

Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola



ALUMÍNIUM HENGERFEJ ÖNTVÉNYEK REPEDÉSÉRZÉKENYSÉGE

Ph.D. értekezés tézisei

Készítette:

FEGYVERNEKI GYÖRGY

okleveles kohómérnök

Tudományos vezető:

Dr. Dúl Jenő

Miskolci Egyetem

Metallurgiai és Öntészeti Tanszék

Kutatás támogatója: Hydro Alumínium Győr Kft.

Miskolc

2007

1. Bevezetés, a dolgozat tudományos célkitűzése

Az autóiipari beszállítóknak egyre inkább szembe kell nézniük azzal a ténnyel, hogy az autógyárak elsődleges célja a minél nagyobb teljesítményű, de minél kisebb tömegű alkatrészek kifejlesztése.

A gépjárművek motorjainak egyik legfontosabb része a hengerfej. A hengerfej-öntvényekkel szemben támasztott kimagasló szilárdsági követelmények eléréséhez folyamatos technológiai fejlesztés, magas szintű gyártási fegyelem szükséges. Ezen a területen is érvényesül a minél nagyobb teljesítmény, minél kisebb tömeg elvárás, mely a falvastagság csökkentését vonja maga után. A vékony falak egyik legnagyobb hátránya azonban a repedés-érzékenységre való hajlam növekedése.

A disszertációm első részében a hengerfej-öntvények gyártásával kapcsolatos korszerű szakmai ismereteket foglaltam össze hazai és főleg nemzetközi tapasztalatok rendszerezésével. Mivel a probléma orvoslásában jelentős szerepet játszanak a mechanikai tulajdonságok, illetve a szabályozott körülmények közötti dermedési- és hülési viszonyok, ezért kitérek a mechanikai tulajdonságok és a szövetszerkezet vizsgálat témakörökben megjelent szakirodalomra is.

Kutatásom célja az alumínium-hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességének vizsgálata, a repedések kialakulási okainak, csökkentési lehetőségeinek feltárása, a gyártástechnológia fejlesztésének kidolgozása.

Bemutatom azt a vizsgálati módszert és berendezést (hőfárasztásos, „Thermoshock”teszt), melynek segítségével a repedés-érzékenység nagy biztonsággal vizsgálható. Ez a módszer az autógyárak által alkalmazott „cold-warm” tesztnek felel meg.

A hengerfej öntvények gyártási folyamatának minden olyan részletét elemeztem, mely befolyással lehet a repedés-érzékenységre, illetve ahol potenciális lehetőség van ennek javítására.

Megvizsgáltam a repedt öntvényeket, kerestem a repedés kialakulásának okait. Mikrosziszolátokat vettem a repedések kiindulópontjainak helyéről és scanning elektronmikroszkóp segítségével végeztem vizsgálatokat. Egyértelműen megállapítható volt, hogy a repedés kiindulópontjában mindenütt vastartalmú intermetallikus fázisok találhatók, melyek kialakulása az alapanyag, az AlSi ötvöztömbök gyártásával hozhatók kapcsolatba. Megvizsgáltam az ötvözet tömbök csiszolatait scanning elektronmikroszkóppal és elemeztem az intermetallikus vastartalmú fázisok kialakulásának a lehetőségét.

Mivel egyértelmű kapcsolatot találtam e fázisok átöröklődése és a repedés-érzékenység között, ezért arra helyeztem a hangsúlyt, hogy milyen lehetőségeim vannak a gyártási paraméterek módosításával elkerülni, de legalábbis kedvezőbb

kristályosodási morfológiára kényszeríteni az intermetallikus vastartalmú fázisokat már az ötvözetömb gyártásánál.

Az alumínium hengerfej öntvények minden egyes gyártási fázisát szisztematikusan megvizsgáltam, hogy feltárjam azokat a lehetőségeket, amelyekkel szabályozható és javítható a repedéssel szembeni ellenálló képesség.

Megvizsgáltam az öntödében alkalmazott olvadékkezelési technológia hatását, a szemcsefinomítás és a nemesítés szerepét a repedések kialakulásában.

Az öntést követően a hengerfej öntvény kokillában való dermedése során jelentős szerepe van a hűtési viszonyoknak és ennek kapcsán a kialakuló szekunder dendritág távolságnak a repedésekkel szembeni ellenálló képesség növelésében. Megvizsgáltam, hogy a szekunder dendritág távolság milyen kapcsolatban van a repedés-érzékenységgel.

Nagyon fontos szerepe van a repedés-érzékenység kialakulásában az öntvény kokillából való kivételét követően a szabályozott hűtésnek. Részesem voltam az ún. fluidágyas hűtési technológia kidolgozásának, mely nagymértékben javítja a hengerfej öntvényeknek a repedésekkel szembeni ellenállását.

Az öntvények mechanikai tulajdonságait és ezen keresztül a repedés kialakulásával szembeni ellenálló képességét javítani tudjuk hőkezelések alkalmazásával is. Vizsgálatokat végeztem annak megállapítására, hogy a hengerfej-öntvények hőkezelése során milyen határértékek esetén teljesül a mechanikai tulajdonságok olyan javítása, mely a repedésekkel szembeni ellenálló képesség növekedését eredményezi.

A gyártási paraméterek hatásának vizsgálatára irányuló minden kísérletemet a hőfárasztásos teszttel egészítettem ki, így bizonyítom a vizsgált jellemzőnek az öntvény tulajdonságaira gyakorolt hatásával kapcsolatos megállapításaim helyességét.

Összességében a doktori munkámban egy olyan összefüggésrendszer felállítására volt lehetőségem, melynek alkalmazásával a fentiekben leírt vizsgálati módszerek alkalmazása nélkül is nagy biztonsággal elérhető az alumínium hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességének javítása.

2. Kísérleti körülmények

Doktori munkám alapjául két a Hydro Alumínium Győr Kft.-nél gyártott hengerfej típus szolgált, melyek tesztelése során problémák merültek fel.

A problémákat két csoportba lehetett osztani:

- *a hengerfejek mechanikai tulajdonságai nem feleltek meg a vevői követelményeknek*
- *a motortesztek során a hengerfejek égésterében nagymértékű (a vevő által nem elfogadott) repedések keletkeztek*

Első lépésként abból a szempontból vizsgáltam meg a hengerfejeket, hogy milyen közös tulajdonságaik vannak, amelyek elősegíthetik a fellépett problémák kialakulását.

Az elemzések során két fontos, közös paramétert találtam:

1. *Mindkét hengerfej szekunder DIN 226.10-es ötvözetből lett öntve (AlSi9Cu3)*
2. *Mindkét hengerfej T5-ös típusú hőkezeléssel lett hőkezelve (mesterséges öregítés; feszültségmentesítő izzítás)*

A DIN 226.10-es ötvözet főbb komponensei a következők:

Si: 8,5 – 9,5 %	Mn: 0,3 – 0,5 %
Cu: 2,3 – 2,6 %	Fe: 0,3 – 0,7 %
Mg: 0,25 – 0,50 %	Sr: 150 – 250 ppm

Ezen ötvözőelemek mennyisége határozza meg egy AlSi ötvözetből öntött hengerfej öntvény esetében az önthetőségi és mechanikai tulajdonságokat, illetve nagy szerepük van az öntvény repedéssel szembeni ellenálló képességének alakításában is.

A gyártás másik közös jellemzője a hőkezelés volt. A két hengerfej típus esetében az amerikai szabvány szerinti T5-ös hőkezelés egy klasszikus mesterséges öregítési folyamat, melynek elsődleges célja a feszültségmentesítés és a mechanikai tulajdonságok kismértékű növelése.

A hőkezelés is jelentős szerepet játszik az öntvények repedéssel szembeni ellenálló képességének javításában. Mivel a repedés-érzékenység egy igen komplex problémája a hengerfejgyártásnak, ezért a megoldása nem lehetséges egyedül az ötvözőelemek és a hőkezelés változtatásával. Ráadásul, mint minden folyamat esetében itt is igaz, hogy figyelembe kell venni a gazdaságossági szempontokat, azaz olyan megoldást kell találni, mely egyszerre oldja meg a problémát, és nem jár jelentősebb költségnövekedéssel. Ehhez szükséges egy olyan összefüggésrendszer felállítása, amelynek segítségével előre jelezhető a probléma kialakulása.

Az értekezés felépítése:

A kutatómunkám célja az volt, hogy meghatározzam a hengerfej öntvények égésterében található repedések kialakulásának okait, valamint megalkossam azt az összefüggésrendszert, melynek segítségével egyrészt előre jelezhetővé válik, másrészt minimálisra csökkenthető az öntvények égésterében jelentkező repedések száma.

A probléma megoldás főbb lépései:

- I. Repedt hengerfejek vizsgálata, a repedés okainak azonosítása
- II. Az alapanyag tulajdonságainak hatása, az intermetallikus vastartalmú fázisok szerepe
- III. Az olvadékezelési technológia hatása
- IV. A hőkezelési paraméterek és a mechanikai tulajdonságok hatása a repedés-érzékenységre
- V. A dermedési sebesség befolyása, hűtési viszonyok optimalizálása, szabályozott hűtés alkalmazása az öntést követően (fluidágyas hűtés)
- VI. Ötvözőelemek hatásának vizsgálata a repedés-érzékenységre
- VII. Repedés-érzékenység előrejelzésének lehetőségei

I. Repedt hengerfejek vizsgálata, a repedés okainak azonosítása

Először azon öntvények csiszolatainak vizsgálatát és elektronmikroszkóppal történő elemzését végeztem el, amelyek a vevői követelményeknek nem megfelelő repedéseket tartalmaztak.

A szövetvizsgálatokból az alábbi következtetések vonhatóak le:

A repedések környezetének szövetszerkezete döntően primeren kristályosodott alumínium alapú szilárd oldatból és szilíciumot tartalmazó biner eutektikumból, továbbá vastartalmú intermetallikus $Al(Fe, Mn)Si$ és $AlFeSi$ fázisokból áll.

Az energia diszperzív mikroszondás vizsgálatok alapján feltételezhető, hogy az alumínium alapú szilárd oldat és a biner eutektikum fázisai mellett Mg_2Si , Al_2Cu valamint $Al_{13}Cu_4Ni_2$ és $Al_5Mg_8Si_2Cu_2$ vegyület fázisok és vas-, mangán tartalmú fázisokból álló ternér, kvaternér eutektikum is előfordul a szövetben.

A továbbiakban arra kerestem a választ, hogy ezek a vegyületfázisok mikor, hol és milyen hatásmechanizmus következtében alakulhatnak ki.

A hengerfej metszetek optikai és polarizációs mikroszkópon végzett vizsgálatait után végeztem el a scanning elektronmikroszkópos és az energia diszperzív mikroszondás vizsgálatokat.

A hengerfej metszetek egyik részéből töret vizsgálatokhoz készítettem próbatesteket, ezeket scanning elektron mikroszkóppal vizsgáltam meg, a másik részéből az energia diszperzív mikroszondás elemzésekhez készítettem próbatesteket.

II. Az alapanyag tulajdonságainak hatása, az intermetallikus vastartalmú fázisok szerepe

A következő lépés az alumínium ötvözet tömbök töreteinek scanning elektron mikroszkóppal történő vizsgálata, melynek során céloim az intermetallikus vastartalmú fázisok átöröklődésének bizonyítása volt.

A kapott eredmények alapján összefoglaltam mely körülmények teljesülése esetén van lehetőség arra, hogy az intermetallikus vastartalmú fázisok mennyiségét már az alumínium ötvözet tömbökben csökkenthessük, illetve a kedvezőbb α -Al(FeMn)Si formában kristályosodjanak.

III. Az olvadékkezelési technológia hatása

Az elvégzett vizsgálatok keretében sor került a hengerfejek gyártásához alkalmazott fémolvadékok hidrogéntartalmának, kémiai összetételének és csíraállapotának vizsgálatára. Megvizsgáltam az öntödében alkalmazott olvadékkezelési technológia hatását, a szemcsefinomság és a nemesítetttségi fok szerepét a repedések kialakulásában.

IV. A hőkezelési paraméterek és a mechanikai tulajdonságok hatása a repedés-érzékenységre

Vizsgálatokat végeztem a repedés-érzékenység szempontjából legkedvezőbb anyagminőség és hőkezelési paraméterek meghatározása céljából.

A vizsgálatok célja ebben a témakörben:

- A megfelelő anyagminőség és hőkezelési paraméterek kiválasztása a mechanikai tulajdonságok alapján.
- A hengerfejek mechanikai jellemzői és a repedés bekövetkezése közötti összefüggések megállapítása a következő AlSi ötvözetek esetén:
 - öAlSi9Cu3 szekunder
 - öAlSi9Cu3 primer
 - AlSi7Cu1,5 primer
 - AlSi7Cu2,5 primer minőségű ötvözet

Az elvégzett hőkezelési kísérletek eredményeit a következő szisztéma szerint dolgoztam fel:

- **Mechanikai tulajdonságok változásának elemzése a fenti ötvözetek és különböző hőkezelési paraméterek esetén**
Az alkalmazott hőkezelési paraméterek:
kítárolás hőmérséklete: 210, 220, 230, 240 °C,
hőntartási idő: 150, 180, 240 perc

- **Mechanikai tulajdonságok változásának elemzése azonos hőkezelési paraméterek és különböző ötvözetek esetén**

A fentiekén kívül az $\text{öAlSi9Cu3+AlMn+AlP}$ és az öAlSi7MgCu0,5 anyagminőségéből öntött hengerfejeket vizsgáltam, melyeket azonos paraméterekkel hőkezelttem.

V. A dermedési sebesség befolyása, hűtési viszonyok optimalizálása, szabályozott hűtés alkalmazása az öntést követően (fluidágyas hűtés)

A hengerfej öntvények kokillában való dermedése során jelentős szerepe van a hűlési viszonyoknak és ennek kapcsán a kialakuló szekunder dendritág távolságnak a repedés-érzékenység csökkentésében. Megvizsgáltam a kokilla-hőmérséklet határértékek hatását a szekunder dendritág távolságra, valamint a szekunder dendritág távolság és a repedés-érzékenység kapcsolatát.

Nagyon fontos szerepe van a repedés-érzékenység kialakulásában az öntvény kokillából való kivételét követően a szabályozott hűtésnek. Részesem voltam az ún. fluidágyas hűtési technológia kidolgozásának. A kidolgozott technológia szerint megvalósított szabályozott hűtés hatására javultak a hengerfej öntvények mechanikai tulajdonságai (R_m , $R_{p0,2}$, A_5) és a repedéssel szembeni ellenálló képessége.

VI. Ötvözőelemek hatásának vizsgálata a repedés-érzékenységre

- **A „Thermoshock-teszt” eredményei különböző kísérleti ötvözetek esetén**

A következő kísérleti ötvözet típusokból leöntött hengerfejek vizsgálatára került sor:

- DIN 226.10 primer ($\text{AlSi9Cu3Fe}<0,3\%$)
- DIN 226.10 szekunder ($\text{AlSi9Cu3Fe}=0,6-0,8\%$)
- $\text{AlSi7MgCu1,5 Fe0,3}$
- AlSi7Cu2,5Fe0,3
- AlSi7Cu2,5Fe0,6
- DIN 233 (AlSi10MgCu0,5)

Bemutatom a fenti ötvözetek esetében a hőfárasztásos („Thermoshock”) tesztek eredményeit, az ötvözőelemek hatását. A vizsgálatok lehetővé tették a repedésekkel szemben leginkább ellenálló ötvözet kiválasztását.

- **A „Thermoshock-teszt” eredményei különböző hőkezelés és azonos ötvözetek esetén, a fluidágyas hűtés szerepe**

A vizsgálatokat a **DIN226.10-es primer ötvözetből** öntött öntvényekre végeztem el. Ezt az ötvözetet választottam ki a hőfárasztásos teszt eredményei alapján. Ez az ötvözet biztosítja a repedésekkel szemben leginkább ellenálló hengerfej öntvényt.

A hőkezelési paraméterek kiválasztásának alapelve az volt, hogy megvizsgáltam a T5-ös hőkezelés hőmérséklet szempontjából alsó (210°C) és a felső (240°C) sávját illetve, a hőkezelési idő tekintetében hasonló elvet követve 150; 180; és 240 perces hőtartás hatását vizsgáltam.

A vizsgálataimnak két fő iránya volt:

- a hőkezelés hatásának kimutatása (három hőkezelési típus kiválasztásával)
- a fluidágyas hűtés szerepének bemutatása (érdemes-e alkalmazni) a repedésekkel szembeni ellenálló képesség növelésére

A következő kombinációk hőfárasztásos (Thermoshock teszt) vizsgálatára került sor:

- 210°C; 150 min hőkezelés + fluidágyas hűtési eljárás alkalmazása
- 210°C; 150 min hőkezelés + fluidágyas hűtési eljárás alkalmazása nélkül
- 240°C; 180 min hőkezelés + fluidágyas hűtési eljárás alkalmazása
- 240°C; 180 min hőkezelés + fluidágyas hűtési eljárás alkalmazása nélkül
- 240°C; 240 min hőkezelés + fluidágyas hűtési eljárás alkalmazása

A vizsgálatok eredményeként meghatároztam a 20 órás hőfárasztásos tesztet követően kialakuló repedések számát. Az eredmények alapján egyértelmű bizonyítást nyert a fluidágyas (szabályozott) hűtési eljárás pozitív hatása mind a mechanikai tulajdonságokra, mind a hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességének növelésére.

VII. Repedés-érzékenység előrejelzésének lehetőségei

A Thermoshock tesztek eredményei alapján bebizonyítottam a mechanikai tulajdonságok és a repedések keletkezése közötti összefüggést illetve meghatároztam a repedésekkel szembeni ellenálló képesség növelése céljából alkalmazható optimális hőkezelési paramétereket.

A mechanikai tulajdonságok (R_m , $R_{p0,2}$, A5), a szekunder dendritág távolság és a kokilla hőmérsékletek közötti összefüggések felállításával megvalósult a repedés-érzékenység előrejelzésének lehetősége.

3. A kísérleti berendezés ismertetése

A repedés-érzékenység vizsgálata, a hófárasztásos „Thermoshock-teszt”

Az AlSi-ötvözetből öntött hengerfej ötvények repedés-érzékenységének vizsgálatára a bonni kutató – fejlesztő központunk a hófárasztásos „Thermoshock-tesztet” dolgozta ki. A doktori munkám során a berendezés segítségével ellenőrizhettem az elvégzett kísérleteim repedés-érzékenységre gyakorolt hatását.

Az 1. ábrán lévő képek a berendezés részeit és a vizsgálat részfolyamatait mutatják



1. ábra A „Thermoshock-teszt”

Egy tesztciklus részfolyamatai

A hengerfejet égéster oldalával felfelé fordítva behelyezzük a vizsgálo berendezésbe.

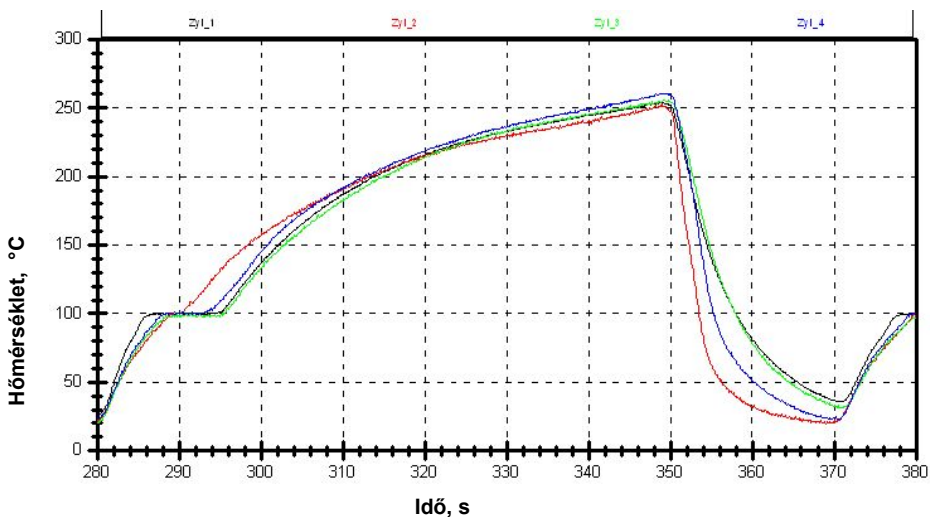
Szobahőmérsékletről indítva a hengerfej égésterét 10 másodperc alatt felhevítjük 100°C körüli hőmérsékletre. Ezt követően 4 – 5 másodperces hőtartás következik ezen a hőmérsékleten.

Majd újabb intenzív hevítéssel 50 másodperc alatt a hengerfej égésterének hőmérsékletét 300°C közelébe hevítjük.

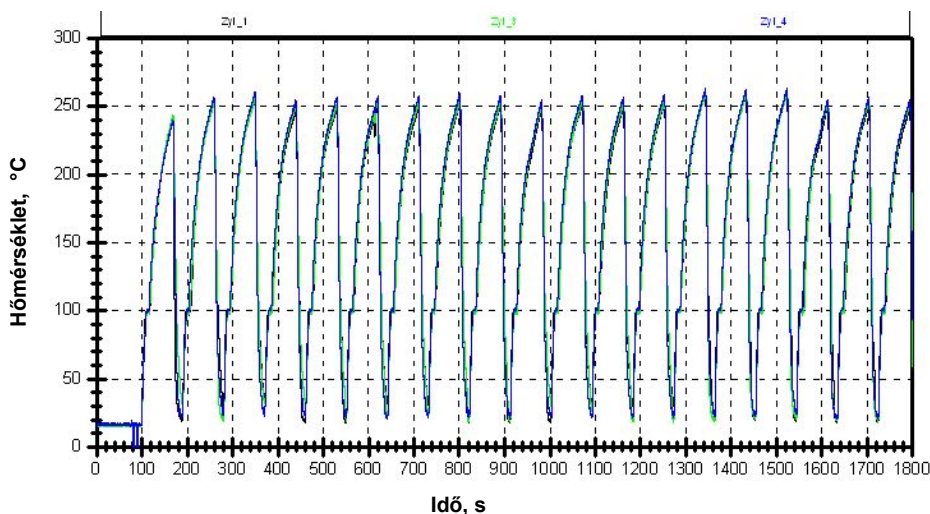
Ezt követően a gázégők helyére hideg vizet szolgáltató csövek kerülnek. A vízhűtés segítségével 30 másodpercen belül az égésterek hőmérsékletét újra szobahőmérsékletűre (kb. 20 – 25°C) hűtjük.

Ezek a ciklusok ismétlődnek egymás után. Az égésterekben kialakuló repedések számát, helyét, mélységét és hosszát 4, 7, 10, 15 és 20 óra elteltével megvizsgáljuk. A kapott eredményekből diagramos kiértékelést készítünk.

Az alábbi két diagramon a tesztciklusok láthatóak, előbb egy ciklus kiemelve (2. ábra), majd a ciklusok sűrű egymásutánja (3. ábra):

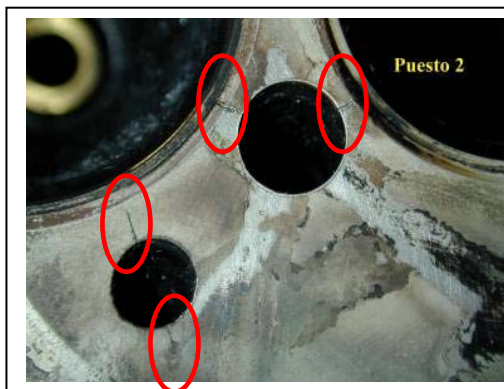
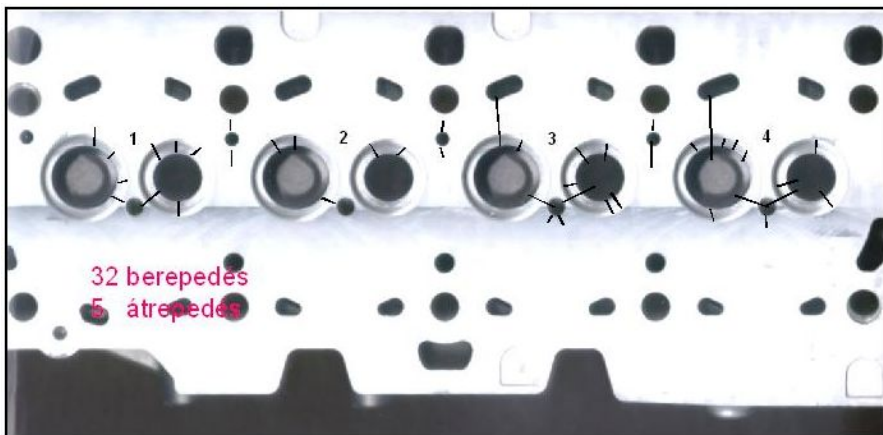


2. ábra A „Thermoshock”- teszt egy ciklusa



3. ábra Tesztciklusok sűrű egymásutánja

A 20 órás hőfárasztásos „Thermoshock-teszt” után a hengerfej égésterében található repedéseket a 4. ábra mutatja:



4. ábra A hengerfej égésterében található repedések

A „Thermoshock-teszt” (hőfárasztás) értékelése

A „Thermoshock-teszt” eredményeként a hengerfejek égéstere az előbbieken látható módon és helyeken megreped. A teszt folytatásaként ezeknek a repedéseknek elemzését végezzük el.

Kétfajta repedéstípust különböztetünk meg:

- *berepedés*
- *teljes átrepedés*

A vevői követelmények tartalmazzák, hogy egy hengerfej égésterében mennyi berepedés és mennyi teljes átrepedés fordulhat elő.

A repedésekre vonatkozó előírások tartalmazzák azt is, hogy milyen hosszú és milyen mély lehet az adott repedés.

A repedés előírások értékeit annak függvényében határozzák meg, hogy milyen terhelést kap majd a hengerfej a motorban (milyen teljesítményű motorba kerül majd beszerelésre) illetve, hogy mennyire veszélyes helyen található a repedés.

A repedés legfontosabb jellemzői:

- *mélysége*
- *a hely, ahol található*

Legveszélyesebbek a teljes átrepedések, pl.: a szelepektől a víztérlábakig, ezek már komoly funkcionális problémákat is okozhatnak a motor működése során.

Teljes átrepedés tekintetében akkor megfelelő a hengerfej, ha a 20 órás hőfárasztásos tesztet két hengerfej esetében elvégezve a teljes átrepedések számának átlaga kisebb 10 db-nál.

A hőfárasztásos „Thermoshock- teszt” leginkább a motorok tesztelésére szolgáló un. cold – warm (hideg – meleg) tesztnek felel meg. A motorok tesztelésére számos más eljárást is alkalmaznak, de a cold – warm tesztnek megfelelő „Thermoshock” teszt a leginkább mérvadó a repedés-érzékenység vizsgálatára.

Új tudományos eredmények

1. A hengerfejek repedés-érzékenysége csökkenése az intermetallikus vastartalmú vegyületfázisok kialakulásával hozható kapcsolatba. A vastartalmú fázisokkal összefüggő megállapításaim:
 - 1.1. A repedések gyakorisága a kritikus érték feletti - azaz 10 db-nál több teljes átrepedés jelentkezik az égéstérben két hengerfej 20 órás hőfárasztás tesztje után átlagértéket tekintve - ha a szekunder AlSi-ötvözet beolvasztásának bármely stádiumában az olvadék Fe tartalma 1% fölé nő. Ebben az esetben az Fe a repedések kialakulása szempontjából kedvezőtlenebb - $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ - formában kristályosodik a szövetszerkezetben, melynek éles sarkai feszültséggyűjtő helyként működnek
 - 1.2. A repedés-érzékenység szempontjából kedvezőtlenebb - $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ - formában kristályosodik a vastartalmú fázis, ha a szekunder ötvözet olvadékának hőmérséklete az olvasztási folyamat során bármely okból tartósan 700°C alá csökken. Ezen hőmérséklet alatt megkezdődik a β -fázisok kiválása, melyek az öntődégekben alkalmazott olvasztási körülmények között csak részlegesen tudnak feloldódni, ezért öröklődnek és megjelennek a hengerfej szövetszerkezetében is.
 - 1.3. A repedés-érzékenység szempontjából kedvezőtlenebb - $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ - formában kristályosodik a vastartalmú fázis, ha nem alkalmaznak vízhűtést a tömbösítés folyamán. Ebben az esetben van elég idő az intermetallikus vegyületfázisok kiválására és növekedésére
2. Megvizsgáltam az intermetallikus vastartalmú vegyületfázisok jelenlétének következményeit, meghatároztam e fázisok hatását a mechanikai tulajdonságokra (R_m , $R_{p0,2}$, A_5) a táplálási viszonyokra, illetve a hengerfej repedésekkel szembeni ellenálló képességére.
 - 2.1. Az intermetallikus vastartalmú fázisok jelenlétében a repedt hengerfejek mindegyikénél a repedés kiindulópontjában $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ intermetallikus vastartalmú fázis van jelen.
 - 2.2. Az intermetallikus vastartalmú vegyületfázisok környezetében szívódási porozitás található. Kialakulásának oka, hogy a dermedés utolsó szakaszában („burst feeding”) a vegyületfázisok elzárják a dendritek közötti tápcsatornákat, megakadályozzák a folyékony fém áramlását a dendritek között.
 - 2.3. Az intermetallikus vastartalmú fázisok jelenléte inhomogén szövetszerkezet kialakulását idézi elő, mely a mechanikai tulajdonságok (R_m , $R_{p0,2}$, A_5) min. 20 %-os csökkenését eredményezi az általam vizsgált ötvözet típusok esetében.

3. A vizsgált ötvözettypusok esetében meghatároztam az intermetallikus vastartalmú vegyületfázisok kialakulásának csökkentési lehetőségeit, azokat a körülményeket, melyek teljesülése esetén a hengerfejek repedésekkel szembeni ellenálló képessége növekszik.
 - 3.1. A hengerfej repedésekkel szembeni ellenálló képessége összefügg az ötvözet Fe – Mn arányával. A szakirodalom szerint ajánlott $0,5-0,7 \times [\text{Fe}\%] = [\text{Mn}\%]$ arány helyett, a vas kedvezőtlen - $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ - formában való kristályosodásának elkerülését elősegítő Fe – Mn arány: $0,65 - 0,75 \times [\text{Fe}\%] = [\text{Mn}\%]$
 - 3.2. A hengerfej repedésekkel szembeni ellenálló képessége összefügg a vastartalmú intermetallikus vegyület fázisok méretével.
Kísérleteim alapján az
 - $\alpha\text{-Al(FeMn)Si}$ vegyületfázis esetén max. 200 μm
 - $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ vegyületfázis esetén max. 100 μm .
 értékek alatti méretek esetén a hengerfej öntvény repedése még nem következik be.
 - 3.3. A hengerfej repedésekkel szembeni ellenálló képessége összefügg az eutektikus szilícium-kristályok alakjával és méretével. A kedvező legömbölyített alakú eutektikus szilícium-kristályok kialakulásához AlSr10Ti1 előötvözzettel előnemesített tömbök alkalmazása szükséges, melynek beolvasztása után, az öntés előtt az olvadék kezelésében már csak minimális korrekciót szabad végezni annak érdekében, hogy a nemesítés tökéletes legyen, a szilícium kristályok ne váljanak repedések kiindulópontjává.
Kísérleteim alapján az ehhez szükséges optimális Sr tartalom értéke az AlSi -ötvözet tömbök esetén 230-300 ppm.
4. A hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képessége az általam vizsgált ötvözettypusok esetében összefügg a T5-ös hőkezelés alkalmazása során elérhető mechanikai tulajdonságokkal.
 - 4.1. Vizsgálataim alapján meghatároztam, hogy a repedések gyakoriságának csökkentéséhez az egyezményes folyáshatár ($R_{p0,2}$) értékének min. 165 MPa-nak, a nyúlás (A5) értékének pedig min. 2%-nak kell lenni. A hőkezelési paraméterek megválasztásánál az elsődleges kritérium a nyúlás min. 2%-os értékének biztosítása.
 - 4.2. A vizsgálataim alapján igazoltam, hogy a min. 165 MPa egyezményes folyáshatár illetve a min. 2%-os nyúlás eléréséhez a szakirodalom által ajánlottnál hosszabb hőkezelési idők alkalmazása javasolt ez a mesterséges öregítésnél min. 210°C-on min. 180 perces hőtartást jelent.

- 4.3. Vizsgálataimmal igazoltam, hogy a fluidágyas (szabályozott) hűtés alkalmazásával a hengerfejöntvények mechanikai tulajdonságai hőkezelés nélkül 10%-kal, hőkezeléssel pedig 20%-kal növelhetőek a megszilárdulást követően a hagyományos módon lehűlő öntvényekéhez képest.
- 4.4. Vizsgálataimmal igazoltam, hogy a hengerfej repedésekkel szembeni ellenálló képessége összefügg a primer fázis szemcsefinomságával, a szekunder dendritág távolsággal. A hengerfej égésterében a min. 165 MPa egyezményes folyáshatár és a min. 2% nyúlás érték elérése a hőkezelést követően csak abban az esetben lehetséges, ha a hengerfej öntvény égésterében a szekunder dendritág távolság értéke max. 19 μm .
- 4.5. Vizsgálataimmal igazoltam, hogy a kokillában max. 80°C égéster hőmérséklet alkalmazható a max. 19 μm -es szekunder dendritág távolság eléréséhez.
- 4.6. Bebizonyítottam, hogy a mechanikai tulajdonságok (R_m , $R_{p0.2}$, A_5) a kokilla égésterének hőmérséklete alapján előre jelezhetőek. Az előrejelzés alapja a szekunder dendritág távolság és a mechanikai tulajdonságok közötti összefüggés, illetve a mechanikai tulajdonságok javításának a lehetősége a fluidágyas hűtés alkalmazásával.
5. A hőfárasztásos („Thermoshock”) teszt segítségével meghatároztam a különböző ötvözőelemek hatását a hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességére.
 - 5.1. Megállapítottam, hogy a Cu tartalom növekedése egyértelműen növeli a repedési hajlamot. Mind a teljes átrepedések mind a berepedések száma 25-30%-kal növekszik az általam vizsgált ötvözet típusok esetében 1% Cu tartalom növekedés hatására.
 - 5.2. A DIN 233 szabvány által meghatározott intervallumban az Si-tartalom növelése kedvező hatást gyakorol a hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességre. 10% körüli Si-tartalom esetén a teljes átrepedések száma 0, a berepedések száma pedig feleannyi, mint a többi vizsgált kisebb Si- tartalmú ötvözetkombináció esetében
 - 5.3. A DIN226.10-es ötvözet primer és szekunder minőségű változatának hőfárasztás vizsgálati eredményei alapján megállapítható, hogy a szabvány által meghatározott intervallumban az Fe-tartalom növekedésének a hatására a berepedések száma közel 50%-kal a teljes átrepedések száma pedig 20%-kal növekszik. Nagyobb Fe-tartalom esetén a repedések kiindulópontjában a vas a kedvezőtlen - $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ - formában van jelen.

6. A hófárasztásos („Thermoshock”) teszt segítségével meghatároztam a hőkezelések és az öntést követő szabályozott (fluidágyas) hűtés hatását a hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességére.
 - 6.1. Az általam vizsgált ötvözet típusok esetében a fluidágyas hűtési eljárás alkalmazása esetén mind a berepedések, mind a teljes átrepedések száma 25%-kal csökkenthető a normál hűtési eljárásnál kialakuló viszonyokhoz képest.
 - 6.2. A megfelelő hőkezelés és a fluidágyas hűtési eljárás kombinációja elősegíti a repedésekkel szembeni ellenálló képesség növekedését, mindkét repedés-típus 25-40%-kal csökkenthető, attól függően, hogy milyen hőkezeléssel kombináljuk.
 - 6.3. A vizsgálati eredmények szerint a DIN226.10-es primer ötvözet esetén a fluidágyas hűtési eljárás és a 210°C-on történő 150 perces hőkezelés hatására a teljes átrepedések száma 15%-kal, a berepedések száma pedig 10%-kal csökkenthető a fluidágyas eljárás alkalmazása nélküli hűtéshez képest.
 - 6.4. A vizsgálati eredmények szerint a DIN226.10-es primer ötvözet esetén a 240°C-on, 180 perces hőkezelés és a fluidágyas hűtési eljárás alkalmazásának hatására a teljes átrepedések száma 45-50%-kal a berepedések száma pedig 15%-kal csökkenthető a normál hűtési eljáráshoz képest.
 - 6.5. A DIN226.10-es primer ötvözet és a fluidágyas hűtési eljárás alkalmazásának esetében a hőkezelés idejének és hőmérsékletének növelése a teljes átrepedések számát 15%-kal csökkenti.
 - 6.6. Megállapítottam, hogy a repedések gyakorisága szempontjából kedvező, azaz 10 db-nál kevesebb teljes átrepedést tartalmazó hengerfej öntvény gyártásának feltétele a DIN226.10-es primer ötvözet esetén a fluidágyas (szabályozott) hűtési eljárás alkalmazása az öntést követően, illetve az öntvények T5 típusú hőkezelése 240°C-on 240 perc hőkezelési paraméterekkel.

4. Az értekezés tudományos eredményeinek jelentősége és hasznosításuk lehetőségei

A tézisekben megfogalmazott tudományos eredmények új ismeretekkel bővítik az alumínium öntészet tudományterületét. Az elért új eredmények jól hasznosíthatók az oktatásban, kutatásban, és a gyártmányfejlesztésben egyaránt.

Az első két tézisben illetve alpontjaikban megfogalmaztam az intermetallikus vastartalmú vegyületfázisok keletkezésének okait és hatásukat a hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességére. A harmadik tézis alpontjaiban összefoglaltam azokat a körülményeket, amelyek teljesülése esetén az intermetallikus vastartalmú fázisok a kedvezőbb - α -Al(FeMn)Si - formában kristályosodnak és a mennyiségük, illetve a kialakulásuk veszélye csökkenthető.

A negyedik tézis alpontjaiban összefoglaltam a hőkezelési paraméterek szerepét a hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességére. Meghatároztam azokat a konkrét kokilla égéster hőmérséklet, szekunder dendritág távolság, mechanikai tulajdonság, illetve hőkezelési paraméter értékeket, amelyek a korábbiakban említett téziseknek megfelelően kiválasztott ötvözet esetén biztosítják a repedéssel szembeni ellenálló képesség növekedését, ami konkrétan 10 db-nál kevesebb teljes átrepedést jelent két hengerfej 20 órás hőfárasztás vizsgálatát követően átlagértéket tekintve a hengerfej öntvény égésterében.

A negyedik tézis harmadik alpontjában található a szabályozott (fluidágyas) hűtési eljárás pozitív hatásának bemutatása az öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességének növelésére. A disszertáció egyik legnagyobb eredményének tekinthető ennek az eljárásnak a kialakítása, melyet eddig még nem alkalmaztak az alumínium öntészetben az öntvények mechanikai tulajdonságainak, illetve repedésekkel szembeni ellenálló képességének növelésére.

A negyedik tézis hatodik alpontja tartalmazza a doktori cselekmény másik igen fontos célkitűzését, miszerint egy egyszerű és olcsó eljárással előre jelezhetőek legyenek a várható mechanikai tulajdonságok, valamint a repedésekkel szembeni ellenálló képesség.

Az ötödik és hatodik tézis alpontjaiban összefoglaltam, illetve meghatároztam a hőfárasztásos („Thermoshock”) tesztek eredményei alapján az egyes ötvözőelemek hatását a repedésekkel szembeni ellenálló képességre. A minősítés a repedések gyakoriságának meghatározása alapján történt, vagyis hány db teljes átrepedés jelentkezik a hengerfej öntvény égésterében a 20 órás hőfárasztás teszt után, és ez milyen veszélyt jelent a jó öntvényekkel szemben támasztott 10 db teljes átrepedéshez képest két öntvény vizsgálata után átlagértéket tekintve.

Az ötödik és hatodik tézisekben meghatároztam a hőfárasztásos („Thermoshock”) teszt segítségével a hőkezelések és az öntést követő szabályozott (fluidágyas) hűtés hatását a hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességére.

Az értekezésben szereplő valamennyi tézis, az öntő szakirányos kohómérnök képzés előadási, illetve gyakorlati anyagának gazdagításában közvetlenül hasznosítható.

Az értekezésben foglalt eredmények eddig 4 diplomaterv elkészítésénél hasznosultak. A témakörben elért tudományos eredmények szakmai jelentőségét 2006. május 24-én a Magyar Öntészeti Szövetség „MÖSZ Díj” elismeréssel jutalmazta. Az értekezésben szereplő szabályozott (fluidágyas) hűtési eljárás alkalmazása a dolgozat eredményeinek alapján a jövőben bármely új nagyteljesítményű motorba kerülő hengerfejöntvény gyártástechnológiájának kialakításakor, mint reális lehetőség számba vehető az öntvények repedésekkel szembeni ellenálló képességének növelésére.

5. Összefoglalás

Doktori kutatómunkám elsődleges célkitűzése a hengerfej öntvényeknél a repedések okainak vizsgálata és feltárása volt. A kutatás célja volt egy olyan összefüggésrendszer felállítása volt, melynek segítségével egyszerűen és olcsón, már a gyártási folyamat input-jai alapján következtetni lehet a hengerfej öntvény repedésekkel szembeni ellenállóképességére. A kutatás háttérét két új hengerfejtípus képezte, mely hengerfejek esetében egyrészt a mechanikai tulajdonságok nem feleltek meg a vevői követelményeknek, másrészt a hengerfejek égésterében nagyszámú repedés jelentkezett.

Doktori munkámat a Hydro Alumínium Győr Kft-nél végeztem. A gyártási paraméterek repedésérzékenységre gyakorolt hatásának vizsgálatához felhasználtam a bonni kutató-fejlesztő központban található „Thermoshock” (hőfárasztásos) teszt berendezést is.

A disszertáció felépítésében követtem a hengerfej öntvények gyártástechnológiájának lépéseit, azaz a teljes gyártási folyamatot és minden részfolyamatot megvizsgáltam.

Munkám során először a metallurgiai körülmények vizsgálatát végeztem el. Elsőként napjaink szakirodalmának intermetallikus vastartalmú fázisokhoz kapcsolódó részét tanulmányoztam át és foglaltam össze. A hengerfejek repedésének helyéről kivett csiszolatok elemzése ugyanis azt mutatta, hogy minden repedés kiindulópontjában jelen volt intermetallikus vastartalmú fázis.

Megvizsgáltam a vastartalmú intermetallikus fázisok kialakulásának mechanizmusát és elemeztem a kedvezőtlen formájú fázisok megelőzésének lehetőségét. Az öntvényeken kívül az alumínium ötvözet tömböket is megvizsgáltam, bizonyítottam az intermetallikus fázisok öröklődésének tényét.

Meghatároztam azokat a peremfeltételeket, melyek teljesülése esetén jó esély van szekunder ötvözetek (Fe: 0,5-0,8%) esetében is az intermetallikus vastartalmú fázisok káros hatásának a csökkentésére, illetve a repedések szempontjából sokkal veszélyesebb formában (β -Al₅FeSi) kristályosodó fázisok elkerülésére.

A metallurgiai összefüggések megfogalmazása után elvégeztem a gyártás következő lényeges lépcsőjének tekinthető hőkezelések vizsgálatát. Az optimális metallurgiai paraméterek, illetve a hőkezelések kombinálásával meghatároztam a repedésveszély szempontjából legkedvezőbb ötvözet, illetve legkedvezőbb hőkezelési paraméter kombinációt.

A kutatómunkám fontos célkitűzése volt, hogy összefüggést találjak a szekunder dendritág távolság, a mechanikai tulajdonságok és a hengerfej öntvények repedésekkel szembeni ellenállása között.

Konkrét határértékeket határoztam meg az egyezményes folyáshatár ($Rp_{0,2}$) illetve a nyúlás (A5) értékekre melyek elérése esetén a hengerfejöntvény teljes átrepedéseinek száma 10 db alá csökkenthető.

Doktori kutatómunkám egyik legértékesebb részének tekinthető a fluidágyas (szabályozott) hűtési eljárás kifejlesztése a hengerfej öntvények mechanikai tulajdonságainak, illetve a repedésekkel szembeni ellenállóképességének a növelésére.

Kutatómunkám célja volt egy olyan összefüggésrendszer felállítása, melynek segítségével előre jelezhetőek az öntvény mechanikai tulajdonságai, illetve a repedésekkel szembeni ellenállóképessége. Ennek alapját a szekunder dendritág távolság mérése, a kokilla hőmérsékletének mérése, illetve a kokilla hűtésének intenzifikálása volt.

30 hét kokilla hőmérséklet mérési eredményei alapján megoldottam a kokillák hűtésének növelését és szabályozhatóvá tételét. Így lehetőség nyílt a hűtés, a szekunder dendritág távolság és a mechanikai tulajdonságok ezen keresztül pedig a repedésekkel szembeni ellenállóképesség előrejelzésére.

Az előrejelzés alapját az képezte, hogy ha biztosítani tudjuk a megfelelő dermedési sebességet a kokilla hőmérsékletének szabályozásával, akkor ez alapján előre meghatározhatjuk a DAS (szekunder dendritág távolság) értékét, melyből következtetni lehet a mechanikai tulajdonságokra. Ha a hengerfejeket a kokillából való kivételt követően fluidágyba helyezzük, és gyors hűlést biztosítunk, akkor nagy pontossággal előre lehet jelezni a várható mechanikai tulajdonságokat a hőkezelést követően. A mechanikai tulajdonságokból pedig előre jelezhető a várható repedések száma.

A bemutatott összefüggésrendszer segítségével tehát a kokilla hőmérséklet mérése alapján, továbbá a mikrociszolat elemzése alapján előre meghatározható a repedések kialakulása.

Az összefüggésrendszer alkalmazása során fontos körülmény hogy csak egy metallurgiai szempontból megfelelő hengerfej öntvény esetében érvényesek ezek az összefüggések. Ezért is van jelentősége a metallurgiai körülményekkel kapcsolatban elért eredményeknek.

A kutatómunkám célját, a repedésérzékenység előrejelzését és a csökkentésére vonatkozó összefüggésrendszer felállítását az elmúlt két év üzemi tapasztalataira is építve úgy érzem sikerült teljesíteni.

Summary

The major aim of my thesis was to study and explore the causes of cracks of cylinder head casts. My aim was to set up a system of interrelations, with the help of which resistance of the cylinder head against cracks may be specified in a simple and cheap way on the basis of inputs of the production process. The theme was based on two new cylinder head types, in case of which the mechanical properties did not meet the buyer's requirements on the one part, and a large number of cracks deeper than the permissible value appeared in the combustion chamber on the other part.

My thesis was made at Hydro Aluminium Győr Kft. Thermoshock tester available in the research & development centre of Bonn has been also used by me for the study of the effects of my experiments on the cracking sensitivity.

The structure of the dissertation is practically identical to the steps of the production technology of cylinder head casts, that is I tried to cover the whole production process, and to compose my innovative thesis on the basis of the analysis of processes in each step.

During my work I studied the metallurgical circumstances. First I studied and summarised literature relating to intermetallic iron-containing phases, as analysis of grindings taken from the place of cracks of cylinder heads showed that an intermetallic iron-containing phase was at the starting point of each crack.

Therefore first I studied on what effect mechanism these phases are based, and what chance we have to prevent these processes or at least to reduce their negative effects. During my studies I also covered aluminium cast blocks in addition to casts, and proved the fact of heritage of intermetallic phases.

I specified edge conditions, on the basis of which there is a good chance even in case of secondary casts (Fe: 0.5-0.8%) to reduce the detrimental effect of intermetallic iron-containing phases, and to avoid their crystallisation (β -Al₁₅FeSi) which is a much more dangerous form from the aspect of cracks.

After specifying the metallurgical interrelations I studied heat treatments which are considered the next essential step in production. By combining the optimal metallurgical parameters and heat treatments I specified a combination of the most favourable cast and most favourable heat treatment parameter from crack danger aspects. I gave my innovative statements in the form of theses.

A major aim of the dissertation was to find an interrelation between secondary dendrite branch distance, mechanical properties and resistance of cylinder head casts against cracks.

I specified actual numerical values for the conventional flow limit ($R_{p0,2}$) and elongation (A5), and compliance with them may reduce the number of all cracks in a cylinder head cast under 10.

One of the most valuable part of my thesis is the development of fluid-bed (controlled) cooling procedure for the improvement of the mechanical properties of cylinder head casts and of their resistance against cracks.

My aim was to set up a system of interrelations, by means of which mechanical properties of casts and its resistance against cracks may be predicted This was based on the measurement of the secondary dendrite branch distance, measurement of the die's temperature, and intensification of the cooling of the die.

The increase and controllability of cooling of dies was achieved on the basis of measurements results of 30 weeks. Thus it became possible to predict the cooling, the secondary dendrite branch distance and the mechanical properties, and consequently their resistance against cracks.

The prognosis is based on the following system of interrelations: In case we can ensure an adequate solidification speed in the die, we can preliminarily specify the DAS value (secondary dendrite branch distance) via temperature measurement. Mechanical properties may be concluded from DAS value. If we know the mechanical properties, and the cylinder heads are placed in a fluid bed after removal from the die, and fast solidification is ensured, then we can predict the expected mechanical properties with a great accuracy after heat treatment. The number of cracks may be clearly predicted on the basis of the mechanical properties.

So by means of this system of correlations the number and types of cracks may be preliminarily specified on the basis of a temperature measurement and of the analysis of maximum one single microgrinding.

However, during setting up of this system of interrelations we must note that these interrelations are valid only for cylinder head casts adequate from metallurgical aspects. This is why my thesis made in connection with metallurgical circumstances is required.

So the aim of my dissertation was to set up a system of interrelations to predict and reduce cracking sensitivity, which I feel was successful on the basis of the results of the thesis and of experiences in operation of two years.

6. Az értekezés témakörében megjelent publikációk

Publikációk:

1. *Fegyverneki György*: Vastartalmú intermetallikus fázisok hatása az AISi ötvözetből öntött hengerfej öntvények repedés-érzékenységre
A Miskolci Egyetem Közleményei, Anyag és Kohómérnöki Tudományok II. sorozat 32. kötet (1.füzet) 59-69. old.
Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2004.12.20.
2. *Fegyverneki György*: Metallurgia és repedés-érzékenység összefüggései hengerfej öntvények esetében
X. FMTÜ 2005. Kolozsvár Kiadvány, 117-121. old.
Erdélyi Múzeum Egyesület Kiadványa, Románia, Kolozsvár, 2005.03.18.
3. *Fegyverneki György*: Az intermetallikus fázisok és a repedés-érzékenység kapcsolata hengerfejek gyártásában
BKL. Kohászat, 2005. 5. szám, 19-23. old.
Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, Budapest
4. *Fegyverneki György*: Effect of the Segregation of different Fe-phases on the susceptibility to cracks of Al cylinder heads
Materials Science Forum, Solidification and Gravity IV, Vol.508 (February 2006) pp. 537-542
Trans Tech Publications Ltd, Zürich, Svájc
5. *Fegyverneki György*: Mechanikai tulajdonságok előrejelzési lehetőségei az Al-hengerfej öntészetben, a hőkezelés szerepe
XI. FMTÜ 2006. Kolozsvár, Kiadvány 107-111. old.
Erdélyi Múzeum Egyesület kiadványa, Románia, Kolozsvár, 2006.03.24.
6. *Fegyverneki György*: Nyúlás és repedés-érzékenység kapcsolata Al-hengerfej öntvények esetében
VIII. Bányászati – Kohászati – Földtani Konferencia 2006. Sepsiszentgyörgy, Kiadvány 130-135. old.
Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, Románia, Kolozsvár
2006.04.08.

Szöbeli előadások:

1. *Fegyverneki György*: Al hengerfej öntvények mechanikai tulajdonságainak és repedés-érzékenységének javítása; az olvadék minőségének szerepe
17. Magyar Öntőnapok, Miskolc-Lillafüred
2003.10.05-07.
2. *Fegyverneki György*: Metallurgiai paraméterek hatása az Al hengerfej öntvények repedés-érzékenységére
Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem
2003.11.06.
3. *Fegyverneki György*: Az alapanyag tulajdonságainak hatása az Al hengerfej öntvények repedés-érzékenységére
VI. Bányászati – Kohászati – Földtani Konferencia, Petroszény
2004.05.20-23.
4. **Fegyverneki György**, *Zsindely Tibor*: Rejtett öntvényhibák kimutatása computer tomográffal
VI. Bányászati – Kohászati – Földtani Konferencia, Petroszény
2004.05.20-23.
5. *Fegyverneki György*: Ötvözőelemek változásának hatása az AlSi ötvözetekből öntött hengerfej öntvények repedés-érzékenységére
X. FMTŰ Kolozsvár
2005.03.18.
6. *Fegyverneki György*: Metallurgia és repedés-érzékenység összefüggései hengerfej öntvények esetén
X. FMTŰ Kolozsvár
2005.03.18.
7. *Fegyverneki György*: A repedés-érzékenység csökkentésének lehetőségei Al hengerfej öntvények esetében
VII. Bányászati – Kohászati – Földtani Konferencia, Nagyvárad
2005.04.02.
8. *Fegyverneki György*: Mechanikai tulajdonságok és repedés-érzékenység kapcsolata az alumínium öntészetben
18. Magyar Öntőnapok, Balatonfüred, 2005.10.09-11.

9. Fegyverneki György: The effect of intermetallic phases at casting of cylinder heads
42th. Foundry Days, Brno
2005.09.20-21.
10. Fegyverneki György: Repedés-érzékenység okai, csökkentésének lehetőségei Al hengerfej öntvények esetében
Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem
2005.11.09.
11. Fegyverneki György: Effect of the mechanical properties for the function of Al-cylinder heads
microCAD 2006 International Scientific Conference
2006.03.16-17.
12. Fegyverneki György: Mechanikai tulajdonságok előrejelzési lehetőségei az Al-hengerfej öntészetben, a hőkezelés szerepe
XI. FMTÜ, Kolozsvár
2006.03.24-25.
13. Fegyverneki György: Nyúlás és repedés-érzékenység kapcsolata az Al-hengerfej öntvények esetében
VIII. Bányászati – Kohászati – Földtani Konferencia, Sepsiszentgyörgy
2006.04.06-09.

Poszter előadások:

1. Fegyverneki György: Effect of the segregation of different Fe-phases to the susceptibility to cracks of Al cylinder heads
International Conference on Solidification and Gravity, Miskolc – Lillafüred, 2004.09.06-09.
2. Fegyverneki György: Repedés-érzékenység csökkentésének lehetőségei Al-hengerfej öntvények esetében
Doktoranduszok Fóruma, Miskolci Egyetem
2004.11.09.

