



# Stroncium tartalom csökkentés hatása Al ötvözetek mechanikai tulajdonságára

## **Készítette:**

Kovács Zoltán  
Anyagmérnök  
3. évfolyam

## **Konzulens:**

Dr. Dúl Jenő  
Egyetemi docens, tanszékvezető  
Leskó Zsolt  
PhD hallgató  
Czeplédi Miklós  
fejlesztő mérnök

## Tartalom

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Bevezetés .....</b>                                                 | <b>3</b>  |
| 1.1 Célkitűzés .....                                                      | 3         |
| <b>2. Stroncium hatása az eutektikus szövetképre .....</b>                | <b>4</b>  |
| 2.1 Stroncium adagolás hatása .....                                       | 4         |
| 2.2 Stroncium hatása a szilícium szemcseméretére .....                    | 5         |
| <b>3. Vizsgált hengerfej típusok .....</b>                                | <b>7</b>  |
| <b>4. A Sr-tartalom változása a vizsgálatot megelőző 3 hónapban .....</b> | <b>8</b>  |
| 4.1 319-es ötvözet .....                                                  | 8         |
| 4.2 233-as ötvözet .....                                                  | 9         |
| <b>5. Stroncium tartalom csökkentése .....</b>                            | <b>10</b> |
| <b>6. Hengerfej hűlési viszonyai a hűtősoron .....</b>                    | <b>11</b> |
| <b>7. Hőkezelés .....</b>                                                 | <b>12</b> |
| 7.1 T5/T6 hőkezelés .....                                                 | 13        |
| <b>8. Nemfémes zárványok az Al-olvadékban .....</b>                       | <b>17</b> |
| <b>9. Saját kísérletek .....</b>                                          | <b>19</b> |
| 9.1 A vizsgált hengerfejek .....                                          | 20        |
| 9.1.1 „A” hengerfej mechanikai mérési helyei .....                        | 20        |
| 9.1.2 „B” hengerfej mechanikai mérési helyei .....                        | 21        |
| 9.2 „A” hengerfej mechanikai tulajdonságai .....                          | 22        |
| 9.2.1 „A” hengerfej keménységmérés eredményei .....                       | 22        |
| 9.2.2 „A” hengerfej szakítóvizsgálat eredményei .....                     | 24        |
| 9.2.3 „A” hengerfej dendritág távolság, porozitás mérés eredményei .....  | 26        |
| 9.3 „B” hengerfej mechanikai tulajdonságai .....                          | 27        |
| 9.3.1 „B” hengerfej keménységmérés eredményei .....                       | 27        |
| 9.3.2 „B” hengerfej szakítóvizsgálat eredményei .....                     | 28        |
| 9.3.3 „B” hengerfej dendritág távolság, porozitás mérés eredményei .....  | 31        |
| <b>10. Összefoglalás .....</b>                                            | <b>32</b> |
| <b>Köszönetnyilvánítás .....</b>                                          | <b>32</b> |
| <b>Irodalomjegyzék: .....</b>                                             | <b>33</b> |

## 1. Bevezetés

Napjainkban az autóiipari beszállítóknak egyre precízebb követelményeknek kell megfelelniük, melyeket csak folyamatos fejlesztésekkel és alkalmazott technológiájuk tökéletesítésével, különböző kísérletek elvégzésével tudnak megvalósítani.

A jövő elvárásainak megfelelően az új irány az autóiipari öntvénygyártásban is, hogy minél kisebb méretű, egyre több funkciót ellátó alkatrészek, öntvények készüljenek; azonban ezek az elvárások egyre bonyolultabb geometriákat eredményeznek. Mindezek mellett fontos szempontok a költséghatékonyság, valamint a megfelelő mechanikai tulajdonságok biztosítási is.

Vizsgálataimat a NemaK Győr Kft-nél végeztem. A NemaK világméretű, vezető vállalkozás benzin- és dízelmotoros járművek csúcstechnológiájú alumínium hengerfejeinek gyártásában és fejlesztésében. Győrben benzin- és dízelmotoros alumínium hengerfejek gyártásával foglalkoznak.

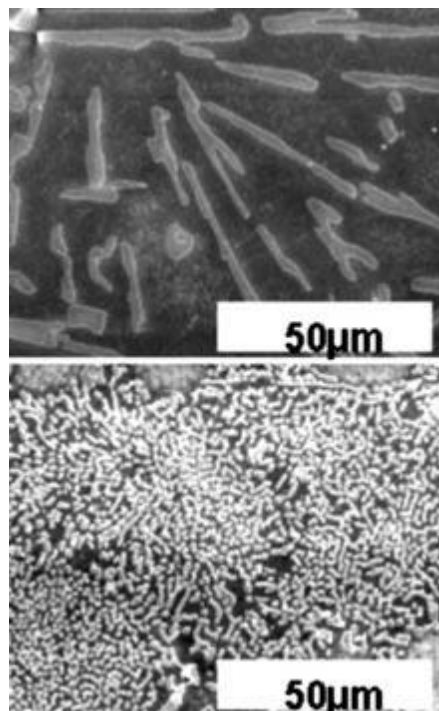
### 1.1 Célkitűzés

Dolgozatom témája a Sr-tartalom csökkentésének lehetőségei, valamint hatása a gravitációs kokillaöntéssel gyártott alumínium hengerfejek mechanikai tulajdonságaira. Konkrét célom volt az alkalmazott ötvözetek Sr-tartalmának csökkentése úgy, hogy az öntvények mechanikai tulajdonságai lehetőleg ne változzanak, vagy az előírásoknak megfelelő intervallumban maradjanak. A vizsgálatokat DIN 233 és 319-es Al-ötvözetekből készült hengerfejek esetén végeztem el.

## 2. Stroncium hatása az eutektikus szövetre

### 2.1 Stroncium adagolás hatása

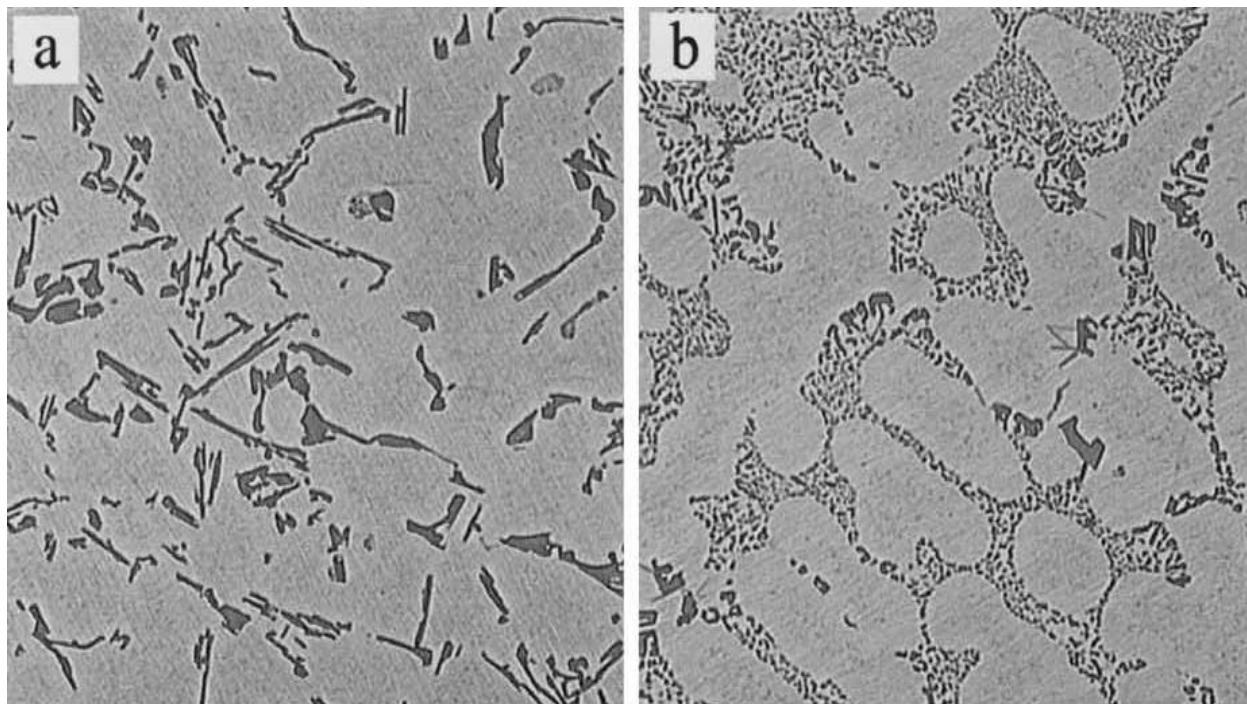
Az öntészeti ötvözeteknek fontos csoportját alkotják az alumínium-szilícium ötvözetek. Az Al-Si ötvözeteknek a hétköznapi felhasználhatósága sokszor az eutektikus Si módosításának sikerességétől függ. A módosítás az egyik legelterjedtebb eljárás, amelyet az Al-Si ötvözeteken végrehajtanak. Ennek során a hozzáadott anyagok: Na, Sb, Sr hatására a Si morfológiája gömbszerűre változik és a mechanikai tulajdonságok javulnak (1.ábra) [1].



**1. ábra. SEM felvételek: a) nem módosított, b) módosított szövetszerkezet [2]**

Alumínium-szilícium ötvözetek esetében az eutektikus szilícium-fázis finomítására (nemesítésre) stronciumot használnak. Manapság hipoeutektikus AlSi ötvözetek nemesítésére kizárólag csak az Sr-t használják azért, mert a nátriummal történő nemesítéshez képest a lecsengés jelensége csak 4 – 6 óra múlva jelentkezik [3]. A stroncium a szilícium kristályok finom szemcsés kiválását segíti elő és ez által javítja a mechanikai tulajdonságot. A stroncium-tartalom meghatározásánál szükséges figyelembe venni, hogy a magas stroncium tartalom (350-400 ppm ) fokozza a hidrogén oldódási hajlamot és elősegíti a mikrolunkerek képződését is. Ezért az iparban kisebb stroncium tartalmat használnak (150-250 ppm).[4]

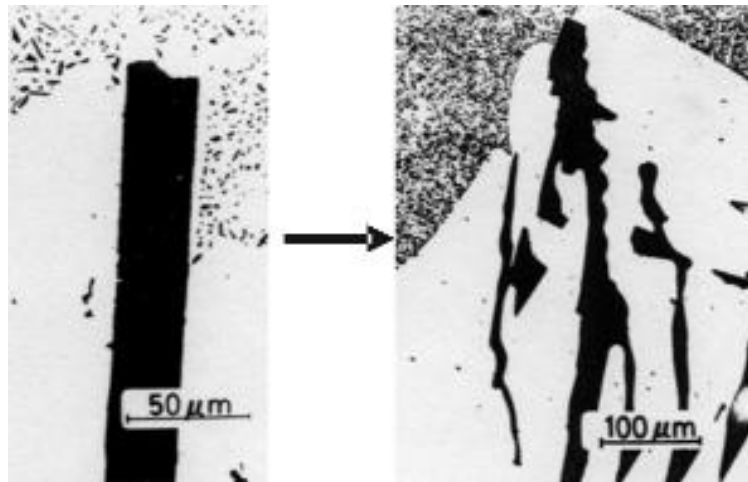
Az 2. ábrán látható hogy, az alumínium olvadékban feloldódó Sr meggátolja a Si csíráképződését, ennek hatására az ötvözet jelentősen túlhűl, majd rendkívül finom szilíciumkristályokat tartalmazó homogén eutektikumot hoz létre.



**2. Ábra** Az eutektikus szilícium-fázis morfológiája  
a) nem módosított, b) stronciummal kezelt [5]

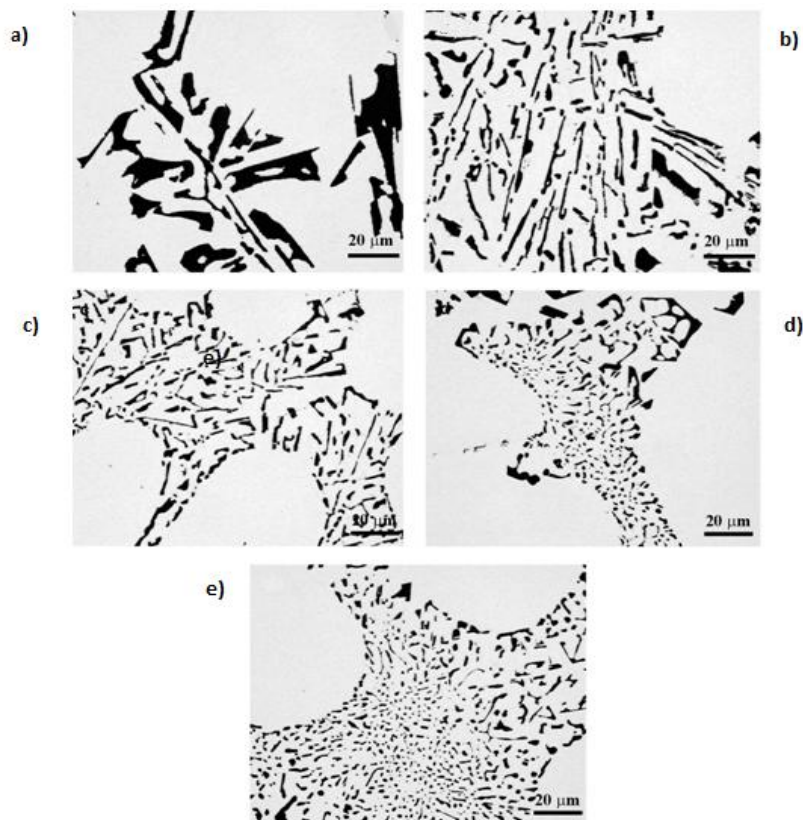
## 2.2 Stroncium hatása a szilícium szemcseméretére

Major és társai irányítottan kristályosítottak mintákat stronciummal és nélküle az „A” régióban. 0,03% stronciumot kellett felhasználniuk ahhoz, hogy az 3. ábrán látható szilícium „finomodást” elérjék.



**3. ábra.** Nem módosított és módosított „A” régióba tartozó szilícium [7]

A 4. ábrán látható, hogy a Sr-tartalom növelésének hatására hogyan változik az eutektikus szilícium szemcsék alakja és mérete.



**4. Ábra** Stroncium hatása a szövetképre

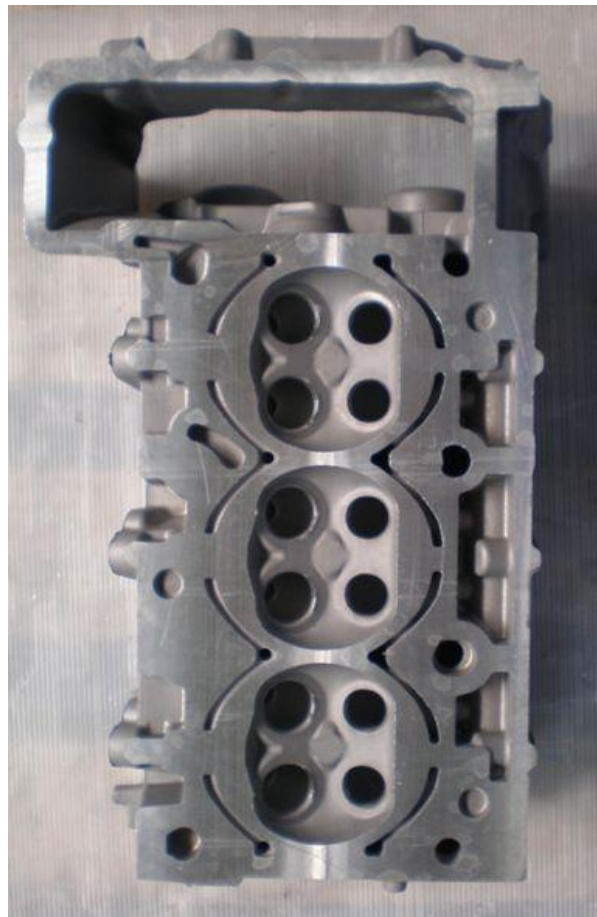
a) nem módosított (Sr < 8 ppm), b) lemezes szerkezetű (Sr = 38 ppm), c) részben módosított (Sr = 56 ppm), d) módosított (Sr = 72 ppm), e) nagyon finom eutektikum (Sr = 96 ppm) [5]

### 3. Vizsgált hengerfej típusok

A vizsgálataim során 2 típusú ötvözzel kísérleteztünk a 319-es és a 233-as ötvözzel. 319-es ötvözet esetén az „A”, míg a 233-as ötvözet esetén az „B” típusú hengerfej gyártásához használt olvadék összetételét változtattam. (5. ábra)



„A” hengerfej



„B” hengerfej

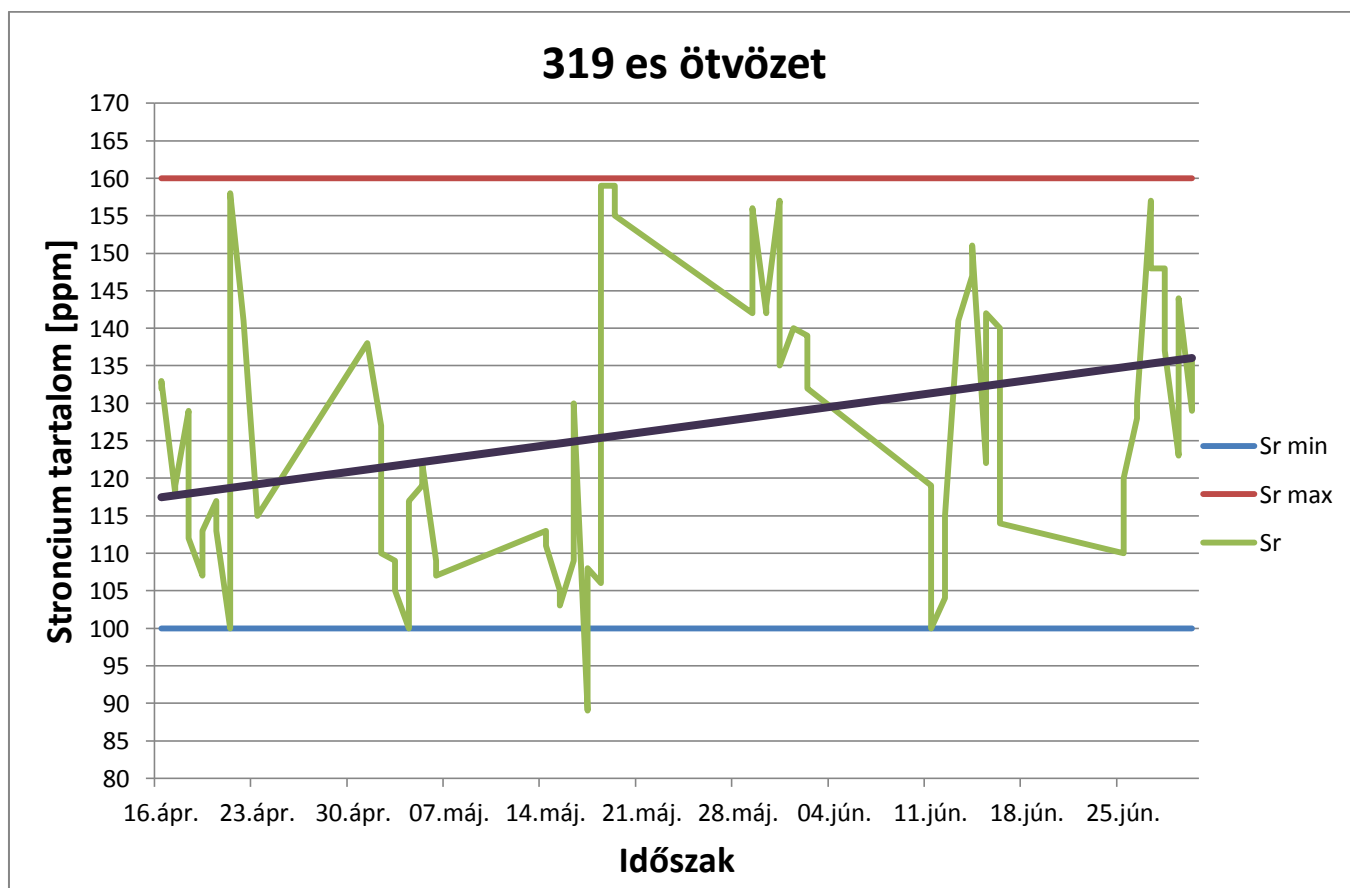
5. ábra

#### 4. A Sr-tartalom változása a vizsgálatot megelőző 3 hónapban

A vizsgálat első lépése a megfelelő összetételű olvadék összeállítása volt. A 319-es ötvözet esetén az üzemi stroncium tartalom átlagosan ~130 ppm, ezt az értéket ~90 ppm-re csökkentettem. A 233-as ötvözet esetén az üzemi stroncium tartalom átlagosan ~280 ppm, ezt ~110 ppm-re csökkentettem.

##### 4.1 319-es ötvözet

A 319-es ötvözet spektrométeres elemzés szerinti stroncium-tartalmának változását a 6. ábrán mutatom be.

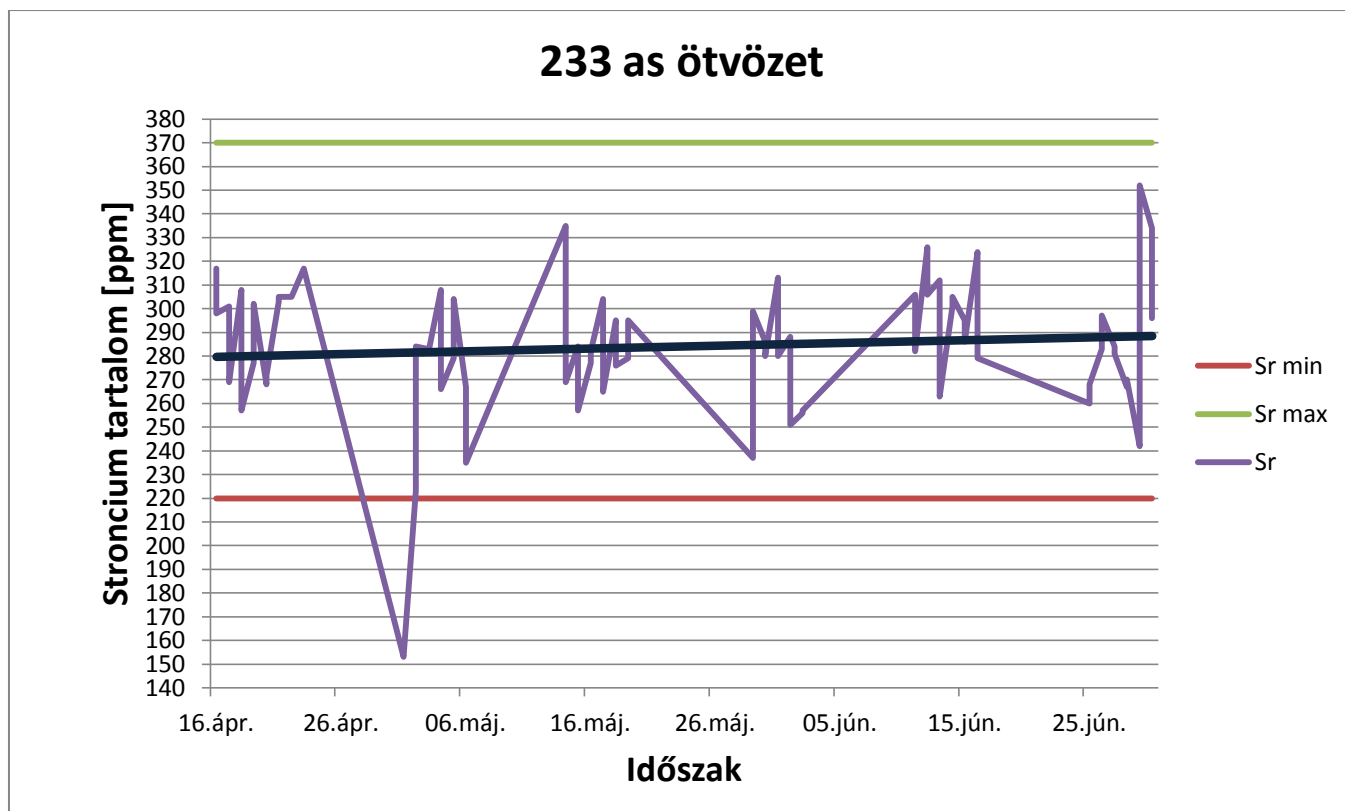


6. ábra Stroncium változás a 319-es ötvözet esetén

A 6. ábrán jól megfigyelhető az üzemi stroncium tartalom alakulása, ami átlagosan 127 ppm volt.

## 4.2 233-as ötvözet

A 233-as ötvözet spektrométeres elemzés szerinti stroncium-tartalmának változását a 7. ábrán mutatom be.



7. ábra 233-as ötvözet

Az 7. ábrán megfigyelhető az üzemi stroncium alakulása, ami átlagosan 284 ppm volt.

|                 | „A” 319 | „B” 233 |
|-----------------|---------|---------|
| Átlag Sr [ppm]  | 127     | 284     |
| Szórás Sr [ppm] | 18      | 29      |

1.Táblázat 319-es és 233-as ötvözet átlag értéke és szórása

## 5. Stroncium tartalom csökkentése

A kísérleti stroncium tartalmat az olvadékba bevitt Foseco MTS 1524 tisztító só bevitelével változtattam a megfelelő stroncium tartalomra. A Foseco MTS 1524 tisztító só reakcióba lép az olvadékban lévő stronciummal és vegyület fázist alkotva salak formájában eltávozik az olvadék felszínére. A 8. ábrán látható a gáztalanító berendezés és az alumínium olvadék tetején lévő salak.



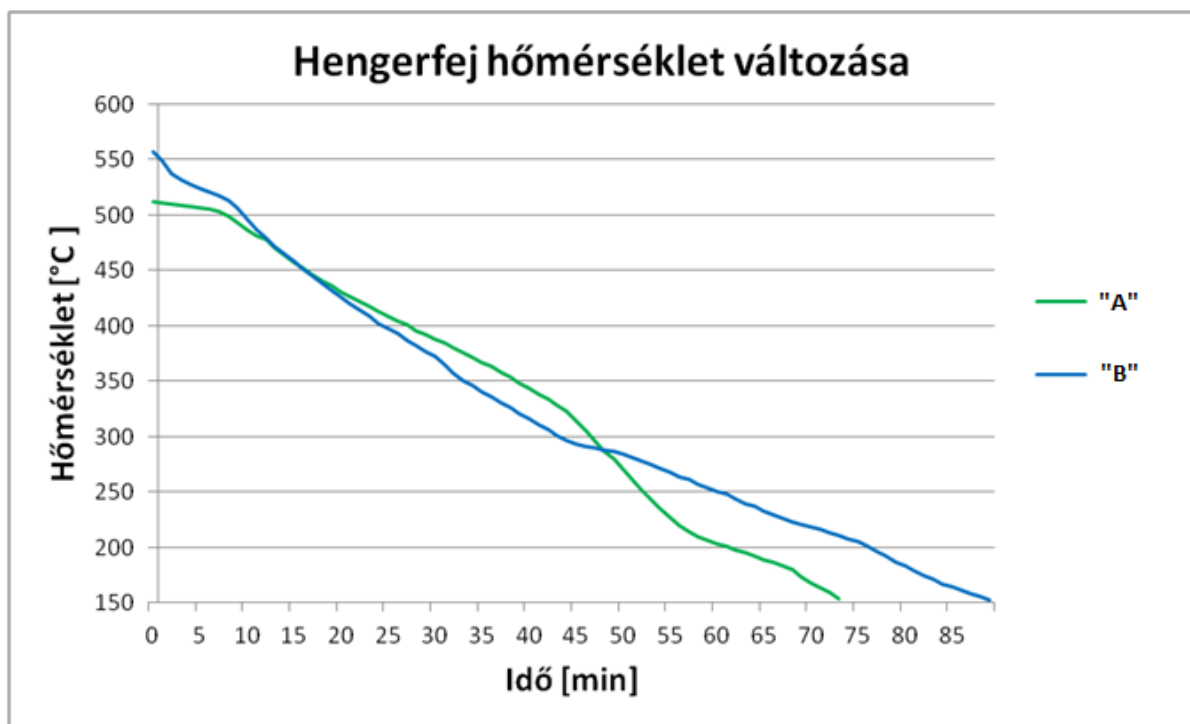
**8.ábra** Gáztalanító berendezés

## 6. Hengerfej hűlési viszonyai a hűtősoron

Az öntés során termoelement helyeztünk el a takaró magon és ezzel meg tudtuk figyelni a hűtő soron lévő darab lehűlését. A 10. ábrán bemutatom a hőmérséklet viszonyokat az „A” és a „B” hűtő soron.



9.ábra A méréshez használt termométer



10.ábra Hengerfej hőmérséklet változása

A vizsgálatot csak 150 °C értékig végeztük, mert alatta nem következik be változás a szövetszerkezetben. Az „A” hengerfej 74 perc alatt, az „B” hengerfej pedig 90 perc alatt hűlt le 150°C -ra.

## 7. Hőkezelés

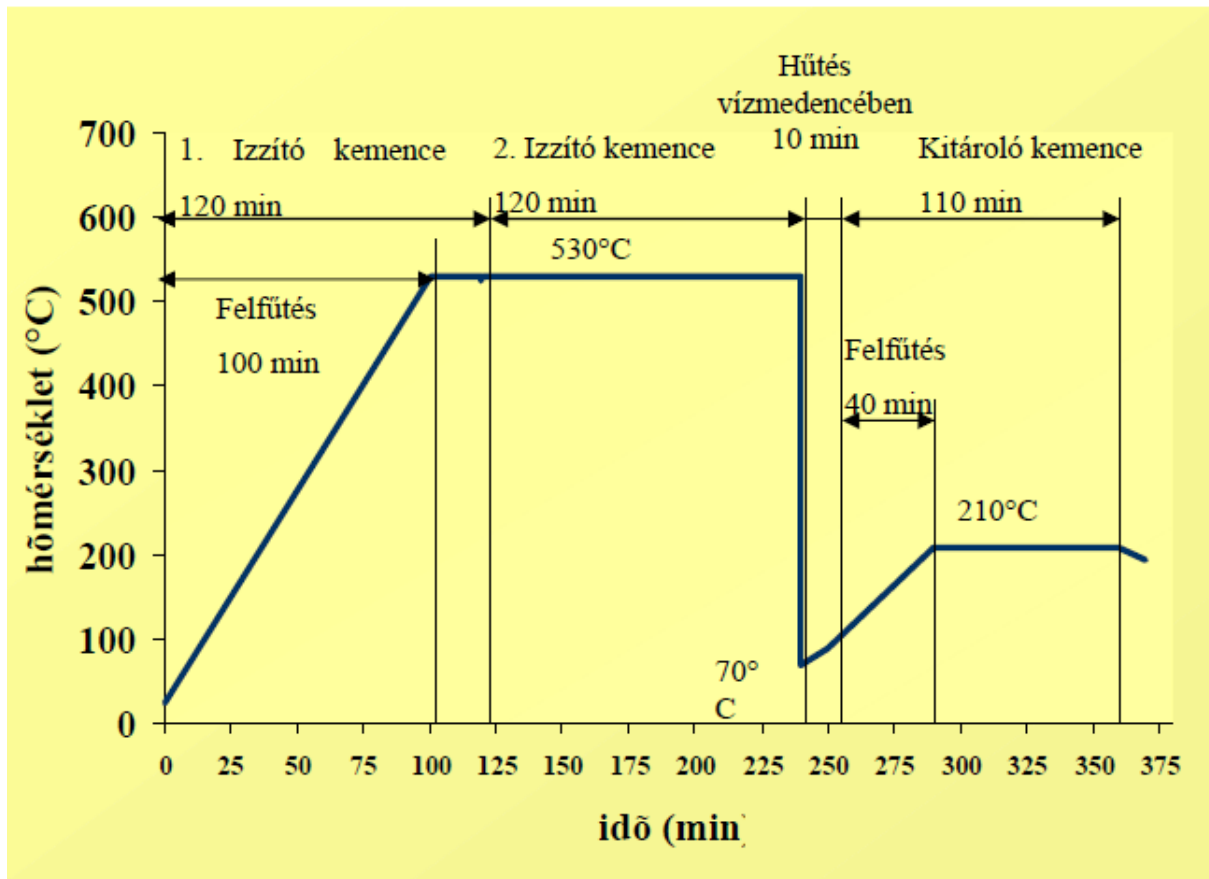
A hengerfej lehűlése (kb. 80 °C-ra) után a hengerfejek megmunkálásra kerülnek, letörik a beömlő rendszert, levágják a tápfejeket és kirázzák belőle a maradék homokot. Megmunkálás után a hengerfejek hőkezelésen esnek át. A „A” hengerfej T5-sön, a „B” pedig T6-os hőkezelésen. A 11. ábrán látható a hőkezelési eljárások csoportosítása.

| Hőkezelés típusa  | Hőkezelési eljárások                                                    |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| T1-es hőkezelés:  | gyártási hőmérsékletről hűtés, majd természetes öregítés                |
| T2-es hőkezelés:  | gyártási hőmérsékletről hűtés, hidegalakítás, majd természetes öregítés |
| T3-es hőkezelés:  | oldó hőkezelés, hidegalakítás, majd természetes öregítés                |
| T4-es hőkezelés:  | oldó hőkezelés, majd természetes öregítés                               |
| T5-es hőkezelés:  | a gyártási hőmérsékletről hűtés, majd mesterséges öregítés              |
| T6-es hőkezelés:  | oldó hőkezelés, majd mesterséges öregítés (meleg kikeményítés)          |
| T7-es hőkezelés:  | oldó hőkezelés, és túlóregítéssel stabilizálás                          |
| T8-es hőkezelés:  | oldó hőkezelés, hidegalakítás, majd mesterséges öregítés                |
| T9-es hőkezelés:  | oldó hőkezelés, mesterséges öregítés, majd hidegalakítás                |
| T10-es hőkezelés: | gyártási hőmérsékletről hűtés, hidegalakítás, majd mesterséges öregítés |

**11. ábra** Hőkezelési eljárások [8]

## 7.1 T5/T6 hőkezelés

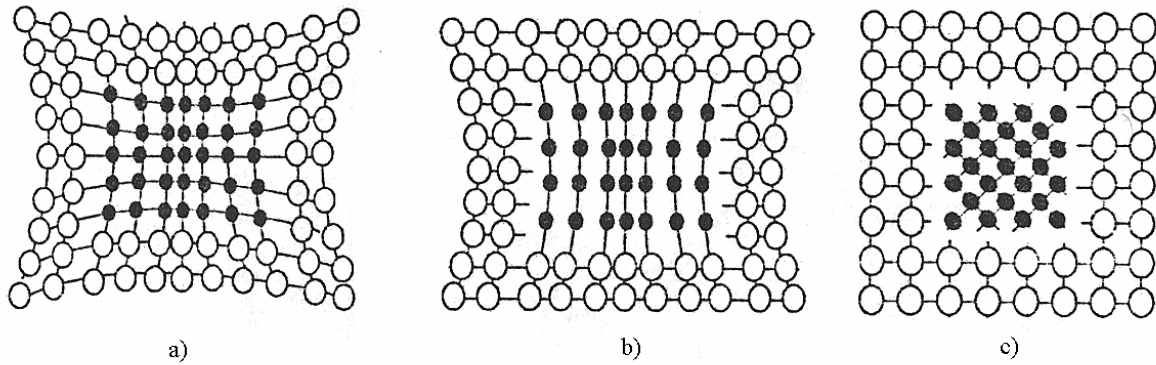
12. ábrán látható T5-ös és a T6-os hőkezelés menete és egyes szakaszai és idő tartama.[9]



12. ábra T5-T6-os hőkezelés folyamata

### T6-os hőkezelés [8]

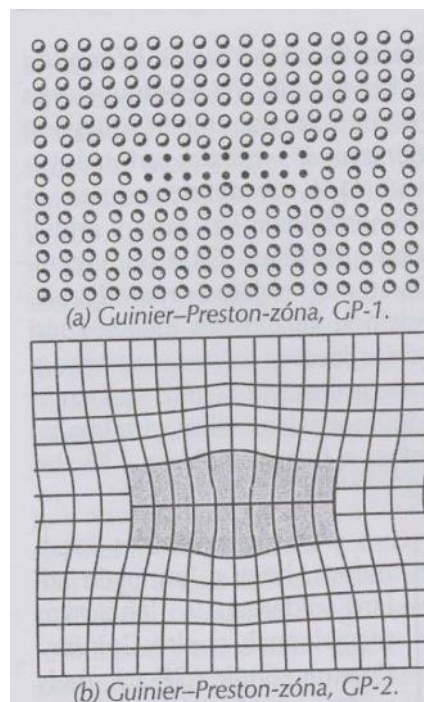
A hőkezelés során a diszlokációk mozgását akadályozó kiválások jönnek létre. Ilyen részecskék keletkeznek túltelített szilárd oldatból való kiválás esetén. Ha egy diszlokáció kiváláshoz ér a továbbhaladáshoz át kell vágnia azt. Az átvágáshoz nagy energia kell, vagyis a kiválás jelentős szilárdságnövekedést okoz. Ha az energia szükséglet túl nagy, akkor a diszlokáció megkerüli a kiválást és mérsékelt szilárdságnövekedést eredményez. A szilárdság növekedés akkor a legnagyobb, ha a kiválás a mátrixszal koherens vagy fél koherens.



**13 ábra.** Koherens(a), fél koherens(b), nem koherens kiválás(c).[5]

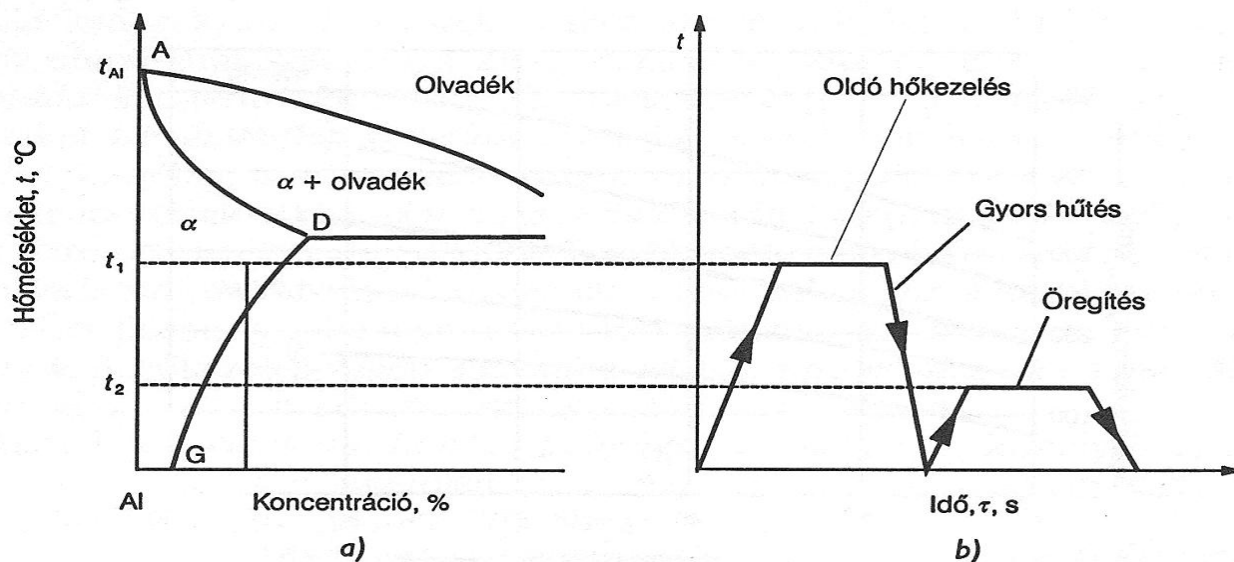
A kiválásos folyamat lépései :

**G.P. zóna → metastabil fázis → stabil fázis →**



**14.ábra** G.P zónák

A következő ábrán (15. ábra ) megfigyelhetjük a hőkezelés lépéseit, folyamatát.



**15. ábra** Az alumínium ötvözetek nemesítésének folyamata: egyensúlyi diagram (a) és hőkezelés menete (b). [5]

- A folyamat 3 fő részből tevődik össze: - Oldó hőkezelés;  
- Edzés;  
- Mesterséges öregítés.

Oldó hőkezelés:

A homogenizálás vagy más néven oldó hőkezelés célja az ötvözők minél tökéletesebb oldása, ezért mindig a szolvusz-hőmérséklet felett és a szolidusz-hőmérséklet alatt kell végezni. Az esetleges helyi megolvadások elkerülésére célszerű 10...20 °C-kal az eutektikus hőmérséklet alatt maradni. Az oldó hőkezelés ideje az ötvözet állapotától, összetételétől, ill. a darab vastagságától függ.

Edzés:

Célja az oldó hőkezelés során kialakult szilárdoldat állapotát megtartani szobahőmérsékleten is. Az edzés általában gyors hűtést jelent, ezért gyakran hívják befagyasztásnak is. Az edzés akkor sikeres ha a magas hőmérsékleten kialakult szerkezet minden atomja illetve vakanciája a helyén marad. A leggyakrabban előforduló hiba, ha a kritikus hőmérsékleten megindul a kiválás. A kritikus hőmérsékletnek hívjuk azt a tartományt ahol a kiválási folyamat különösen gyors. A kiválás sebessége a túltelítettségtől (túlhűléstől), illetve a diffúzió sebességétől függ.

Mesterséges öregítés (megeresztés):

A tútelített nem egyensúlyi szilárdoldatból az ötvözők kiválni igyekeznek. Alacsony hőmérsékletű hevítéssel ez a folyamat jól szabályozható. A kiválások a körülményektől függően többfélék lehetnek. Az egyensúlyi diagramba ún. nem egyensúlyi szolvusz görbéket is berajzolhatunk, amelyek a kiváló fázisok stabilitási területeit mutatják. A legalacsonyabb hőmérsékleten keletkeznek a GP zónák, ettől magasabb hőmérsékleten a metastabil fázis(ok), végül a legmagasabb hőmérsékleten a stabil egyensúlyi fázis. A G.P. zónák képződése szobahőmérsékleten is megindulhat. Ekkor pusztán a termékek néhány napos esetleg hetes hevertetésével jelentős szilárdságnövekedés is elérhető. Az ilyen ötvözeteket önnemesedő ötvözeteknek hívjuk. A szilárdsági tulajdonságok a hőkezelési idő függvényben maximumos görbe szerint változnak, ezért fontos a megfelelő idő és hőmérséklet meghatározása. Az egyensúlyi fázis megjelenésével a kiválások mérete és köztük lévő távolság már nagy, a szilárdsági tulajdonságok csökkennek, a kontrakció, nyúlás nő, vagyis az anyag lágyul. Ezt a folyamatot túlörégítésnek nevezik, ami a felhasználás szempontjából általában káros.

A T5-ös hőkezelés során csak a mesterséges öregítés folyamatát hajtjuk végre. [10][5]

## 8. Nemfémes zárványok az Al-olvadékban

Az alumíniumötvözetek olvadékminőségétől függő tulajdonságait nagyrészt az oxigén és a nemfémes szennyeződések, zárványok befolyásolják, ill. a hidrogéntartalom, mint porozitási ok ugyanúgy, mint a szemcsefinomság és/vagy nemesítési, módosítottági fok. A nemfémes szennyeződések, pl. az oxidok és karbidok az alumínium nyersanyagból (beolvasztott Al-ból) származnak. Befolyásolják a szilárdságot, a kúszószilárdságot, további okozói a külső hibáknak (csírahelyei a hidrogén porozitásnak) és befolyásolják az ötvényszerű felületi minőségét.

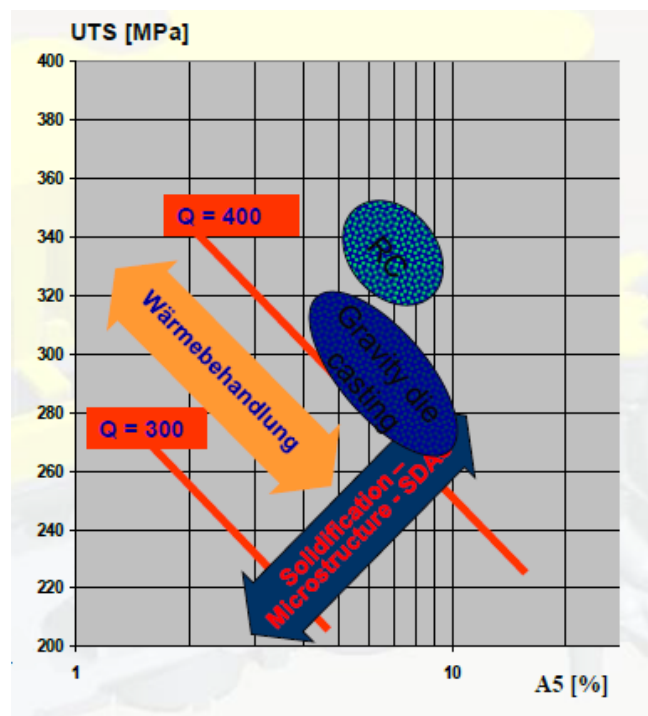
Az ötvözet tulajdonságainak megállapítására a szakirodalom az úgynevezett minőségi indexet ajánlja, amely az ötvözetek mechanikai tulajdonságait foglalja össze.

A minőségi index – quality index:

$$Q = Rm + k \cdot \log A \quad (1)$$

- $1Rm$ , szakítószilárdság;
- $A$ , szakadási nyúlás, teljes nyúlás;
- $k$ , konstans (ötvözetfüggő).

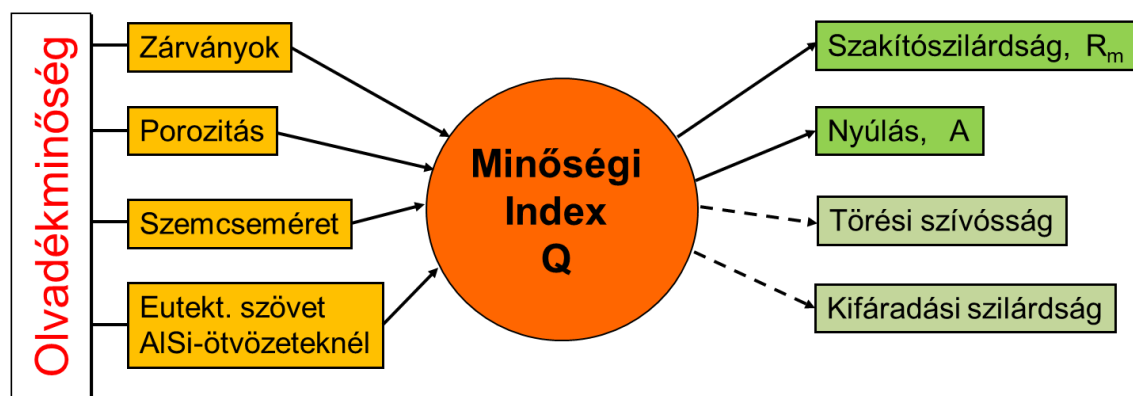
A 1. egyenletben a porozitás és a zárványok befolyással vannak a minőségi index értékére, de az egyenlet egyben engedélyez egy bizonyos mértékű zárvány visszamaradást is.



16. ábra A szilárdsági paraméterek javítási lehetőségei

A 16. ábra azt mutatja be, hogy a szilárdsági paramétereket, ezáltal az ötvény minőségét milyen lehetőségekkel lehet javítani. Az egyik lehetőség a hőkezelés, melyet gazdasági okok miatt célszerű csökkenteni, vagy elkerülni. A másik lehetőség a kristályosodási viszonyok és az olvadék minőségének megváltoztatása. Az olvadék minőségének javításában a következő tényezőknek van jelentős szerepe: kristályosodás, szemcseméret, szemcsefinomítás, inhomogenitások, gáz porozitás és lunker csökkentése, továbbá a hűtés sebességének növelése, azaz, ha intenzív hőelvonást alkalmazunk kristályosodás közben, akkor a DAS (dendritág távolság) kisebb lesz.

A porozitás és a szemcseméret befolyása a minőségindexre jól ismert, de az oxidok, különösképp a nemfémes zárványok hatásai az alumíniumötvözetek mechanikai tulajdonságaira csak kevésbé ismertek. Az ok, hogy nem áll rendelkezésre On-Line Analízismódszer a nemfémes szennyezők mennyiségének mérésére.



**17. ábra** A minőségi index kapcsolata az olvadékminőséggel és a mechanikai tulajdonságokkal

A szakirodalom és a nemzetközi szakma véleménye szerint jelenleg nincs alkalmas módszer a zárványosság üzemi körülmények között alkalmazható gyors és egyszerű kimutatására ezért az olvadék zárványtartalmának csökkentésénél is csak útkeresés folyik. Így nincs elfogadható lehetőség a tisztítási eljárások hatékonyságának a megkövetelt technológiai biztonság értelmében történő megítélésére és felügyeletére sem. Csak az oldott hidrogéntartalom és a nemfémes szennyeződések külön-külön történő meghatározása esetén lenne lehetőség az olvadék hatékony kezelésére.

A jelenlegi vizsgálati módszerek (Prefil, PoDFA, LIMCA) közül a Prefil ad eredményt egyedül a vizsgálat elvégzése közben (átfolyási sebesség, átfolyt tömeg), az így kapott eredmények viszont nem csak a zárványtartalom eltéréséből eredően különböznek és adódhatnak, hanem az olvadék más fizikai-kémiai tulajdonságai is nagymértékben

befolyásolják a folyamatot. Jelentős szerepe van az olvadék gáztalanításának és a szemcsefinomító, valamint a módosító adalékok hatásának, melyek befolyásolják az olvadék viszkozitását, határfelületi tulajdonságait, ezáltal megváltoztatják a szűrőn átfolyó olvadék mennyiségét, valamint az átfolyás viszonyait. Problémát jelent az is, hogy egyelőre nincs olyan vizsgálati módszer, mely bemutatná az egyes befolyásoló tényezők hatását az átfolyási görbére. A szűrőn fennmaradó zárványok utólagos vizsgálata, kiértékelése hosszadalmas és költséges, de elengedhetetlen a berendezések által szolgáltatott eredmények megértéséhez és kiegészítéséhez.

Szükség lenne egy új módszer és műszer kifejlesztésére, ehhez azonban meg kell találni az elméleti háttérrel, mely kombinálja az eddig vizsgált paramétereket az olvadék fizikai-kémiai tulajdonságaival, illetve a további befolyásoló tényezőkkel.

Az oxidok és további nemfémes szennyezők, mint például a karbidok, az alumínium-ötvözetekben általában 3 megfelelőségi osztályba sorolandóak. A fő ok a folyékony Al reakciója a levegő oxigénjével, a keletkező oxidok beépülése a beolvadás közben, továbbá azok az oxidok, amelyek az olvadék és az öntőüst tűzálló falzatából származnak.[11][12]

## **9. Saját kísérletek**

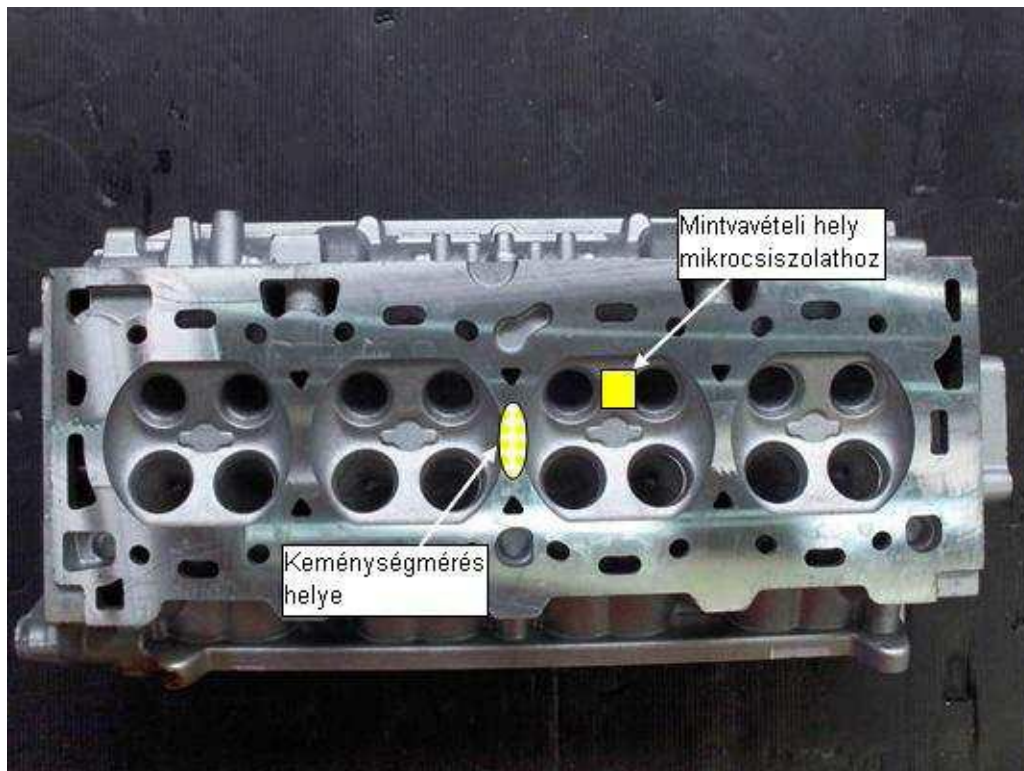
A hőkezelés befejeztével mechanikai vizsgálatokat végeztem el a hengerfejekken. Ezek a vizsgálatok az alábbiak voltak:

- keménység vizsgálat égéstér és fedél oldalon;
- szakítószilárdság;
- dendritág távolság mérés;
- porozitás.

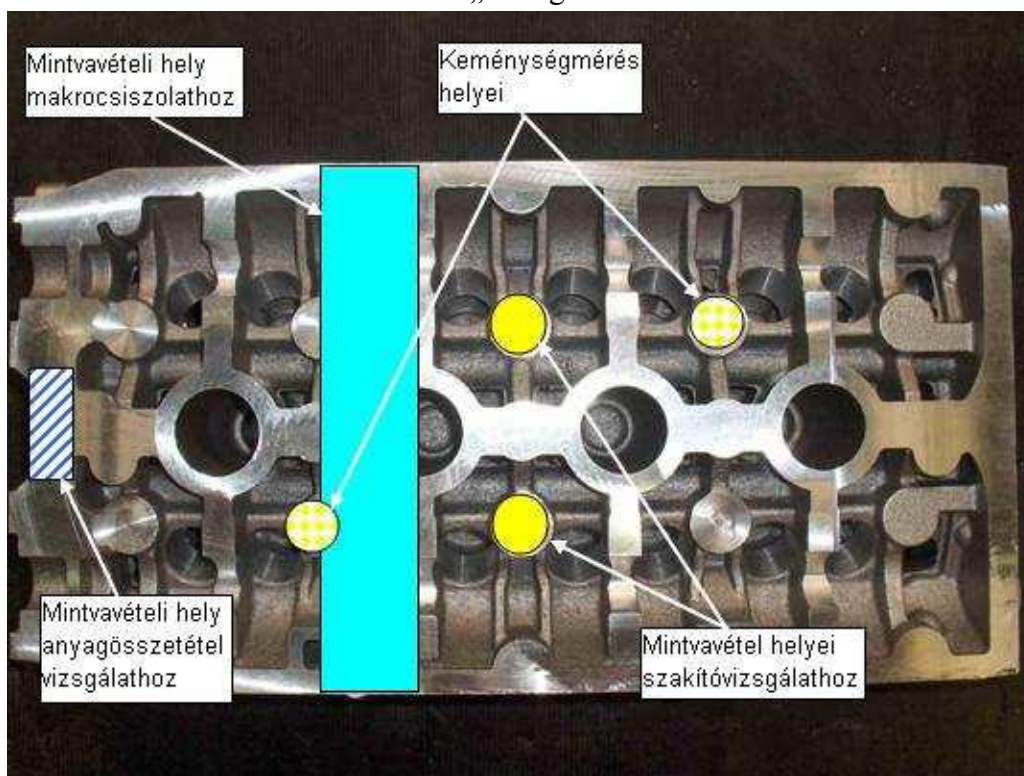
## 9.1 A vizsgált hengerfejek

### 9.1.1 „A” hengerfej mechanikai mérési helyei

A 18 – 19. ábrán megfigyelhető az „A” hengerfej mérési pontjai annak pontos helyével megjelölve.



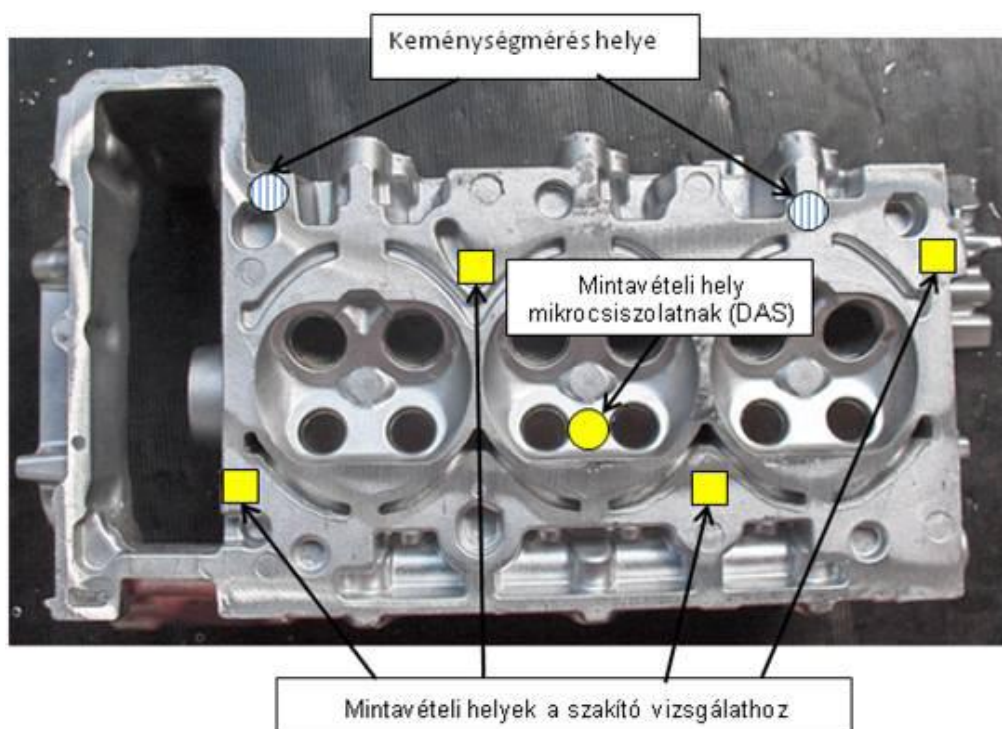
18. ábra „A” Égéstér oldal



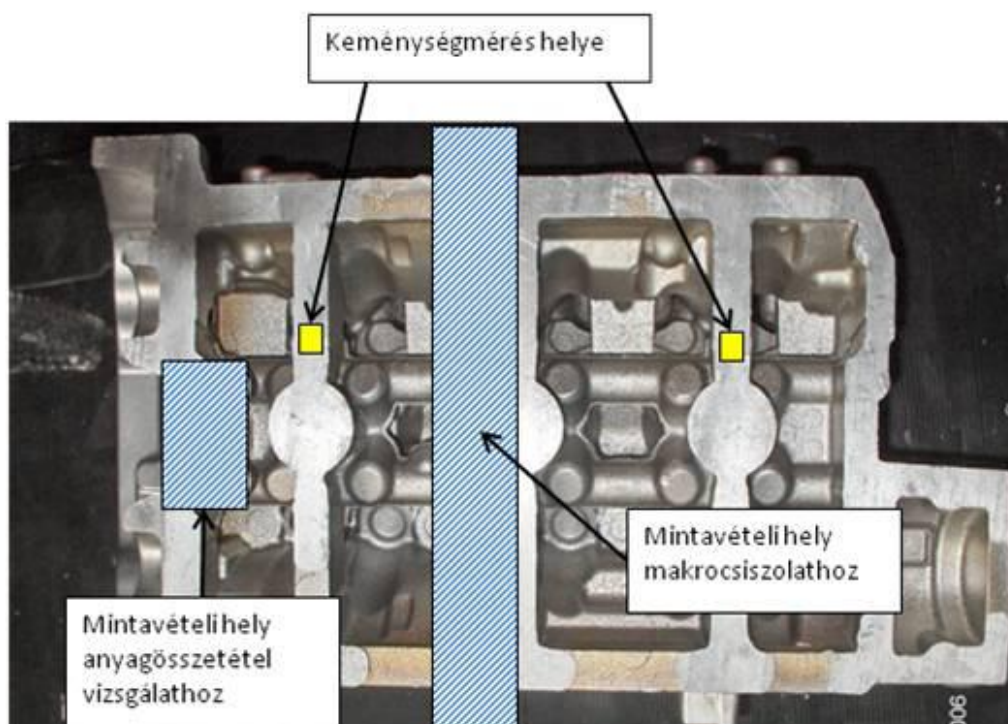
19. ábra „A” fedél oldal

### 9.1.2 „B” hengerfej mechanikai mérési helyei

A 20 – 21. ábrán megfigyelhető az „B” hengerfej mérési pontjai annak pontos helyével megjelölve.



20. ábra „B” égéstér oldal



21. ábra „B” fedél oldal

A mechanikai tulajdonságok elemzéséhez összehasonlítási alapnak kigyűjtöttem 3 hónapra visszamenőleg az üzemi vizsgálatok adatait és összehasonlítottam a kísérleti hengerfejek mechanikai adataival.

## 9.2 „A” hengerfej mechanikai tulajdonságai

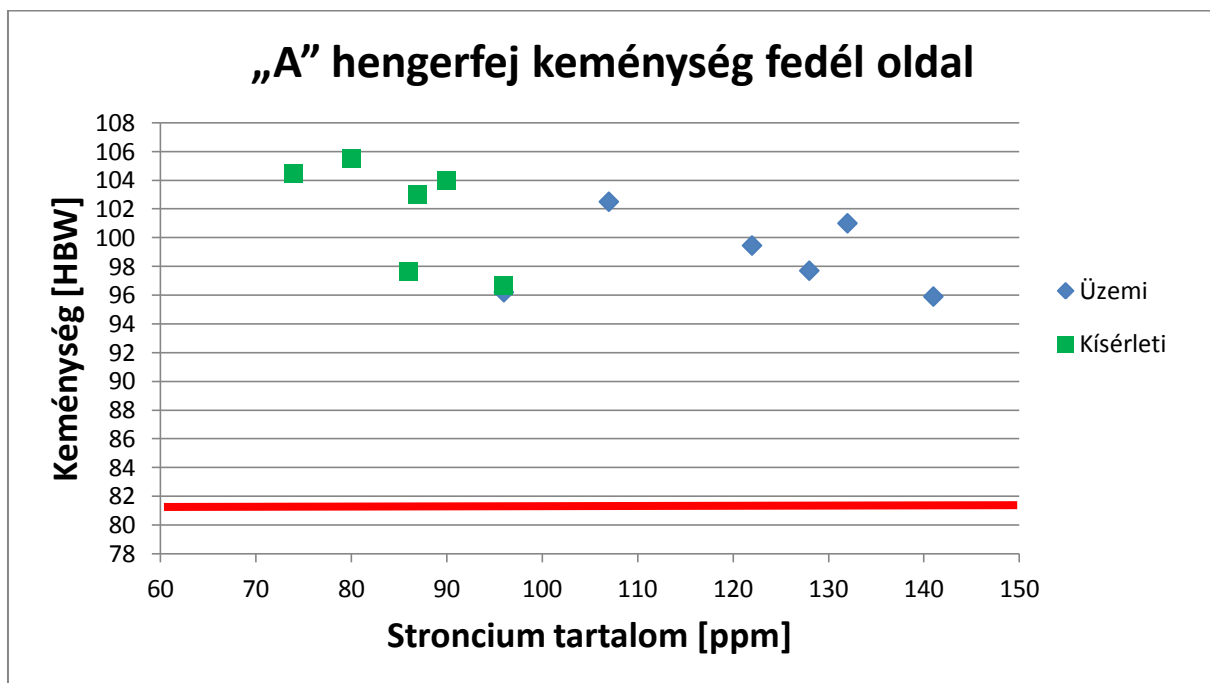
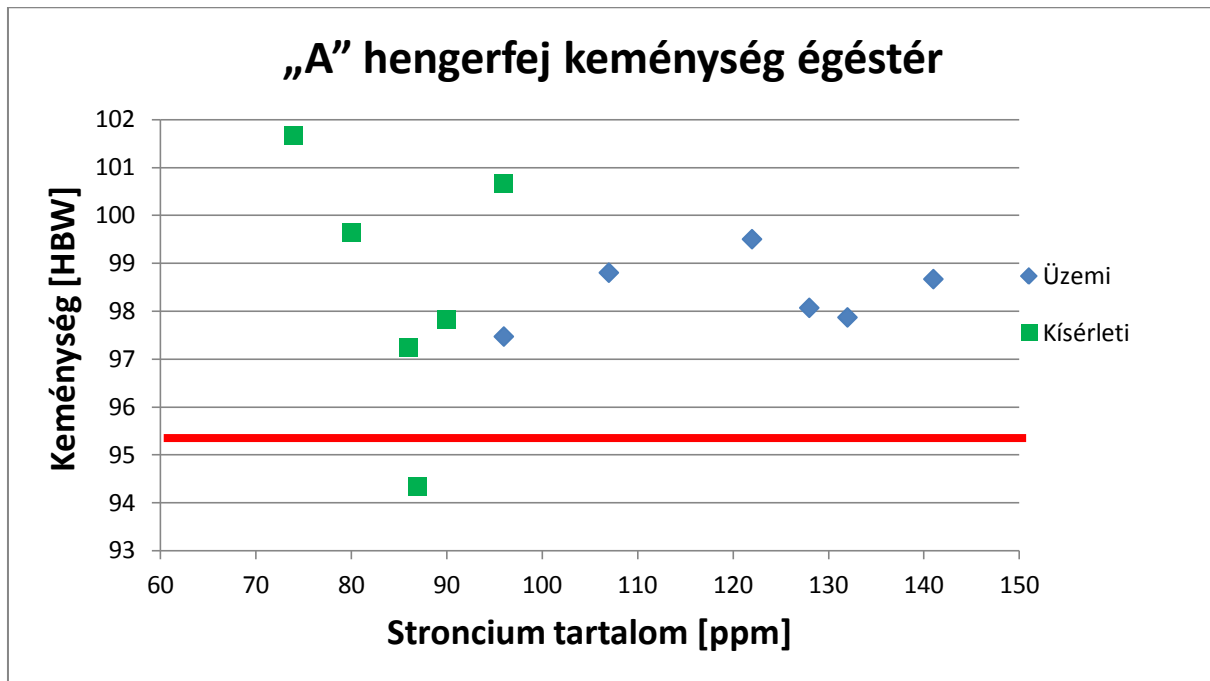
### 9.2.1 „A” hengerfej keménységmérés eredményei

A keménységmérés elvégzéséhez a próbatestek a 18-19. ábra szerint lettek kimunkálva. A mérések az alábbi eredményeket hozták.

| ÉGÉSTÉR Előírás: min 95 HBW |               |                   |               | FEDÉL oldal Előírás: min 80 HBW |               |                   |               |
|-----------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Üzemi                       |               | Kísérleti         |               | Üzemi                           |               | Kísérleti         |               |
| Sr tartalom [ppm]           | Keménység HBW | Sr tartalom [ppm] | Keménység HBW | Sr tartalom [ppm]               | Keménység HBW | Sr tartalom [ppm] | Keménység HBW |
| 96                          | 97            | 74                | 102           | 96                              | 96            | 74                | 105           |
| 107                         | 99            | 80                | 100           | 107                             | 103           | 80                | 106           |
| 122                         | 100           | 86                | 97            | 122                             | 99            | 86                | 98            |
| 128                         | 98            | 87                | 94            | 128                             | 98            | 87                | 103           |
| 132                         | 98            | 90                | 98            | 132                             | 101           | 90                | 104           |
| 141                         | 99            | 96                | 101           | 141                             | 96            | 96                | 97            |

**1. táblázat** „A” hengerfej keménység vizsgálata eredményei

Az ötvöző tartalmának csökkentésével hasonló keménységértéket lehet elérni, mint az üzemi stroncium tartalommal, amit a 18. ábra diagramjai is remekül szemléltetnek. A mérések során csak az égéstér oldalt volt egy érték az előírás alatt.



**22. ábra „A” hengerfej keménység eredmények**

### 9.2.2 „A” hengerfej szakítóvizsgálat eredményei

| Szakítóvizsgálat                       |                   |                         |                   |                         |     |                         |     |                                   |                |                         |                |
|----------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----|-------------------------|-----|-----------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Rp <sub>0,2</sub> Előírás: min 110 MPa |                   |                         |                   | Rm Előírás: min180 MPa  |     |                         |     | A <sub>5</sub> Előírás: min. 0,5% |                |                         |                |
| Üzemi                                  |                   | Kísérleti               |                   | Üzemi                   |     | Kísérleti               |     | Üzemi                             |                | Kísérleti               |                |
| Sr<br>tartalom<br>[ppm]                | Rp <sub>0,2</sub> | Sr<br>tartalom<br>[ppm] | Rp <sub>0,2</sub> | Sr<br>tartalom<br>[ppm] | Rm  | Sr<br>tartalom<br>[ppm] | Rm  | Sr<br>tartalom<br>[ppm]           | A <sub>5</sub> | Sr<br>tartalom<br>[ppm] | A <sub>5</sub> |
| 96                                     | 174               | 74                      | 207               | 96                      | 214 | 74                      | 214 | 96                                | 0,7            | 74                      | 0,3            |
| 107                                    | 163               | 80                      | 207               | 107                     | 227 | 80                      | 221 | 107                               | 1,0            | 80                      | 0,3            |
| 122                                    | 192               | 86                      | 175               | 122                     | 227 | 86                      | 199 | 122                               | 0,6            | 86                      | 0,5            |
| 128                                    | 175               | 87                      | 199               | 128                     | 237 | 87                      | 219 | 128                               | 1,2            | 87                      | 0,4            |
| 132                                    | 179               | 90                      | 206               | 132                     | 231 | 90                      | 213 | 132                               | 0,9            | 90                      | 0,3            |
| 141                                    | 168               | 96                      | 185               | 141                     | 222 | 96                      | 199 | 141                               | 0,9            | 96                      | 0,4            |

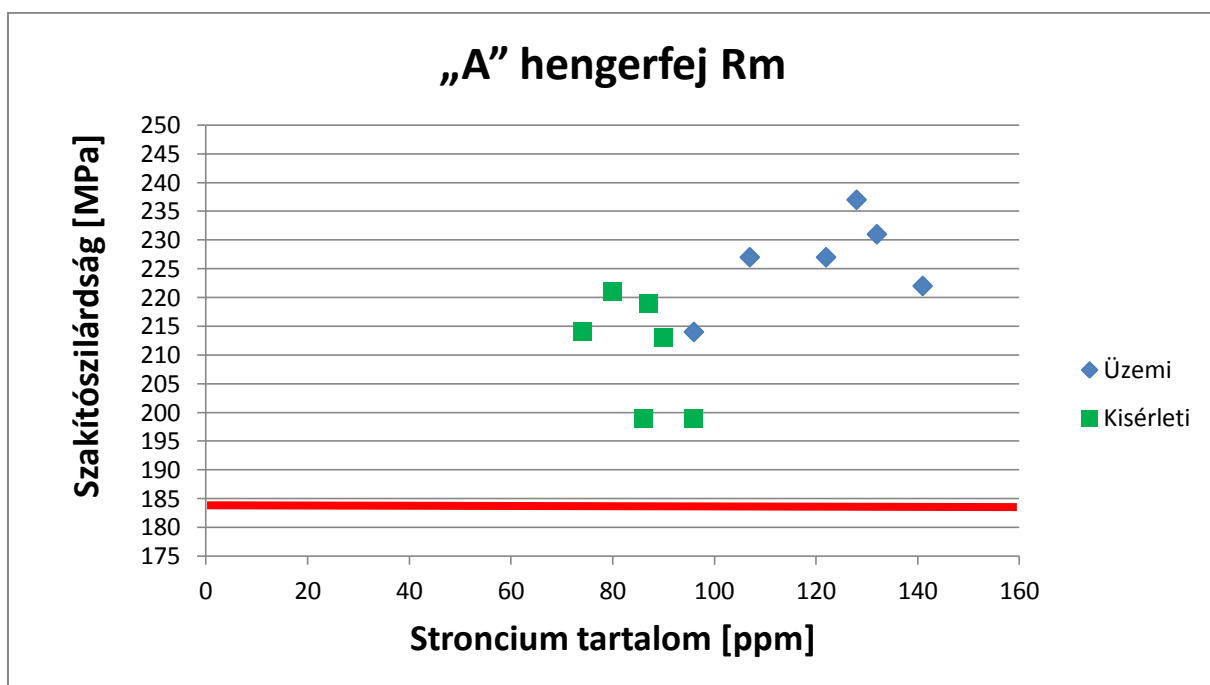
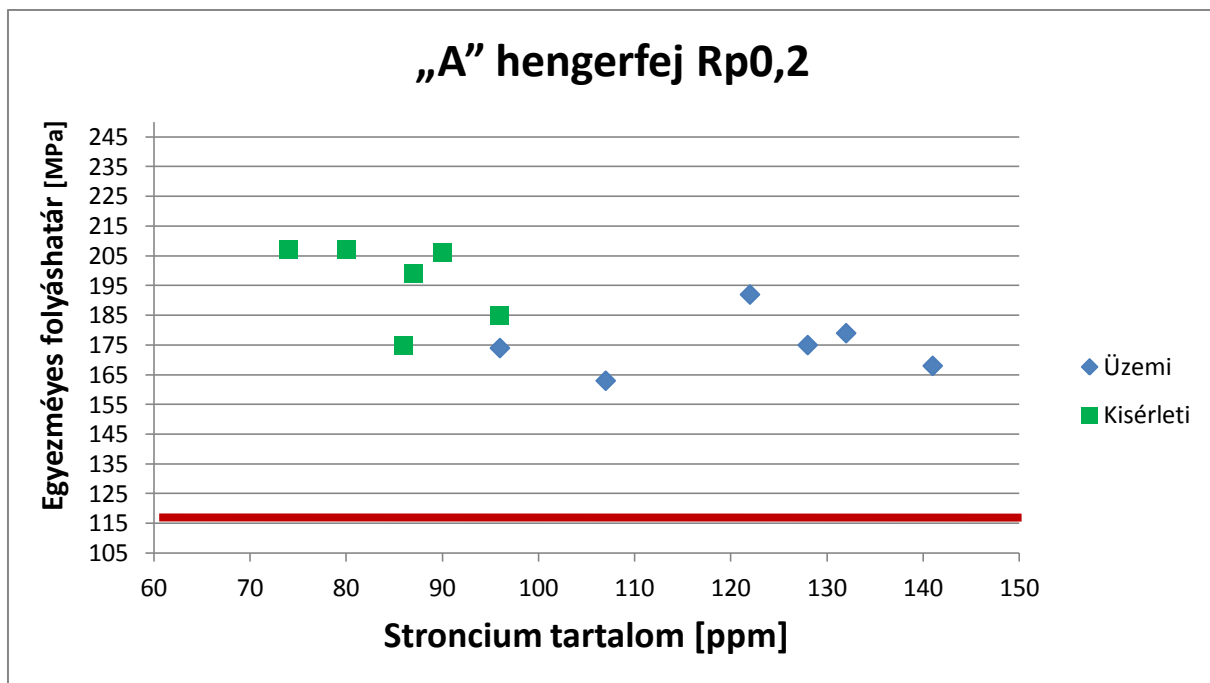
**3. táblázat** „A” hengerfej Szakítóvizsgálat eredményei

A szakítóvizsgálat kiértékelése során csak a nyúlás mértéke maradt el az előírt érték alatt, a többi érték, az üzemi értékekhez hasonlóan a megengedett értékhatáron belül volt. Az eredményeket a 23 – 24. ábrák diagramjai szemléltetik.

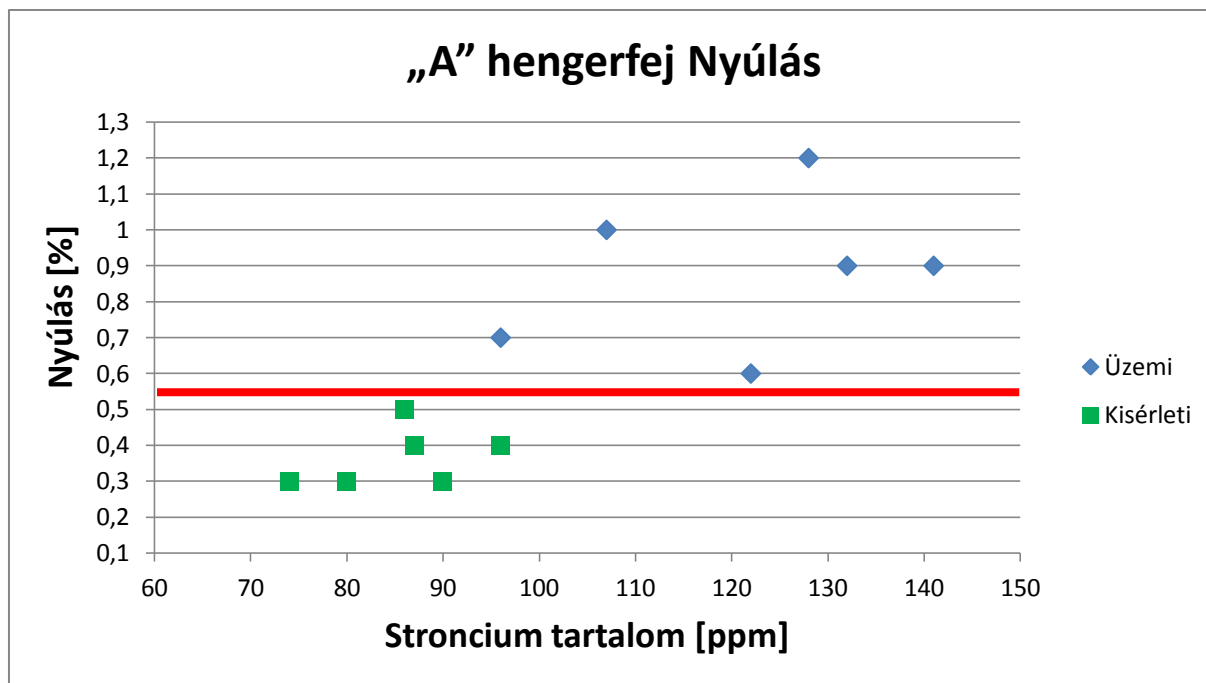
| Üzemi SR | Quality index | Kísérleti SR | Quality index |
|----------|---------------|--------------|---------------|
| 96       | 191           | 74           | 136           |
| 107      | 227           | 80           | 143           |
| 122      | 194           | 86           | 154           |
| 128      | 249           | 87           | 159           |
| 132      | 224           | 90           | 135           |
| 141      | 215           | 96           | 139           |

**4. táblázat** „A” hengerfej Quality index eredményei

„A” hengerfej quality index eredményein jól látható, hogy az üzemi értékek magasabbak, mint a kísérleti eredmények. A kísérleti eredmények a nyúlás romlásához vezethető vissza.



23. ábra Szakítószilárdság eredményei



**24. ábra** Nyúlás eredményei

#### 9.2.3 „A” hengerfej dendritág távolság, porozitás mérés eredményei

| SDAS előírás: max 30μm |       |                   |       | Porozitás előírás: max 1% |           |                   |           |
|------------------------|-------|-------------------|-------|---------------------------|-----------|-------------------|-----------|
| Üzemi                  |       | Kísérleti         |       | Üzemi                     |           | Kísérleti         |           |
| Sr tartalom [ppm]      | SDAS  | Sr tartalom [ppm] | SDAS  | Sr tartalom [ppm]         | Porozitás | Sr tartalom [ppm] | Porozitás |
| 96                     | 20,98 | 74                | 19,65 | 96                        | 0,27      | 74                | 0,21      |
| 107                    | 19,36 | 80                | 20,86 | 107                       | 0,14      | 80                | 0,13      |
| 122                    | 19,78 | 86                | 20,26 | 122                       | 0,15      | 86                | 0,11      |
| 128                    | 20,24 | 87                | 20,19 | 128                       | 0,11      | 87                | 0,18      |
| 132                    | 21,49 | 90                | 19,55 | 132                       | 0,18      | 90                | 0,18      |
| 141                    | 20,97 | 96                | 20,84 | 141                       | 0,21      | 96                | 0,15      |

**5. táblázat** Dendritág távolság és a porozitás eredményei

A stroncium tartalom változtatása jelentősen nem befolyásolta a dendritág távolságot és a porozitásra is hasonló értékeket kaptam, mint az üzemi értékek.

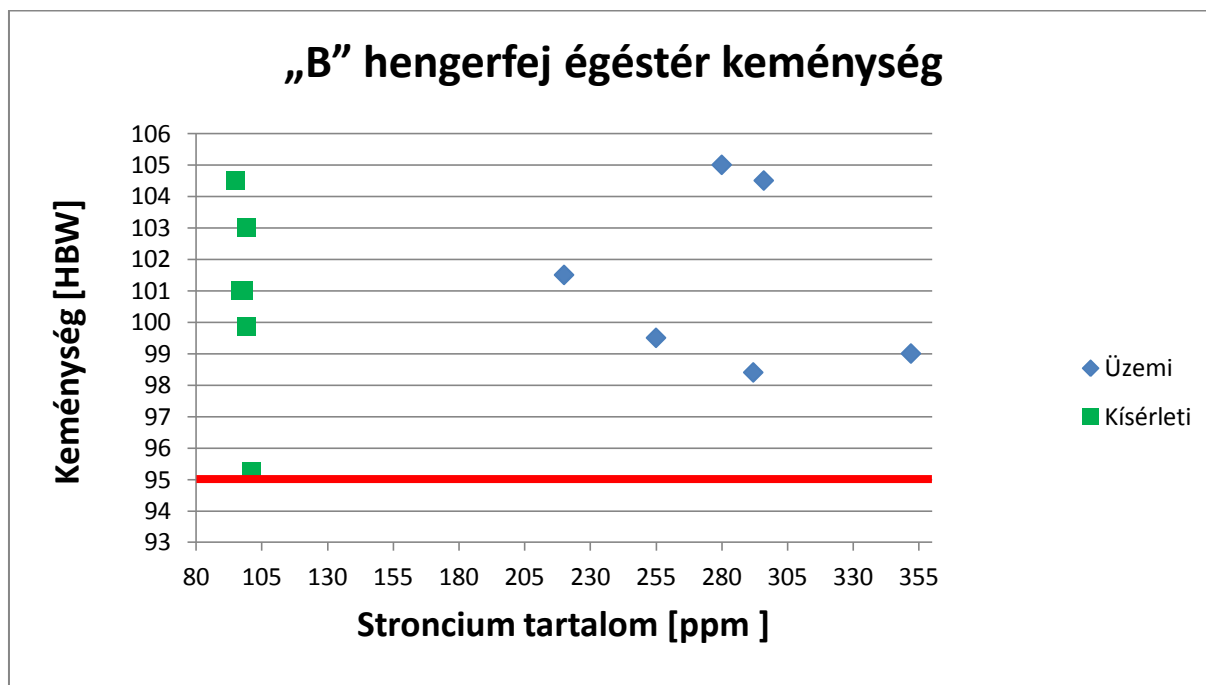
### 9.3 „B” hengerfej mechanikai tulajdonságai

#### 9.3.1 „B” hengerfej keménységmérés eredményei

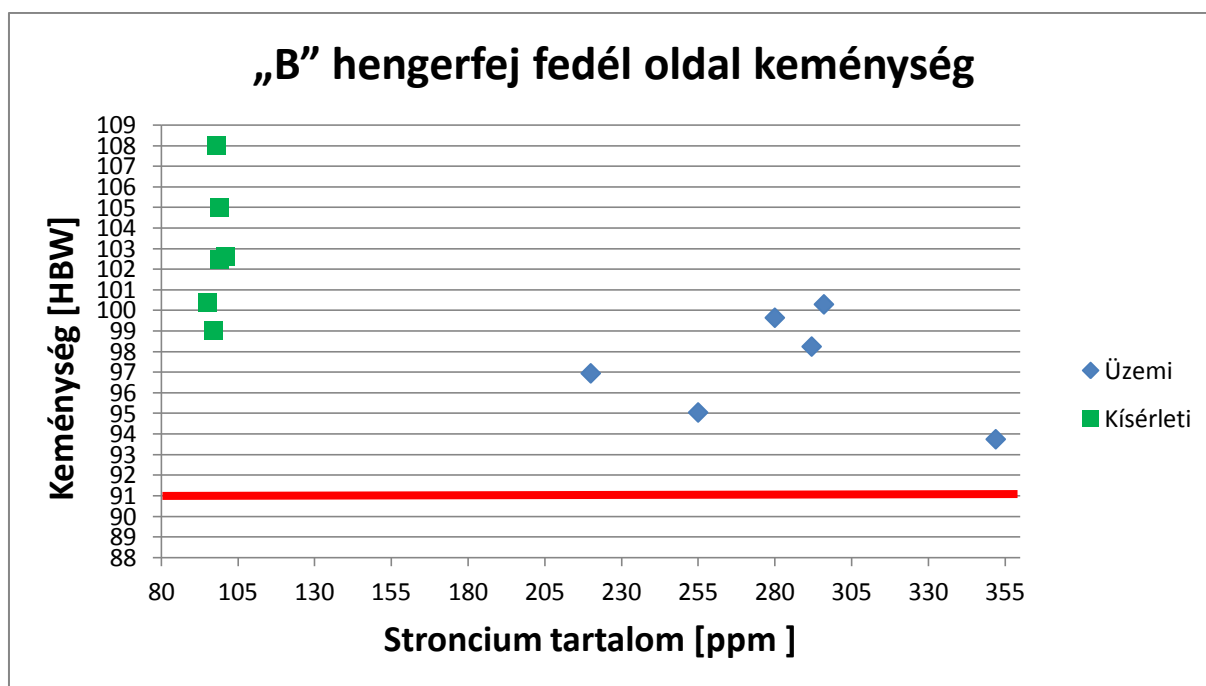
| ÉGÉSTÉR Előírás: min 95 HBW |               |                   |               | FEDÉL oldal Előírás: min 90 HBW |               |                   |               |
|-----------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Üzemi                       |               | Kísérleti         |               | Üzemi                           |               | Kísérleti         |               |
| Sr tartalom [ppm]           | Keménység HBW | Sr tartalom [ppm] | Keménység HBW | Sr tartalom [ppm]               | Keménység HBW | Sr tartalom [ppm] | Keménység HBW |
| 220                         | 101,5         | 95                | 104,5         | 220                             | 96,95         | 95                | 100,4         |
| 255                         | 99,5          | 97                | 101           | 255                             | 95,05         | 97                | 99,05         |
| 280                         | 105           | 98                | 101           | 280                             | 99,65         | 98                | 108           |
| 292                         | 98,4          | 99                | 99,85         | 292                             | 98,25         | 99                | 105           |
| 296                         | 104,5         | 99                | 103           | 296                             | 100,3         | 99                | 102,5         |
| 352                         | 99            | 101               | 95,25         | 352                             | 93,75         | 101               | 102,6         |

6. táblázat „B” hengerfej keménységmérés eredményei

Ennél a hengerfejnél a keménység mérés során hasonló eredményeket kaptam mint az üzemiekhez (25. a és b ábrák, így megállapítható, hogy ez a fajta Sr-tartalom csökkentés a hengerfej keménységét jelentősen nem befolyásolja.



25. a) ábra „B” hengerfej keménység



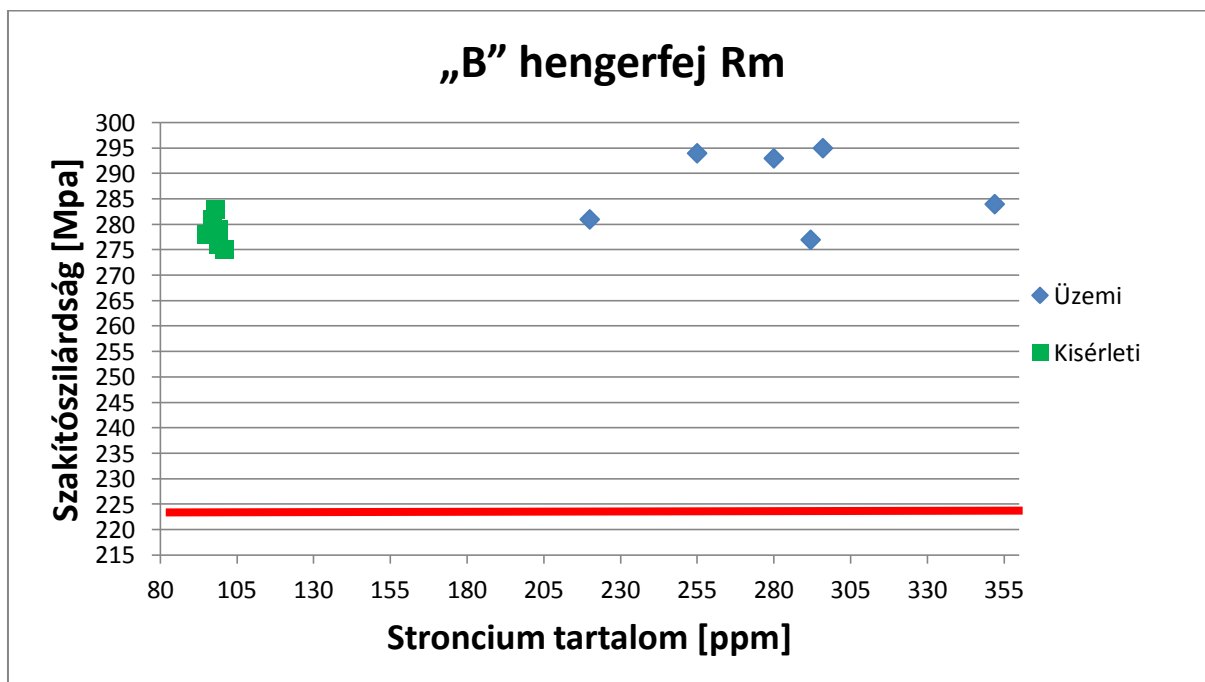
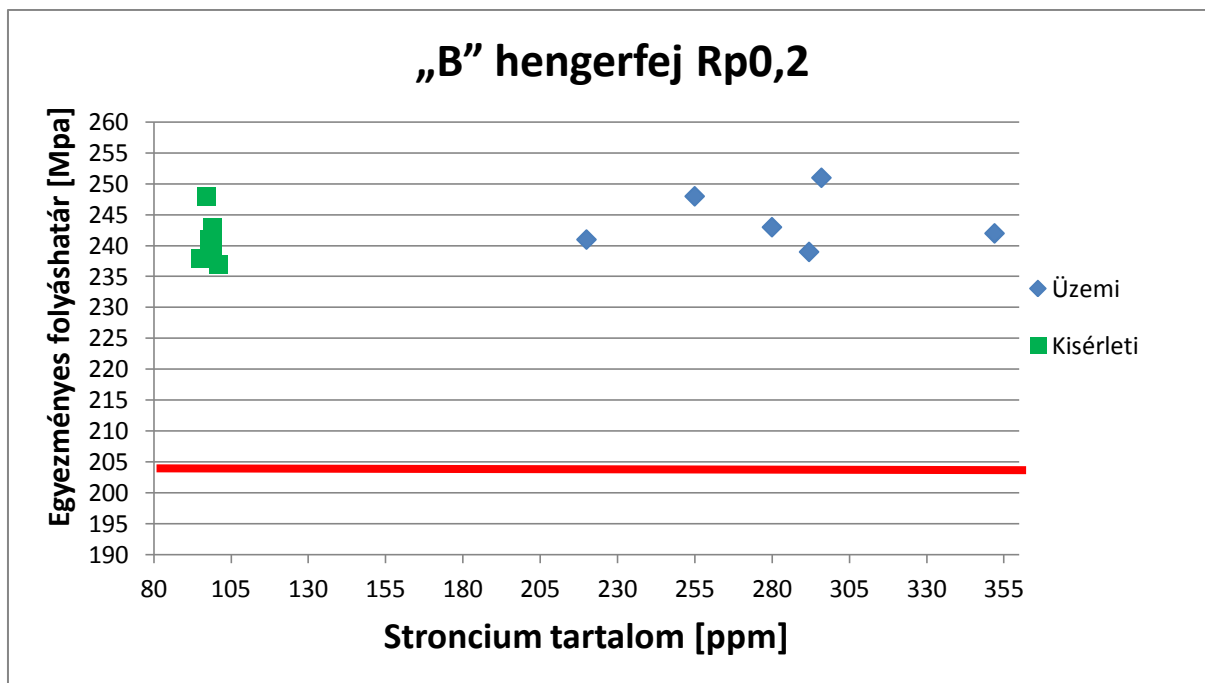
25. b) ábra „B” hengerfej keménység

### 9.3.2 „B” hengerfej szakítóvizsgálat eredményei

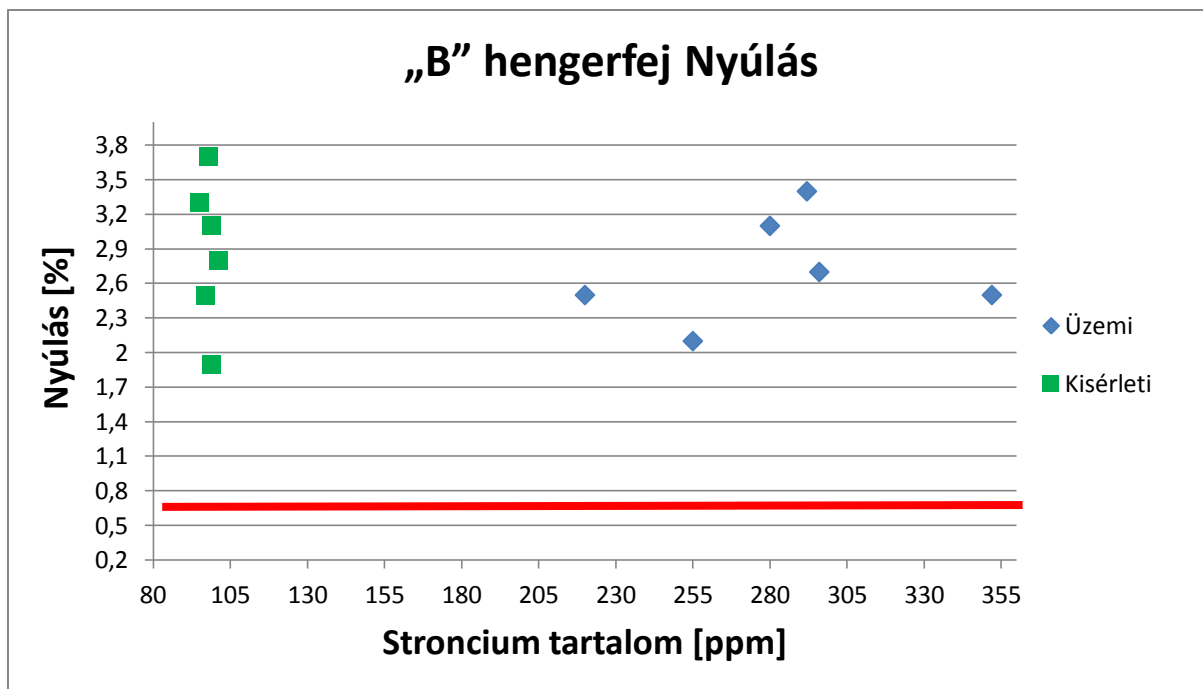
| Szakítóvizsgálat                       |                   |                   |                   |                         |     |                   |     |                                   |                |                   |                |
|----------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----|-------------------|-----|-----------------------------------|----------------|-------------------|----------------|
| Rp <sub>0,2</sub> Előírás: min 200 MPa |                   |                   |                   | Rm Előírás: min 220 MPa |     |                   |     | A <sub>5</sub> Előírás: min. 0,5% |                |                   |                |
| Üzemi                                  |                   | Kísérleti         |                   | Üzemi                   |     | Kísérleti         |     | Üzemi                             |                | Kísérleti         |                |
| Sr tartalom [ppm]                      | Rp <sub>0,2</sub> | Sr tartalom [ppm] | Rp <sub>0,2</sub> | Sr tartalom [ppm]       | Rm  | Sr tartalom [ppm] | Rm  | Sr tartalom [ppm]                 | A <sub>5</sub> | Sr tartalom [ppm] | A <sub>5</sub> |
| 220                                    | 241               | 95                | 238               | 220                     | 281 | 95                | 278 | 220                               | 2,5            | 95                | 3,3            |
| 255                                    | 248               | 97                | 248               | 255                     | 294 | 97                | 281 | 255                               | 2,1            | 97                | 2,5            |
| 280                                    | 243               | 98                | 241               | 280                     | 293 | 98                | 283 | 280                               | 3,1            | 98                | 3,7            |
| 292                                    | 239               | 99                | 243               | 292                     | 277 | 99                | 279 | 292                               | 3,4            | 99                | 3,1            |
| 296                                    | 251               | 99                | 240               | 296                     | 295 | 99                | 276 | 296                               | 2,7            | 99                | 1,9            |
| 352                                    | 242               | 101               | 237               | 352                     | 284 | 101               | 275 | 352                               | 2,5            | 101               | 2,8            |

7. táblázat „B” hengerfej szakítóvizsgálat eredményei

A szakítóvizsgálat során is az össze eredmény az előírt intervallumon belül volt, tehát, ahogyan a keménységi értékek esetében, itt is csökkenthető a Sr mennyisége minőségi romlás nélkül (26 – 27. ábrák).



26. ábra Szakítóvizsgálat eredményei



27. ábra Nyúlás mértéke

| Üzemi SR | Quality index | Kísérleti SR | Quality index |
|----------|---------------|--------------|---------------|
| 220      | 341           | 95           | 356           |
| 255      | 342           | 97           | 341           |
| 280      | 367           | 98           | 368           |
| 292      | 357           | 99           | 353           |
| 296      | 360           | 99           | 318           |
| 352      | 344           | 101          | 342           |

8. táblázat „B” hengerfej Quality index eredményei

Az „B” hengerfej quality index számításánál szinte azonos eredményeket kaptam, mint az üzemi értékek.

### 9.3.3 „B” hengerfej dendritág távolság, porozitás mérés eredményei

| SDAS előírás: max 21 $\mu$ m |       |                   |       | Porozitás előírás: max 1% |           |                   |           |
|------------------------------|-------|-------------------|-------|---------------------------|-----------|-------------------|-----------|
| Üzemi                        |       | Kísérleti         |       | Üzemi                     |           | Kísérleti         |           |
| Sr tartalom [ppm]            | SDAS  | Sr tartalom [ppm] | SDAS  | Sr tartalom [ppm]         | Porozitás | Sr tartalom [ppm] | Porozitás |
| 220                          | 16,14 | 95                | 16,41 | 220                       | 0,05      | 95                | 0,06      |
| 255                          | 15,33 | 97                | 16,78 | 255                       | 0,18      | 97                | 0,13      |
| 280                          | 16,37 | 98                | 16,38 | 280                       | 0,04      | 98                | 0,07      |
| 292                          | 16,94 | 99                | 16,07 | 292                       | 0,07      | 99                | 0,12      |
| 296                          | 15,96 | 99                | 16,9  | 296                       | 0,05      | 99                | 0,07      |
| 352                          | 15,49 | 101               | 16,49 | 352                       | 0,03      | 101               | 0,08      |

**9. táblázat** Dendritág távolság és a porozitás eredményei

A stroncium tartalom változtatása jelentősen nem befolyásolta a dendritág távolságot és a porozításra is hasonló értékeket kaptam, mint az üzemi értékek.

## 10. Összefoglalás

Az „A” hengerfejek estén a nyúlás értéke nem haladta meg az előírt minimum 0,5 % -ot, valamint a keménységmérés elvégzésekor az égéstér oldalánál is található előírásen kívüli érték. Az „A” hengerfejnél a stroncium csökkentés jelentős romlást okozott a nyúlásnál. A 100-160, átlagosan 130ppm stroncium tartalom csökkentése 90 ppm-re nem hozott eredményt.

A jövőben szeretném megismételni a kísérletet azzal a szándékkal, hogy a Sr-tartalmat nem 90 ppm-re, hanem 110 ppm-re csökkentem és vizsgálom az így gyártott hengerfejek mechanikai tulajdonságait.

Az „B” hengerfejek mérésénél minden mechanikai adat meghaladta az előírást. A kísérleti öntéssel hasonló mechanikai eredmények születtek, mint az üzemi adatok. A 233-as ötvözet stroncium-tartalmának csökkentése nem okozta a mechanikai tulajdonságok romlását.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a NEMAK Győr Kft. vezetésének azért a lehetőségért, hogy kutatómunkámhoz minden támogatást megadott illetve biztosította a lehetőséget szakmai fejlődésemhez. Köszönet illeti Dr. DUL Jenő egyetemi docenst aki szakmai vezetésével és hasznos tanácsaival hatékonyan támogatta kutatásom. Köszönetet kell mondanom továbbá Czeglédi Miklósnak és Leskó Zsoltnak, hogy segítséget nyújtottak a kísérletek kivitelezésében. Végül, de nem utolsó sorban a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 "A Miskolci Egyetemen működő tudományos képzési műhelyek összehangolt minőségi fejlesztése" programnak.

## Irodalomjegyzék:

- [1] Gergely Gréta – Gácsi Zoltán: A Si morfológiájának jellemzése a módosított Al-Si ötvözetekben
- [2] Shahrooz Nafisi, Reza Ghomashchi: Materials Science and Engineering 415, pp.273-285. 2006.
- [3] R.Schuh, F. Jeglitsch, G. Spiegel: Neue Aspekte zur Veredelung von Al-Si Legierungen, 43rd. Internationaler Giessereikongress, Bucuresti, Romania, 5-10 IX 1976, 25
- [4] Luis Martin Leandro, Ferreira Rodriguez Serafin: Permanent modification of the Al-Si eutectic and near-eutectic alloys, 43rd. International Foundry Congress, Bucuresti, Romania, 5-10 IX 1976, 5
- [5] Dr Gácsi Zoltán: Fémötvözetek hőkezelése (diasor)
- [6] Gergely Gréta – Gácsi Zoltán: Az alumínium-szilícium eutektikum módosítási mechanizmusa
- [7] Major, J. F.: A Study of ultra-low growth rates of the effects of chemical additons on the solid/liquid interface of the Al/Si interface. 1989, University of Toronto
- [8] Tisza Miklós – Anyagvizsgálat – Miskolci Egyetemi Kiadó, 2001
- [9] Aluminium Taschenbuch, Düsseldorf (1996)
- [10] Alumínium kézikönyv pp. 433-458
- [11] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509308000154>
- [12] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509308000154>