorolt hatásának a vizsgálatát tűztem ki célul, valamint azt, hogy a roncslósmentes anyagvizsgálati eredményből következtetni az alkatrészek hosszú távú használatra való alkalmasságra. Továbbá, hogy a megszerzett ismeretekből ipari alkalmazásokat dolgozzak ki. A kitűzött célokra, a feltett kérdésekre az értekezésben bemutatott vizsgálatok eredményeivel válaszoltam. A mechanikai tulajdonságok közül leginkább a százalékos szakadási nyúlás változást emelem ki, amely az AlSi9Cu3(Fe) ötvözet esetén $\sim 50\%$ -os növekményt mutatott. A vákuumtámogatás nélkül gyártott nyomásos öntvényeket nem célszerű oldó hőkezelést is magában foglaló hőkezelési folyamatnak alávetni, a technológia sajátosságai miatt. Az oldó hőkezelés hőmérsékletén a mechanikai tulajdonságok értékei lecsökkennek, a bezáródott gázok pedig kitágulnak, ennek következtében a darab felszíne felhólyagosodik és a darab deformálódik. A vákuumos kilevegőzés egyike azon eljárásoknak, amely révén az öntvények hőkezelhetővé, szegecselhetővé és hegeszthetővé válnak. A fásztóvizsgálatok eredményei igazolták, hogy a porozításmennyiség csökkenése jelentősen növelte a darabok élettartamát adott terhelési szinten, továbbá jelentősen csökkentette a kifáradási ciklusszám szórását, ezzel növelve a megbízhatóságot. A vákuumos kilevegőzéssel (80 ± 5 mbar) gyártott próbatetek kifáradási ciklusszáma 50% -os megbízhatósági és 90% -os konfidencia szinten $R=-1$ terhelés aszimmetria esetén 20% -kal, $R=0,1$ terhelés aszimmetria esetén pedig 16% -kal növekedett. A CT vizsgálattal nyert eredményeket visszacsatolva a

próbatess fárasztását követően látható volt, hogy a tönkremenetelt okozó hibák mérete és elhelyezkedése, egy szűkebb tartományra korlátozódott, az összes detektált inhomogenitás nagy változatossága ellenére. A kapott eredményeket felhasználva a Kitagawa-Takahashi (KT) módszerrel végzett kiértékeléshez, igazolódott, hogy az helyes indirekt eljárás a fárasztóvizsgálati eredmények alapján megállapítani a kritikus feszültségintenzitási tényező változás küszöbértékét. Továbbá, a KT módszerrel megállapítható a kritikus hibaméret hatása a kifáradási szilárdságra adott tartamzilárdság ciklusszámon.

A doktori kutatómunkám eredményét összesen hét tézispontban foglaltam össze.

1. tézis [1, 2, 5]

A vákuumtámogatással, nyomásos öntéssel előállított AlSi9Cu3(Fe) ötvözetű szakítóvizsgálati próbatess vizsgálat az mutatta, hogy 80 ± 5 mbar-os formaüreg nyomás tartományban, a szilárdsági és alakváltozási mérőszámok szignifikáns növekedést mutatnak. A hagyományos kilevegőzéssel gyártott próbatess szabványos mérőszámait összehasonlítva a vákuumtámogatással (80 ± 5 mbar) gyártott darabok értékeivel: a terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatár 7 %, a szakítószilárdság 10 %, a százalékos szakadási nyúlás 50 % növekedést mutat, 95 %-os konfidencia szinten.

2. tézis [1, 2, 6]

A vákuumtámogatással, nyomásos öntéssel gyártott AlSi9Cu3(Fe) ötvözetű öntvények gázporozitása és a szabványos szakítóvizsgálattal mért szilárdsági és alakváltozási mérőszámai között lineáris kapcsolat van. Az összefüggés egy egyenes egyenletével: $y = m x + b$ alakban írható le, ahol y valamely szabványos mérőszám ($R_{p0,2}$, R_m , A), x a porozitás mértéke, m és b értékei 50 %-os (R50 %) és 95 %-os (R95 %) megbízhatósági szinten az alábbi táblázatban foglaltak. Az összefüggés a 0,4–1,2 %-os porozitás tartományon érvényes, 95 %-os (C95 %) konfidencia szinten.

Paraméterek (C95 %)	$R_{p0,2}$ (MPa)		R_m (MPa)		A (%)	
	R50 %	R95 %	R50 %	R95 %	R50 %	R95 %
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

3. tézis [3, 4, 7]

Az AlSi9Cu3(Fe) ötvözetű, vákuumos támogatással (80 ± 5 mbar-on), nyomásosan öntött próbatess fárasztóvizsgálatával kimutattam, hogy az öntési hibákból adódó tönkremenetek számossága 42,5 %-al csökkent, 95 %-os konfidencia szinten. Kimutattam, hogy a vákuumos támogatás alkalmazása a Wöhler egyenes élettartam

szakaszának mereedségét nem befolyásolta, de a kifáradási ciklusszámot növelte. A vákuumos támogatással előállított próbatetek kifáradási ciklusszáma 50 %-os megbízhatósági és 90 %-os konfidencia szinten $R = -1$ terhelésszimmetria esetén 20 %-kal, $R = 0,1$ terhelésszimmetria esetén pedig 16 %-kal növekedett.

4. tézis [4, 7]

Az AlSi9Cu3(Fe) ötvözetű, nyomásosan, vákuumos támogatással (80 ± 5 mbar) öntött fásasztóvizsgálati próbatetek vizsgálatával kimutattam, hogy az inhomogenitásokra visszavezethető fáradási repedések nem a felületről indultak ki, hanem az öntött finomszemcsés kéreg alatti, a felülettől $0,63 \pm 0,22$ mm távoli anyagfolytonossági hibákból.

5. tézis [4, 7]

Az AlSi9Cu3(Fe) ötvözetű, vákuumos támogatással (80 ± 5 mbar), nyomásosan öntött fásasztóvizsgálati próbatetek kifáradását okozó porozítások geometriai sajátosságait, a porozitás gömbszerűségével (Ψ), alaktényezőjével (S), és méretével (D_v) jellemezve megállapítottam, hogy a vákuumos támogatás a geometriai sajátosságok értelmezési tartományainak javulását eredményezték: a gömbszerűség 68 %-al, az alaktényező 55 %-al, a hibaméret 94 %-al változott, azaz javult.

6. tézis [8]

A vákuumos támogatással, nyomásos öntéssel gyártott AlSi9Cu3(Fe) ötvözetű öntvényekből készült próbatetek fásasztóvizsgálatával kimutattam, hogy a Kitagawa–Takahashi megközelítés megbízható indirekt eljárás a kritikus feszültségintenzitási tényező változás küszöbértékének meghatározására ($\Delta K_{th} = 1,8 \text{ MPa m}^{0,5}$).

7. tézis [8]

A vákuumos támogatással, nyomásos öntéssel gyártott AlSi9Cu3(Fe) ötvözetű próbatetek fásasztóvizsgálatával meghatároztam a hibaméret hatását a tartamszilárdságra, a következő összefüggés formájában:

$$\sigma_{fN} = D_{geo} A^{-0,25} \quad (1)$$

ahol, σ_{fN} a tartamszilárdság (MPa), D_{geo} a geometriai sajátosságok alapján illesztett görbe paramétere (belső hiba esetén $D_{geo \text{ belső}} = 65,8 \text{ MPa}^4 \sqrt{m}$, felületi hiba esetén $D_{geo \text{ felület}} = 62,8 \text{ MPa}^4 \sqrt{m}$), A a keresett hibafelület (mm^2). A fenti összefüggés 10^7 ciklusszámra, $S = 2,9-4,2$ közötti alaktényezőre és $D_v = 0,01-0,40 \text{ mm}^2$ közötti észlelt hibaméret tartományra érvényes.

5. Az eredmények ipari hasznosítása

A nyomásos öntészeti módszerek közül a vízszintes hidegkamrás nyomásos öntéssel, és annak technológia változataival előállított alumíniumöntvözet anyagvizsgálatával foglalkoztam. A könnyűfém öntvényekkel szembeni igények növekedése, amelyek közül az oldóhőkezelés, hegesztés, szegecselés követelményei a legszigorúbbak, a vákuumos kilevegőzés elterjedését eredményezte. A vákuumos kilevegőzés alkalmazása kedvező hatással van az öntvényekre, ezek számszerű hatását mutattam be az értekezésben.

A kutatási eredmények közvetlen felhasználása a FÉMALK ZRt-ben (a kutatásaimat befogadó öntöde) az öntvénytervezésben, már a kutatás ideje alatt megvalósult. Az eredmények önmagukban is értékes adatok, azok kinyerésére tervezett kísérletek, mintavételezési eljárások, statisztikai módszerek, mind a napi mérnöki munkát támogató eljárások közé kerültek. A munkámban ismertetett CT vizsgálatokat az Osztrák Öntészeti Intézet (ÖGI) végezte a FÉMALK ZRt. öntvényein, egy közös projekt keretében, ami a VDG P203-as szabvány (porozitás vizsgálat CT eljárással) megalkotását célozza.

A vákuumos kilevegőzéssel elért szilárdsági és alakváltozási mérőszámok értékeinek a növekedése (adott alapanyag és geometria mellett) további kutatási alap, a hőkezelési eljárások kiterjesztésére, további szilárdsági, vagy szakadási nyúlás növekmény elérése céljából. Továbbá, műszakilag jó minőségű varratok kivitelezését teszi lehetővé a vákuum támogatással gyártott öntvények hegesztése. Ami a szegecselés mellett egy rendkívül elterjedt kötéstechika. A jövőbeni tervek az eddigi eredmények alapján, hogy a kidolgozott eljárásokat más, járatos öntészeti ötvözetekre is kiterjesztem. A felsorolt tervek megvalósításának egy része már az értekezés írása közben folyamatban volt.

6. A tézisekhez kapcsolódó saját publikációk

[1] Szalva P., Orbulov I.N.: The effect of vacuum on the mechanical properties of die cast aluminum AlSi9Cu3(Fe) alloy, International Journal of Metalcasting (IJMC), 13, 4, 853-864 (2019), DOI: 10.1007/s40962-018-00302-z; IF: 0,779

[2] Szalva P., Orbulov I.N.: The effect of vacuum degree on the porosity and mechanical properties of die cast AlSi9Cu3(Fe) alloy by life data analysis, Resolution and Discovery (RaD), 3, 2, 33-38 (2018), DOI: 10.1556/2051.2018.00061; IF: -

[3] Szalva P., Orbulov I.N.: Influence of vacuum support on the fatigue life of AlSi9Cu3(Fe) aluminum alloy die castings, Journal of Materials Engineering and Performance (JMPEP), 29., 9, 5685-5695., (2020) DOI: 10.1007/s11665-020-05050-y; IF: 1,476

[4] Szalva P., Orbulov I.N.: Fatigue testing and non-destructive characterization of AlSi9Cu3(Fe) die cast specimens by computer tomography, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures (FFEMS), 43, 9, 1949-1958 (2020) DOI: 10.1111/ffe.13249; IF: 2,555

[5] Szalva P.: Vákuum támogatott nyomásos alumínium öntvények fogyóelektródás védőgázos hegesztése, BKL (Bányászati és Kohászati Lapok) – Kohászat 151., 1., 14-18 (2018)

[6] Szalva P.: A vákuumos kilevegőzés hatása a nyomásos alumínium öntvények mechanikai tulajdonságaira, BKL (Bányászati és Kohászati Lapok) – Kohászat 152., 5-6., 9-15 (2019)

[7] Szalva P., Orbulov I.N.: A vákuumos kilevegőzés hatása a nyomásos öntéssel gyártott alumíniumöntvények kifáradási tulajdonságaira, BKL (Bányászati és Kohászati Lapok) - Kohászat 153., 4., 23-29 (2020)

[8] Szalva P., Orbulov I.N.: Effects of artificial and natural defects on fatigue strength of a cast aluminum alloy, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures (FFEMS), Vol., Issue, 1-5 (2021) DOI: <https://doi.org/10.1111/ffe.13564>, IF: 3,031