

INTÉZMÉNYI TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2022. november 23.

**Thermo King SLX hűtőegység villanymotor házának az
anyagvizsgálata**

**The material analysis of the housing of the electric motor of the Thermo
King SLX cooling unit**

Készítette: Baranyi Tamás
TQ2Y12
Gépészmérnök, alapképzés
Levelező tagozat
Szent István Campus

Témavezető: Dr. Kári-Horváth Attila egyetemi docens
MATE Szent István Campus
Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok
Tanszék

Lehetséges OTDK szekció: Műszaki Tudományi Szekció

**Gödöllő
2022.**

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Cégbemutató.....	2
3. Szakirodalom feldolgozása.....	3
3.1. Alumínium.....	3
3.1.1. Színalumínium.....	3
3.1.2. Alumínium ötvözetek.....	4
3.1.3. Öntészeti alumínium ötvözetek.....	6
3.2. Öntés.....	8
3.2.1. Fémöntés.....	8
3.2.2. Gravitációs kokillaöntés.....	11
3.3. Alumínium ötvözetek hőkezelése.....	15
3.3.1. T6 hőkezelés folyamata.....	16
3.4. Anyagvizsgálatok.....	17
3.4.1. Kémiai összetétel vizsgálata spektroszkóppal.....	19
3.4.2. Brinell-keménységmérési eljárás.....	20
3.4.3. Szakítóvizsgálat.....	22
4. Probléma bemutatása.....	27
5. Vizsgálatok elvégzése.....	30
5.1. AlSi12.....	30
5.1.1. Színképelemzés.....	31
5.1.2. Keménységmérés, Brinell-keménységmérési eljárással.....	34
5.1.3. A szakítószilárdság és a nyúlás mérése, szakítóvizsgálattal.....	36
5.2. AlSi10Mg.....	39
5.2.1. Színképelemzés.....	40
5.2.2. Keménységmérés, Brinell-keménységmérési eljárással.....	42
5.2.3. A szakítószilárdság és a nyúlás mérése, szakítóvizsgálattal.....	44
6. Eredmények értékelése.....	46
7. Összefoglalás.....	50
8. Irodalomjegyzék.....	52

1. Bevezetés

Az alumínium és annak különböző ötvözetei napjaink egyik közkedvelt műszaki alapanyaga. Tetszetős megjelenése, könnyű alakíthatósága, kis sűrűsége, súlyához képest kiváló szilárdsági mutatói tették széles körben felhasználhatóvá és a mindennapok termékévé. A korrózióval szembeni nagyfokú ellenálló képessége egyik legkedvezőbb tulajdonsága. A levegő oxigénjének hatására a felszínén szinte azonnal oxidréteg alakul ki, ami megvédi a további korróziós hatásoktól. Ezért az erősebb védelem érdekében ezt a védő oxidréteget mesterségesen is szokás vastagítani, amely eljárást eloxálásnak nevezzük. Leggyakoribb alkalmazási területei többek között a gépjárműipar, a mezőgazdaság, a csomagolóipar, az elektronika, a háztartási eszközök, a repüléstechnika és a sporteszközök világa. [1]/[26]

Az Eutekt Kft.-nél munkaköröm CNC programozó és gépésztechnikus és a CNC gépeken történő megmunkálás tervezése a fő feladatom. Az új termékek gyártástechnológiájának a tervezése, a megmunkálás egyes felfogásainak, felfogókészülékeinek tervezése és gyártása, gyártatása. Mérnöki feladatok elvégzésével folyamatosan bővülnek a tevékenységeim, jelen esetben is egy termék komplett anyagvizsgálatának teljes tervezése, lebonyolítása és értékelése a feladatom.

A dolgozatom célja, hogy egy mezőgazdasági szállításban használatos hűtőegység elektromos motor alkatrészét, a gravitációs öntéssel gyártott alumínium termék, az SLX motorház anyagtulajdonságait megvizsgáljam, összehasonlítsam és értékeljem. Erre azért van szükség, mert az éghajlat és a klímaváltozás szükségessé teszi hazánkban is a zöldségfélék hűtve szállítását a gazdaságokból a feldolgozóig, a raktárig, vagy a vevőig, és a hűtőegység gyakori meghibásodása miatt jelentős időkiesés és kapacitáshiány lép fel.

A termék vizsgálatának fő szempontja a mechanikai tulajdonság mérése és ezen eredmények összehasonlítása, értékelése a motorházzal szemben támasztott szilárdsági követelményeknek megfelelően. A dolgozatban ismertetem a problémát, áttekintem az ide vonatkozó szakirodalmat, elvégzem a mérések, összehasonlítom egymással és a szabványban előírt értékekkel, értékelem az adatokat, majd gazdasági elemzést végzek.

2. Cégbemutató

Eutekt Kft.

A Eutekt Kft. telephelye 3000, Hatvan Hegyalja u. 128, a fő tevékenységét itt végzi.

A cég 2003 óta működik, fő profilja alumínium kokillaöntészet, fémöntészet, CNC fémmegmunkálás, szerelés, hőkezelés és késztermékek gyártása a vevők megrendelése szerint. A cég 90-95%-ban exportra termel, főként a következő országokba szállít rendszeresen: Németország, (Bosch csoport, Argo Hytos GmbH, Spritzguss Müller GmbH, Parker Hannifin), Spanyolország (Alufase SA), Franciaország, (Schenker Storen FR, , ATX) Svédország (Rosemount Tank Radar), Románia (ATX SA, Mecanor Rumania Srl), Ausztria (Wittman) maradék 5-10 %-ot a belföldi vevők (Pl: Imi Kft, Alu Casting Kft, Tometh Kft, Bosch Miskolc) teszik ki.

Az Eutekt Kft kokillaöntőszerszámokból – ami nagyrészt a vevő tulajdonában van - állít elő termékeket a vevők részére alumínium alapanyagból. Döntő többségben a szerszámokat a cég saját szerszámüzemében, saját tervezés alapján gyártja le.

A termelés folyamata a fémöntéssel kezdődik, utána az öntött darabokról fűrészeléssel, csiszolással, reszeléssel a felesleges anyagot, sorját eltávolítják, a darabot kikészítik. Utána amennyiben szükséges a terméket speciális eljárással hőkezeljük. A termékeket ezután amennyiben szükséges CNC-vel megmunkáljuk, saját összeszerelő üzemünkben összeszereljük, továbbá adott esetben beszállító által eloxáltatjuk/chromátoztatjuk (Unikorn Kft) illetve festetjük (Romand Bt.)

A termékeknek szigorú minőségi követelményeknek kell megfelelnie, amit saját laborunkban a szükséges eszközökkel és megfelelő szakembergárdával oldunk meg. Segítségre vannak a következő eszközök: röntgengép, spektrométer, keménységmérő, szakítógépp, 3D mérőgépp. Cégünknek ISO 9001:2015-s tanúsítványa van.

Az öntőszerszámok tervezése, a CNC gyártástechnológia, a mérés tervezése, illetve a szerszámgyártás egy részlegén összpontosul.

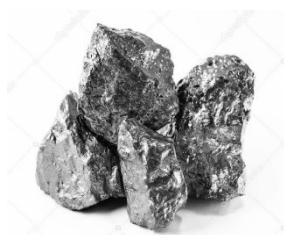
3. Szakirodalom feldolgozása

3.1. Alumínium

Az alumínium a könnyűfémek csoportjába tartozik, felhasználás szempontjából a legfontosabb könnyűfém. A magyar ipar szempontjából különösen nagy jelentőségű, mivel érce, a bauxit az egyetlen fémes érc, amely ma is jelentős mennyiségben fordul elő. Két lépésben történik az előállítás: a bauxitból vegyi tisztítással nyerik a timföldet (Al_2O_3), amelyből ezután 1000°C -on végzett elektrolízissel állítják elő a kohóalumíniumot, amelynek a tisztasága 99-99,7 %. [31]

3.1.1. Színalumínium

Az iparban felhasznált legtisztább alumínium az ún. „négy kilences Al”, amelynek alumínium tartalma 99,99 % (3.1. ábra). [2]



3.1. ábra Színalumínium

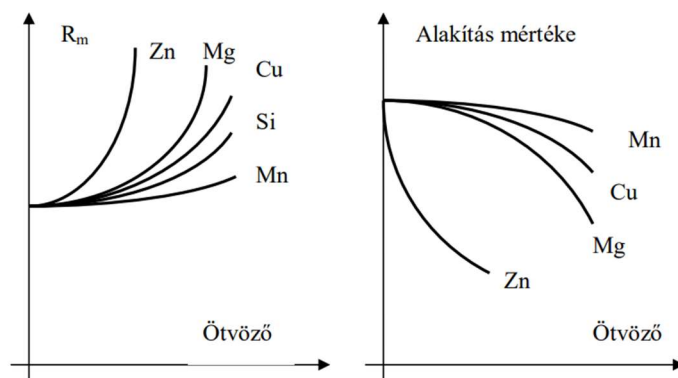
Ezt a kohóalumíniumból ismételt elektrolízissel nyerik. Kétszer annyi energia szükséges az előállításához, mint a kohóalumínium esetében, ezért csak olyan esetekben használják, amikor a nagy tisztaság fontos követelmény. A nagy tisztaságú alumíniumnak az arany és az ezüst után a legjobb a villamos vezetőképessége, ezért elektromos vezetékek anyagaként általánosan használják. A vezetőképesség az ötvöző tartalom arányával, az ötvöző anyagától függően lineárisan vagy négyzetesen romlik, ezért van szükség elektromosságban a nagy tisztaságú alumíniumra. [3]/[34]

A tulajdonságok közül kiemelkedik a korrózióállósága, amelyet a felületen képződő, magas olvadáspontú, jól tapadó és kémiai hatásoknak jól ellenálló oxidhártya (Al_2O_3) indokol. A korrózióállóság egyes ötvözők hatására (Cu) romlik, mert a felületét érő elektrolit hatására helyi galvánelem alakul ki. [6]/[9]/[26]

Az alumínium felületen középpontos, köbös rendszerben kristályosodik, ezért képlékeny alakíthatósága jó, mivel több csúszásra alkalmas (nagy atomsűrűségű) kristálytani síkja van. Nyúlása közel 50 %-kal nagyobb, mint a lágyacélé. Sűrűsége az acélokhöz képest kicsi: $2,7 \text{ kg/dm}^3$. Alacsony az olvadáspontja ($660 \text{ }^\circ\text{C}$), amely az öntészeti technológiáknál előnyös. Jó hővezető. Szilárdsága ugyanakkor rendkívül kicsi: folyáshatára, szakítószilárdsága és keménysége a lágyacélénak alig egynegyede, emiatt (valamint a magasabb ár miatt is) a szerkezeti anyagok között csak akkor lehet versenyképes, ha szilárdságát ötvözással javítjuk.[24]/[34]/[38]/[39]

3.1.2. Alumínium ötvözetek

A technikai tisztaságú alumínium 99,9 - 99,999 % Al-t tartalmaz. A jelenlévő kismennyiségű szennyezők azonban az alumínium tulajdonságait nagy mértékben befolyásolják. Általános felhasználású alumínium Al 99,6 % és Al 99 % nagy tisztaságú, amely lehet 80 MPa (lágy) és 140 MPa (kemény) szakítószilárdsággal. Ötvözökkel jelentősen lehet módosítani az alumínium tulajdonságait, amelyet jól szemléltet a 3.2. ábra.[12]/[18]/[21]



3.2. ábra Ötvözök hatása alumíniumnál

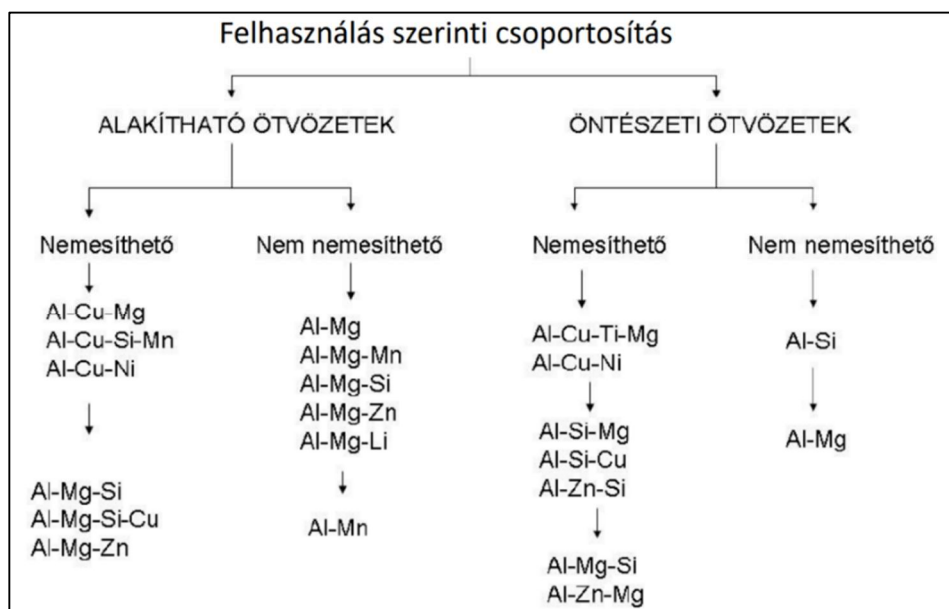
Hatásuk szerint az alumínium ötvözőket az alábbi fő csoportokba soroljuk:

- Szilárdságnövelő ötvözők: Cu, Mg, Si
- Korrozioállóságot fokozó ötvözők: Mn, Sb
- Szemcsefinomító ötvözők: Ti, Cr, Sr
- Hőszilárdságot növelő ötvöző: Ni
- Forgácsolhatóságot javító ötvözők: Co, Fe, Bi

Az ötvözőelemekkel az alumínium a Si, Bi, Cd és Zn kivételével kemény, rideg fémes vegyületet alkot, pl. Al_2Cu , Al_3Mg_2 , Al_3Fe . Az ötvözők egymással is képezhetnek vegyületet. Egyes ötvözők bizonyos esetekben gondosan kerülendő szennyezők is lehetnek. Legjobb példa erre a Cu, amely a legnagyobb szilárdságra nemesíthető Al-Cu-Mg ötvözetek fő ötvözője, a korrózióálló Al-Mg ötvözeteknek pedig a legveszedelmesebb szennyezője. Mindig szennyező az Al-oxid-ban kötött oxigén és az olvasztás közben elnyelt hidrogén. [13]/[14]/[18]

Az alumínium a legtöbb ötvözővel szilárd oldatot képez, az oldás mindig korlátos. A legjellemzőbb szilárd oldatok oldhatósági korlátjai: a Zn esetében 70 % (eutektikum olvadáspontján: 4000 °C-on), a Mg esetében 17 % (4500 °C-on), a Cu esetében 5,7 % (az eutektikum olvadáspontján), a Si esetében 1,65 % (az eutektikum olv.pontján). [4]/[20]/[30]

Az alumínium ötvözeteket a felhasználás szerint két fő csoportba sorolhatjuk (3.3. ábra). Az egyik csoport az alakítható ötvözetek, a másik csoport pedig az öntésre alkalmas ötvözetek. Mindkét csoport két részre osztható, az egyik a hőkezeltető a másik a nem hőkezeltető ötvözetek csoportja. Ezek közül választható ki a célra megfelelő ötvözet. [7]/[8]



3.3. ábra Az alumínium ötvözetek csoportosítása

Az alakítható alumíniumötvözetek jól alakíthatók hidegen és melegen, az alakítás során az alakadáson kívül a szövetszerkezet finomítása és a szilárdság növekedése is megtörténik. [11]/[23]

A jellemző ötvözetípusok:

- Al-Mg, Al-Mn kétalkotós,
- Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg háromalkotós
- Al-Zn-Mg-Ti négyalkotós ötvözetek,

Az alakítható Al-Mg ötvözetek Mg-tartalma általában kisebb, mint a hasonló önthető ötvözeteké. Jól alakíthatók, fényezhetők, eloxálhatók és hegeszthetők, korrózióállóságuk is kiváló. Az építőiparban, járműiparban és élelmiszeriparban használják. Az Al-Mg ötvözethez Si-t adagolva az ötvözet nemesítővé válik az alumíniumban korlátlanul oldódó Mg_2Si vegyület hatására. Az AlMgSiE a fajlagos villamos vezetőképessége okán a villamos iparban vezetékhelyként alkalmaznak. Az Al-Mg-Zn-Ti ötvözetek fő alkotói korlátozottan oldódnak az alumíniumban, az ötvözetek szilárdsága hőkezeléssel nagy mértékben növelhető, azonban korrózióra és bemetszésre érzékeny. [7][18][22]

3.1.3. Öntészeti alumínium ötvözetek

A könnyűfémöntvényeket az öntési módjuk szerint is lehet csoportosítani, így megkülönböztetünk:

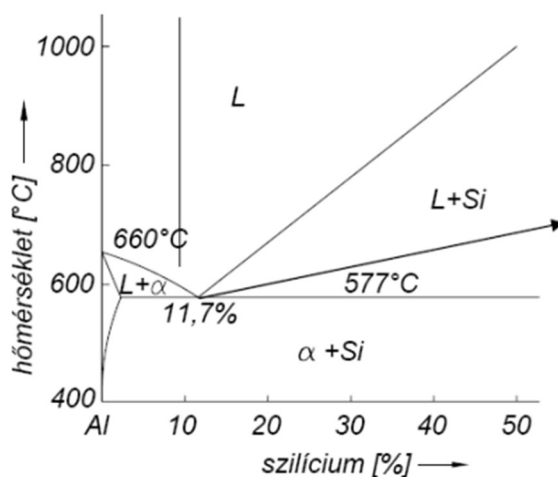
- I. gravitációs öntéssel - elveszőformába (szervetlen vagy szerves kötőanyag felhasználásával készített kvarc bázisú formázókeverékből készített formába lehet önteni) - tartósformába (pl. fémkokillába, grafitkokillába, stb. öntött öntvények) kokilla öntvények
- II. nyomásos öntéssel - alacsony nyomású öntéssel, vagy - hidegkamrás ill. melegkamrás nyomásos öntéssel, de készülnek könnyűfém öntvények, centrifugál öntéssel, folyamatos öntéssel, precíziós öntéssel stb...

Öntészeti alumínium ötvözetek

- Si csoport
 - Az eutektikus ötvözetek 12 %-Si tartalommal jól önthetők
 - Mg tartalommal nemesíthető
 - kokilla öntésre használható

- Mg bázisú csoport
 - ALMg3-7 korrózióálló ötvözet
- Cu bázisú csoport
 - Nem hajlamos lunkerképződésre
- Dugattyú ötvözetek
 - rézbázisú (amerikai)
 - szilíciumbázisú (min. HBW 80, 200 – 300 °C hőszilárdak)

Az öntészeti alumínium ötvözetek között legkiválóbb a szilumincsoport. Ide tartoznak az Al-Si és az Al-Si-Mg ötvözetek. Mindkét típus az Al-Si eutektikus (12 % Si) ötvözete, így hőfokon szilárdul (578 °C), kicsi a zsugorodása. Az öntészeti alumíniumok alapja az Al-Si eutektikus rendszer, a legtöbb öntészeti Al- ötvözet Si-tartalma az eutektikus összetételhez közeli. Az Al-Si rendszeren (3.4. ábra) alapuló terner Al-Si-Mg ötvözetek kiválóan keményíthetők. Önthetőségük a szilícium tartalom csökkenésével romlik. Az Al-Si-Cu ötvözetek szintén kiválóan keményíthetők. Az önthetőségük csökkenő Si és növekvő Cu tartalommal romlik. Nemesített állapotban a folyáshatáruk az $R_{p0,2}=200$ MPa értéket is eléri.[4][15][19][28]



3.4. ábra Az Al-Si rendszer egyensúlyi fázisdiagramjának részlete [35]

A magnéziumos csoport öntészeti szempontból rosszabbak, de forgácsolással jól megmunkálhatók, kifejezetten korrózióállóak és a szilárdsági jellemzőik is jók, amelyek még kis mennyiségű Ti-nal és Mn-nal javíthatók. A hydronálum néven is ismert ötvözetek 3-, 5-, 7 %

Mg tartalommal a leg korrózióállóbbak, ezért agresszív közegben használatos kisebb alkatrészek gyártására jól használhatók. Öntészeti alumínium ötvözetek.

A rezes csoportba tartozó ötvözetek híg folyóssága nagy, ezért az öntvények lunkermentesek. Jó hővezetők és hőállóak, de egyes ötvözetek hajlamosak a ridegtörésre, amit hőkezeléssel lehet kiküszöbölni. A hőszilárdságot Ni hozzáadásával lehet fokozni. Ez az ún. Y-ötvözet, amelyből belsőégésű motorok hengerfejeit és dugattyúit öntik. A forgácsolhatóság javítható 0,2 % Si és 0,3 % Mg hozzáadásával. [2][4][15][26][41]

Öntészeti alumínium ötvözetek közös jellemzőjük:

- alacsony olvadáspont,
- híg folyósak,
- korrózióállóak,
- legtöbb jól hőkezelhető [1]

3.2. Öntés

3.2.1. Fémöntés

Az öntés alapelve szerint a megolvasztott fémeket egy megfelelően kialakított üregbe öntik, a fém felveszi az üreg alakját, majd hagyják megdermedni. Segítségével a legnagyobb szabadsági fokú és legbonyolultabb alakú termékek állíthatók elő.

Az öntészet az 1700-as évekig kézművesség volt, főleg ékszerek, gyertyatartók, kelyhek, tálak, medencék, szobrok és fegyverek készültek öntött kivitelben. a legnehezebb öntvények a harangok, az ágyúk és a különböző épületdíszek voltak.

Az ipari forradalom idejétől az öntészetet a mezőgazdasági gépek, a malomipari berendezések, az épületgépészeti szerelvények és egyéb gépalkatrészek gyártására kezdték használni. A hazai nagyipari öntészet az 1867-es kiegyezést követően alakult ki. Legelső öntödénk a MÁVAG Öntöde (1868), a Diósgyőri Vasgyár Öntödéje (1884) és a Weiss Manfréd Művek Csepeli Öntödéje (1895) voltak. Ezeken a kor legmagasabb technikai színvonalán folyt a termelés.

A különböző öntészeti technológiák nagymértékben eltérnek egymástól a gyártási költségek, a termelékenység, az önthető munkadarab súlya, mérete, pontossága, az öntvény

felületi minősége, az adott eljárással elkészíthető minimális falvastagság, és az elkészített öntvény megmunkálhatósága szempontjából. [7]/[22]/[26]

Az öntésnél alkalmazott alapanyagok:

- Nyersvasnak, azt a vas-szén ötvözetet nevezzük, amelyet vasércből nagyolvasztóban (kohóban) állítanak elő. Ennek széntartalma 2,06 - 6,67 % között változhat, napjainkban ez az érték 3,5 - 4,5 % közé esik.
- A vas-szén ötvözetet, ha öntészeti célra használják, öntöttvasnak nevezik. Ennek széntartalma elvileg 2,06 - 6,67 % között változhat, de technológiai szempontból az eutektikus összetétel a legkedvezőbb.
- Lemezgrafitos öntöttvas (GG), vagy szürkevas.
- Gömbgrafitos öntöttvas (GGG).
- Temperöntvények (fehér GTW, fekete GTS), fehér öntöttvasból öntött, temperálással hőkezelt öntöttvasak.
- Acélöntvények (GS) azok a munkadarabok, amelyek alakjukat folyékony acélnak formába való öntésével kapják meg. Az acél általában 2 %-nál kisebb karbontartalmú, képlékenyen alakítható vasötvözet.
- Alumínium és ötvözetek
- Réz és ötvözetek [2]

A gép- és járműipar, a műszeripar stb. öntvény mennyisége óriási, így a világ fémfelhasználásának mintegy 30 - 35 % -át az öntvények jelentik. Napjaink jellemzője a mennyiségi szemlélet háttérbe szorulása, első helyen az anyagtakarékos, jó minőségű öntvények gyártására való törekvés áll. Ennek jegyében kerül sor elsősorban az öntvények falvastagságának és tömegének csökkentésére, korszerű gyártási rendszerek bevezetésére, a késztermék méreteit megközelítő öntvények gyártására. Fokozottan érvényesülnek a munkahelyi környezet javítására, a környezetvédelem biztosítására, a termelékenység növelésére irányuló erőfeszítések, amelyek a világpiacon mutatkozó alapanyag és energiahordozó ellátási nehézségekkel együtt a jövő szakembereitől is áldozatos munkát várnak. [11]/[28]/[30]

Fém tárgyak előállításában a nyersanyag és a késztermék közötti legrövidebb utat az öntés jelenti. Öntéssel az 1 g-ot el nem érőktől a több száz tonna tömegű öntvényekig különböző

gyártástechnológiákkal állíthatók elő alkatrészek, amelyek közül különösen a viaszmintás precíziós öntéssel gyártottak többnyire gépi megmunkálást nem, vagy csak igen kis mértékben igényelnek. Az öntéssel való alakítás jelentősége - a képlékeny alakítással, a forgácsolással, a porkohászattal összehasonlítva - a következő:

- bonyolult alakú, különböző méretű és tömegű félkész- vagy késztermék gyártható
- az öntvény sok esetben további gépi megmunkálás nélkül is felhasználható
- a megmunkálás során az eltávolítandó fém mennyisége kicsi (vasöntvénynél - 20 %, ez a szám hengerelt termékből való kialakítás esetén elérheti a 75 % -ot)
- a megmunkálási és egyéb hulladék átolvasztással újból felhasználható
- öntödék létesítési költségei általában kisebbek más fémalakító üzemeknél.

A munkafolyamatok első eleme a minta- és magszekrénykészítés, illetve a szerszám- vagy kokillakészítés. Míg a minták és magszekrények formák és magok (sorozat) gyártásra alkalmasak, addig a (nyomásöntő-) szerszámban vagy a kokillákban, mint állandó formákban, kész öntvények gyárthatók. A minták és magszekrények anyaga lehet fa, műanyag, öntöttvas, sárgaréz vörösréz, bronz, acél, a szerszámokat és kokillákat öntöttvasból, különböző ötvözt (melegalakító szerszámacél) acélokból gyártják.

A minta az öntvény pozitív mása, amelynek méreteit a dermedő fém zsugorodásának figyelembevételével határozzák meg. Az öntvényben lévő üregek kialakítására magokat alkalmaznak, amelyeket a formákba a minták segítségével kialakított csonka kúp kiképzésű magfészekbe magjeleikkel rögzítenek.

A kész minták felhasználásával kerül sor a formázásra a magszekrényekben elkészítik a magokat. Ezekben a munkafolyamatokban, hazánkban többnyire különböző kötőanyagokat tartalmazó kvarchomok-keverékeket használnak fel. A formákba (szükség esetén) berakják a magokat, majd következik az összerakás, az öntésre való előkészítés és a beömlőrendszer segítségével megtörténik az öntés.

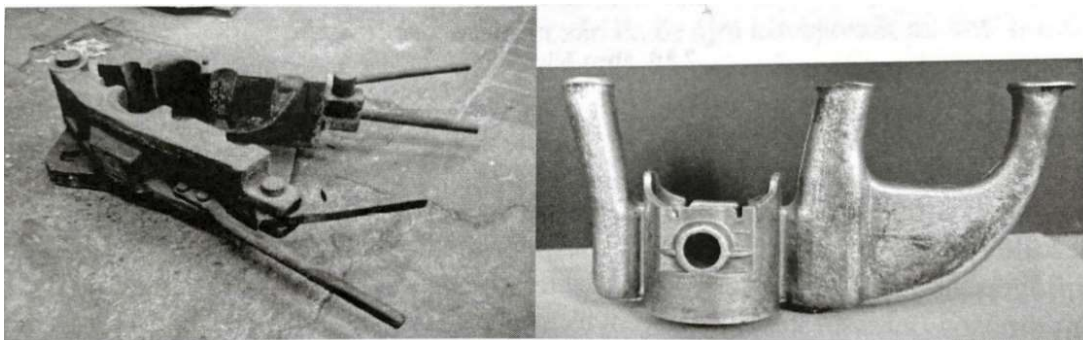
A lehűlt, megdermedt öntvényeket a homokformából ürítik, a formázókeveréket megfelelő előkészítés után forma- és magkészítésre a fémes hulladékot betétanyagként az olvasztáshoz juttatják vissza. Az öntvényeket tisztítják, szükség szerint javítják, hőkezelésnek vetik alá (ha szükséges), ellenőrzik és a gyártástechnológia utolsó fázisában megjelenik a kész öntvény.

[4][6][7][18][23]

3.2.2. Gravitációs kokillaöntés

A kokillaöntésnek azt a formáját, amelynél a folyékony fém a gravitáció segítségével tölti ki a kokillát, gravitációs kokillaöntésnek nevezik. Ezt a kokillaöntési módszert elterjedten használták Európában már a XV. században, amikor a különböző kupákat, kelyheket, tálakat, edényeket ezzel a módszerrel öntötték.

Napjainkban elsősorban alumínium, magnézium, és rézötvözetek öntvényeinek készítésére használatos a gravitációs kokillaöntés. A 3.5. ábrán egy alumínium dugattyú és a gravitációs öntőkokillája látható, amelynél a beömlőrendszer és a formaüreg feltöltése folyékony fémmel egyszerűen a gravitáció segítségével történik. A kokilla két félből áll, függőleges osztósíkkal. A középső dugattyúüreget egy három részre osztott mag alakítja ki. A mag részekre osztását a mag kivehetősége érdekében kell elvégezni. A dugattyúcsap furatát két darab, oldalról benyúló és az öntés után kivehető csap alakítja ki.



3.5. ábra Alumínium dugattyú gravitációs öntőkokillája és az elkészült munkadarab

A gravitációs kokillákat és a magokat forgácsolással készítik el. A kokillák célszerű falvastagsága az elkészítendő öntvény anyagától függ. Bonyolult alakú és változó keresztmetszetű öntvények öntésére használatos kokillákba helyi hűtést, illetve helyi hevítést is be szoktak építeni, hogy irányított dermedést valósíthassanak meg.

A gravitációs kokillák beömlőrendszere ún. szabad áramlású rendszer, ami azt jelenti, hogy a beömlőcsatorna keresztmetszete folyamatosan növekszik.

A kokillaüregben lévő levegő elvezetésére 1 - 3 mm-es csatornákat alakítanak ki. A kokillákban készítendő öntvényt úgy célszerű tervezni, hogy a falvastagság a beömlés helyétől távolodva csökkenjen. Az öntvény méreteit a zsugorodással módosított üregméretekkel kell a kokillába belemunkálni.

Gravitációs kokillaöntés előnyei a homokformába öntéssel szemben a következők:

- pontosabb méret (kisebb öntvény súly, kevesebb forgácsolási költség)
- jobb felületi minőség
- nagyobb termelékenység
- magasabb öntvény szilárdság (a gyorsabb dermedés miatt finomabb anyagszerkezet, kisebb szemcseméret).

A költségesebb forma és mag miatt a kokillaöntés csak megfelelő sorozatnagyság esetén gazdaságos. [1][7][18][34][36]

Az alumínium kokillaöntészetben leggyakrabban használt anyagok AlSi7Mg , AlSi10Mg , AlSi12 , AlMg3 . A kokilla öntés előnye a prés öntvénnel szemben, hogy az anyag tömörsége, mechanikai tulajdonságai jobbak. Hátránya a méret tartás. Az öntés tűrése sokkal nagyobb. Valamint másik nagy előnye, hogy a darabok súlya széles skálán mozog. Az öntvények tömege 0,01 kg-tól akár 50 kg-ig is terjedhet. Az ötvözetek előnyös öntéstechnikai tulajdonsága miatt egyaránt alkalmasak homok és kokilla öntésre. Korrozóállósága jó. Hőkezelésével jó keménységi értékek érhetők el. Jól forgácsolható. Dinamikus terhelésnek ellenáll, nyomásálló, nagy szilárdságú és szívós.

A gravitációs kokillákat és a magokat forgácsolással készítik el. A kokillák célszerű falvastagsága az elkészítendő öntvény anyagától függ: alumínium és ötvözeténél 2-5x öntvény falvastagsággal, horgany-, és rézötvözeteknél 1,2-3x öntvény falvastagsággal tervezendő. A magnéziumötvözetek öntésénél a kokilla falvastagsága általában 12-15 mm-re választandó. Bonyolult alakú és változó keresztmetszetű öntvények öntésére használatos kokillákba helyi hűtést, illetve helyi hevítést is be szoktak építeni, hogy irányított dermedést valósíthassanak meg. A gravitációs kokillák beömlőrendszere ún. szabad áramlású rendszer, ami azt jelenti, hogy a beömlőcsatorna keresztmetszete folyamatosan növekszik. A kokillaüregben lévő levegő elvezetésére 1-3 mm-es csatornákat alakítanak ki. A kokillákban készítendő öntvényt úgy célszerű tervezni, hogy a falvastagság a beömlés helyétől távolodva csökkenjen. Ezzel érhető el, hogy a közbelső helyek nem dermednek meg a hűlés során és a beömlőrendszer a zsugorodáskor után tudja táplálni folyékony fémme. Az öntvény méreteit a zsugorodással módosított üregméretekkel kell a kokillába belemunkálni. A mag és az öntvény kivehetősége érdekében a merőleges felületeket 0,5 - 2 fokos oldalferdeséggel kell elkészíteni.

A kokillákat minden öntési művelet előtt tisztítani kell, és az üregeket és a magokat felületi bevonóanyaggal (kokillamázzal) be kell vonni. Ezzel csökkenteni lehet a felületek kopását, szabályozni lehet a hőelvonást és meg lehet akadályozni az öntvények feltapadását valamint a kokillamáz hosszabb élettartamúvá teszi az öntőszerszámot. [25]/[30]/[37]

A kokillaöntésnél gázüzemű olvasztó tégelyben kerül az alumínium megolvasztása (3.6. ábra). Sorozatgyártásnál a minőség biztosítása érdekében EN ISO 1706:2010 szabvány szerinti primer alumínium tömböt használnak, különböző minőségben (pl.: AlSi7Mg, AlSi12).



3.6. ábra Alumínium olvasztása gázüzemű olvasztótégelyben

Az alumínium ideális öntési hőmérséklete általában 700-800 °C. 800 °C fölé sok esetben azért nem célszerű menni, mert a környezetből a hidrogén gázok bekerülnek a folyékony fémbe. Ez a gáz nem megfelelő, a darabban apró tűszúrásnyi porozitások jelennek meg.

A kokilla optimális hőmérséklete az öntés során 300-350 °C, ezt gázégővel melegítjük fel az öntés megkezdése előtt (3.7. ábra), az öntés közben pedig az olvadt alumínium temperálja (3.8. ábra)



3.7. ábra Öntőszerszám melegítése



3.8. ábra Alumínium gravitációs öntése

A folyékony fémeket a kezelőanyagokkal előbb gáztalanítjuk, szemcsefinomítjuk majd nemesítjük. A gáztalanítás legolcsóbb és legideálisabb módja, tiszta nitrogén gázzal átjártatni egy grafit szondán keresztül a teljes tégely tartalmát (10-15 percen át).

A kokillát minden öntés során formaleválasztó anyaggal kell bevonni. Ellenkező esetben a dermedt alumíniumot nem tudjuk a vasról ideálisan leválasztani. A kritikus részeket jobban szigetelő (általában világosabb, fehér színű) formaleválasztóval kell ellátni. A szigetelőanyagnál az alumínium tovább „él” ezért a táplálás jobb lesz, kevésbé porózus a darab. A többi részt sötétebb, szürkés színű, grafitos formaleválasztóval kell megfűjni. A grafitos formaleválasztót a könnyebb szétválasztás miatt is használjuk. Könnyebben „csúszik” az alumínium rajta. [7]/[23]/[25]/[30]/[35]

A darabot öntés után fűrészeljük, sorjáltlanítjuk, hőkezeljük és előkészítjük a következő munkafolyamatra, felületkezelésre, megmunkálásra, csomagolásra.

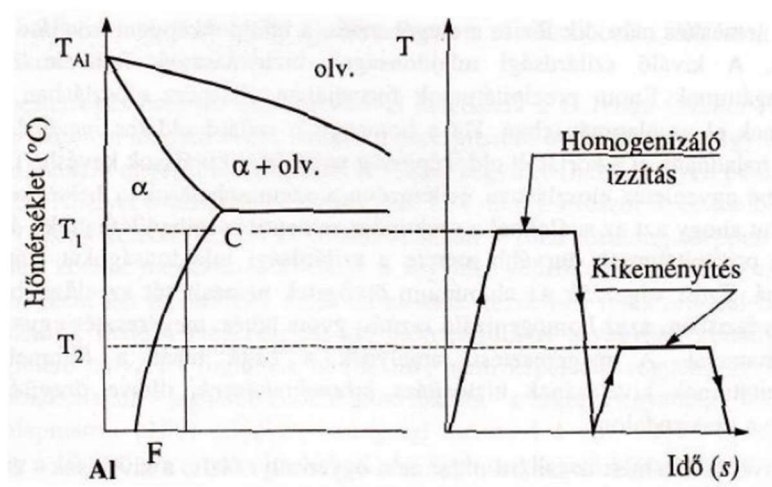
A kokillákat már többnyire nem kézzel, hanem pneumatikával, vagy hidraulikával mozgatják, zárják. A nagy tömegük, vagy a termelékenység növelése érdekében, így a vezetőikkel biztosított mozgás pontossága is növekszik. Az öntőszerszámokat, kokillákat hidraulikus állványra szerelik és azzal végzik a szerszámfelek, dugók, betétek mozgatását, így akár hat oldalról is nyithatóvá válik a szerszám, növelve ezzel bonyolultabb öntvények gyárthatóságát. A 3.9. ábrán látható állványon hidraulika segítségével a szerszám vízszintesen négy oldalról nyitható és még az alsó és felső dugó is hidraulikus mozgatású. [6]/[33]



3.9. ábra Hidraulikus öntőállvány

3.3. Alumínium ötvözetek hőkezelése

Az alumínium ötvözetek jellegzetes hőkezelése a nemesítés, amelynek célja az alumínium ötvözet szilárdságának növelése finom eloszlású kiválások biztosításával. A nemesítés tehát olyan kiválások keményítő hőkezelés, amelynek eredményeként a jól alakítható α -szilárd oldatos mátrixban diszperzen eloszlások keletkeznek. Ezen kiválások az acéloknál tanult módon, a diszlokációk mozgásának akadályozásával, a kiválások keményedési mechanizmussal növelik a szilárdságot. A kiválások keményítés első lépése a homogén α -szilárd oldatot biztosító izzítás. Ennek célja a kiválások teljes feloldása annak érdekében, hogy a hőkezelés későbbi fázisában a legkedvezőbb szilárdsági tulajdonságot eredményező finom eloszlású kiválásokat biztosítani tudjuk. A homogén α -szilárd oldat biztosítása céljából ezért az ötvözetet a 3.10. ábrán T_1 -gyel jelölt hőmérsékletre (a korlátolt oldóképességet jelölő FC vonal fölé) hevítjük, és ott a homogén szilárd oldat kialakulásáig állandó hőmérsékleten 8 órán keresztül tartjuk. A T_1 hőmérsékletet a gyakorlatban az FC korlátolt oldhatósági vonal felett, de az eutektikus hőmérséklet alatt szokás megválasztani.[1]



3.10. ábra Al ötvözetek nemesítésének menete

A homogenizáló izzítást követően az ötvözetet gyorsan (pl. vízzel) szobahőmérsékletre hűtjük. A gyors hűtés célja a kiválások keletkezésének ebben a szakaszban való megakadályozása, a túltelített α -szilárd oldat létrehozása. A jelenség hasonlít az acélok edzésénél a túltelített ferrit kialakulásához. A következmény azonban az alumínium ötvözetek esetében alapvetően más: míg az acéloknál az α -szilárd oldatban bent rekedt karbon atomok feszítő hatása miatt a keletkező martenzit az acélok legkeményebb, legnagyobb szilárdságú

szöveteleme, az alumínium ötvözeteknél a gyors hűtéssel előállított tútelített α -szilárd oldat keménysége és szilárdsága a lágyított és a nemesített állapot közötti értéknek felel meg. A nemesítés második fázisa a megeresztés, a tulajdonképpeni kiválasos keményítés. A jó szilárdsági tulajdonságok biztosításának feltétele, hogy minél finomabb, diszperz eloszlásban keletkezzenek a kiválasok az alapmátrixban. Ha a homogén α -szilárd oldatos mezőből lassan hűtve haladnánk át a korlátolt oldhatósági vonalon, a kiválasok kevésbé finom és kevésbé egyenletes eloszlásban, jellemzően a szemcsehatároknál helyezkednének el. A durvább méretű kiválasok a szilárdsági tulajdonságokat rontanák. Tehát a megeresztés utáni hűtést is gyorsan kell végezni. A megeresztést kikeményítésnek, vagy öregítésnek is nevezi a szakirodalom.[22]/[33]/[35]

Mivel a tútelített α -szilárd oldat nem egyensúlyi fázis, a kiválasok keletkezése (ennek eredményeképpen a szilárdságnövekedés) egyes ötvözetekben hosszú idő alatt szobahőmérsékleten is bizonyos mértékben végbemegy, ezt a folyamatot természetes öregedésnek nevezzük. A természetes öregedéssel bekövetkező szilárdságnövekedés azonban rendkívül lassú, hónapokat, esetleg éveket igénylő folyamat, ezért a gyakorlatban a kikeményítést rendszerint a mesterséges öregítésnek nevezett, magasabb hőmérsékletű megeresztéssel végezzük. A megeresztés hőmérséklete T_2 a homogenizáló izzítás hőmérsékletének egyharmada hőmérsékleten több órán tartjuk, majd levegőn hűtjük le az öntvényt. Ez az oldó hőkezelés, majd mesterséges öregbítés (meleg kikeményítés). [4]/[33]

3.3.1. T6 hőkezelés folyamata

Az Al-Mg-Si és az Al-Si-Mg ötvözetek mesterségesen is öregednek, a hőkezelés folyamata T6-os szabvány (T6 szabvány: a nyers, vagy a megmunkált öntvényeket oldó hőkezelésnek vetik alá, gyorsan lehűtik és teljes mértékben mesterségesen öregítik (meleg kikeményítés)) szerint történik az alábbi paraméterekkel:

- Nemesítés / homogenizálás 530 °C-on 6 órán át. (rendeződnek a szövetszerkezetek)
- Gyors vízben hűtés kb. 15 percig (ebben az állapotban az alumínium öntvények még nagyon könnyen alakíthatóak, nagyon lágyak. Gyakori eset, hogy a gyártás ezen fázisában, az azt igénylő öntvényeket ilyenkor egyengetjük)
- Az alumínium öntvényeknél a mesterséges öregbítés során érhető el a megfelelő keménység, a mesterséges öregbítés 170-180 °C-on tartást jelent akár 6-12 órán át, majd szabad levegőn hűtjük.[4]/[6]/[33]

3.4. Anyagvizsgálatok

Az anyagvizsgálat az anyagok mechanikai, kémiai, fizikai jellemzőinek meghatározásával, az anyag szerkezetének vizsgálatával és a szerkezeti anyagok helyi hibáinak kimutatásával foglalkozik.

Az anyagvizsgálati eljárások célja:

- a tervezési alapadatok szolgáltatása,
- gyártás közti ellenőrzés,
- a műszaki gyakorlatban előforduló káresetek vizsgálata.

Anyagvizsgálat lehet

- Roncsolásos anyagvizsgálat
 - mechanikai szilárdsági vizsgálatok
 - technológiai próbák
 - kémiai vizsgálatok
 - fizikai vizsgálatok
 - fémtani vizsgálatok
- Roncsolásmentes anyagvizsgálat
 - vizuális vizsgálat,
 - mágneses repedésvizsgálat,
 - örvényáramos repedésvizsgálat,
 - jelzőfolyadékos repedésvizsgálat,
 - radiológiai vizsgálatok (röntgen- radioaktív izotópos),
 - ultrahangos vizsgálat,
 - mágneses hiszterézisen alapuló eljárás,
 - akusztikus emissziós vizsgálat.

Roncsolásmentes anyagvizsgálat: az alkatrész vagy szerkezet roncsolása nélkül vizsgálhatók a felületi, illetve az anyag belsejében lévő hibák. Ezért szokás ezeket az anyagvizsgálati módszereket hibakereső eljárásoknak is nevezni.[29]/[32]

A roncsolásos anyagvizsgálathoz próbatestet kell készíteni a vizsgálni kívánt anyagból. Az elkészített próbatestet az adott vizsgálati módszerrel legtöbbször a tönkremenetelig vizsgáljuk. A módszerből következik, hogy a vizsgálatok eredményei csak statisztikusan jellemzik az anyagot.

A mechanikai vizsgálatokkal az anyagok szilárdsági, törésmechanikai, kifáradási tulajdonságait határozzuk meg. A vizsgálatok közvetlenül felhasználható mérőszámokat, anyagi jellemzőket szolgáltatnak. A vizsgálat során törésig vagy nagymérvű alakváltozásig terheljük a próbatestet.

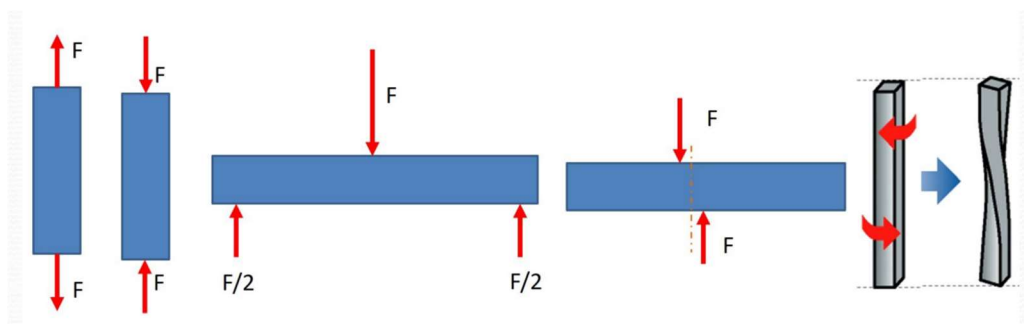
A szerkezeti elemekre ható terhelés jellegét tekintve lehet: statikus, dinamikus, fárasztó.

A feszültség az igénybevétel számszerű értéke az egységnyi felületre ható erő, az az a mechanikai feszültség. Ha a feszültség a felület elemre merőleges, akkor normál (σ) feszültségről, ha a felület síkjában hat, akkor csúsztató (τ) feszültségről beszélünk. Mértékegysége: N/mm^2 vagy MPa

Az igénybevételek összetettek és különbözőek. A szilárdsági számítások során ezeket az összetett igénybevételeket jól definiálható alapesetekre un. egyszerű igénybevételekre vezetjük vissza, és ezek szuperpozíciójaként értelmezzük a szerkezet terhelését. [32]/[36]

A szerkezeti anyagok a következő igénybevételeknek lehetnek kitéve (mechanikai igénybevételek) (3.11. ábra):

- Húzás,
- Nyomás,
- Hajlítás.
- Nyírás,
- Csavarás



3.11. ábra Mechanikai igénybevételek típusai

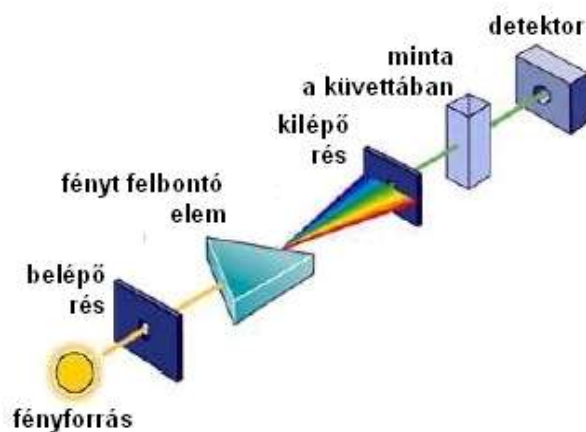
3.4.1. Kémiai összetétel vizsgálata spektroszkóppal

Valamely anyag által kibocsátott, visszavert vagy az anyagon áthaladó fénysugár (illetve ultraibolya vagy infravörös sugárzás) különböző hullámhosszú összetevői erősségének, intenzitásának mérése.

A spektrofotométer elvi felépítése

Az egyes elemek gőzei, illetve gázok és a híg oldatok az áteső fényből bizonyos hullámhosszokat elnyelnek, illetve forró állapotban ugyanezeket bocsátják ki. A színekpek előállításával és vizsgálatával foglalkozó tudományágat nevezik spektroszkópiának, színekpelemzésnek vagy spektrofotometriának.

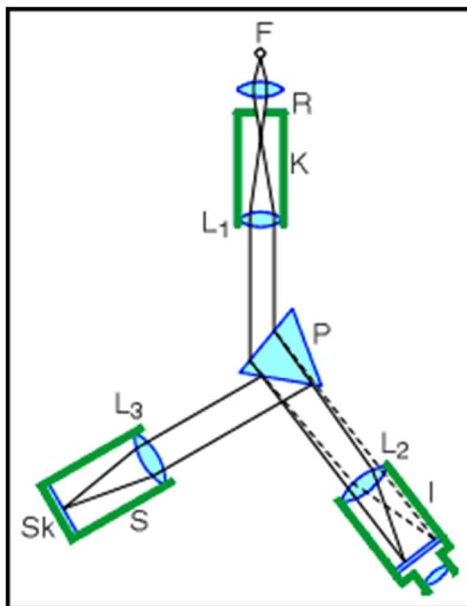
A színekpek pontosabb vizsgálatára alkalmas készüléket, a spektroszkópot két német fizikus, Kirchhoff és Bunsen készítette el. Amely működési vázlatát a 3.12. ábra szemléltet.



3.12. ábra A spektroszkóp működési vázlata

A spektroszkópban a vizsgálandó anyag fényét előbb gyűjtőlencsékkel (R, L_1) párhuzamossá teszik, majd egy résen keresztül prizma vagy optikai rácra ejtik.

Ez létrehozza a színeképet (3.13. ábra), amely egy távcső (I) okulárján keresztül szemlélhető. Ha a színeképre optikai módszerrel egy skálát is rávetítenek (Sk), a berendezés a hullámhosszok meghatározására is alkalmassá válik.



3.13. ábra A színeképelemzés optikai vázlata

Bár a színeképelemzés már a 19. század végén ismert módszer volt, a színeképek keletkezésének magyarázata csak az anyag szerkezetének mélyebb megértése után, a kvantummechanika megalapozásakor vált lehetségessé. A kvantummechanika „alapfeladatának”, a hidrogénatom színeképvonal-sorozatainak értelmezését először a Bohr-féle atommodell adta meg. Aszíneképelemzés a mai napig használatos anyagvizsgálati módszer, külön tudományág. [16]/[40]

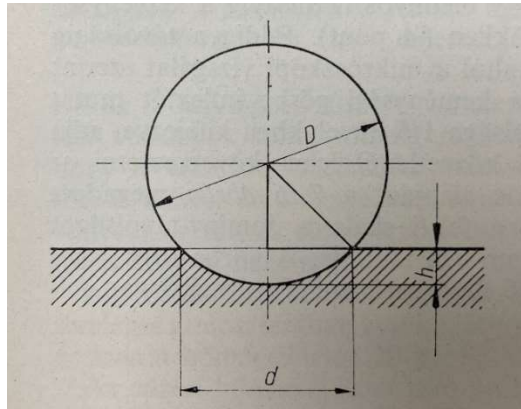
3.4.2. Brinell-keménységmérési eljárás

A keménységmérés legrégebbi és ma is elterjedt módszere a Brinell-keménységmérés, melynek elvi alapja a következő: egy adott átmérőjű golyót meghatározott erővel nyomva be a vizsgálandó tárgy felületébe, a golyó behatolási mélysége a tárgy keménységétől függ. Minél lágyabb az anyag, annál mélyebbre hatol be a golyó, és megfordítva. A keménység számszerű jellemzése a benyomáshoz használt erő és a lenyomatként keletkezett gömbsüveg felületének viszonyát szokás alkalmazni.

Ezek szerint a Brinell-keménység

$$HB = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h}$$

ahol D a golyó átmérője, h pedig a benyomódás mélysége (3.14. ábra). A h értékét méréssel meghatározni igen nehézkes, ezért célszerűbb a lenyomat átmérőjét mérni és a h -t számítással meghatározni.



3.14. ábra A Brinell-vizsgálat elvi vázlata

A h értékének helyettesítése után

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{2 \cdot 0,102 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

HB: Brinell-keménység [N/mm²]

F: a terhelő erő [N] 1 N $\approx$ 0,102 kp

A: a benyomódás, gömbsüveg felülete [mm²]

D: a terhelő golyó átmérője [mm]

d: a lenyomat átmérője [mm]

A Brinell-keménység jele: HB, de előfordul még HBW (keménységű anyagokra utal), vagy HBS (acélgolyóra utal). [5]/[19]

A Brinell módszernél a keménység terhelés függő. Különböző keménységű anyagoknál a terhelőanyagnál, a terhelőerőt a lenyomat-átmérőfüggvényében szükséges meghatározni. A lenyomat-átmérő, és az alkalmazott vizsgálógolyó átmérő közötti összefüggés:

$$0,24 \cdot D \leq d < 0,6 \cdot D$$

A mérőerő nagysága [N] pedig:

$$F = 9,80665K \cdot D^2$$

K : terhelési tényező [N/mm²] (3.1. táblázat)

3.1. táblázat Brinell-keménységmérés beállításának adatai

D [mm]	terhelés F [N] [(kp)]				
	K=30	K=10	K=5	K=2,5	K=1
10	29430 (3000)	9800 (1000)	4900 (500)	2450 (100)	980 (100)
5	7355 (750)	2450 (250)	1225 (125)	613 (62,5)	245 (25)
2,5	1840 (187,5)	613 (62,5)	306,5 (31,2)	153,2 (15,6)	61,5 (6,2)
2	1176 (120)	392 (40)	196 (20)	98 (10)	39,2 (4)
1	249 (30)	98 (10)	49 (5)	24,5 (2,5)	9,8 (1)

Vonatkozó szabványok: MSZ EN ISO 6506-1:2006

Öntött alumínium ötvözeteknél $D=2,5$ mm acél mérőgolyót használunk és $K=10$ N/mm² terhelési tényezővel, így a terhelési erő $F=613$ N (62,5 kp), mellyel 10 s-ig nyomjuk a vizsgálandó anyagot. [8]/[10]

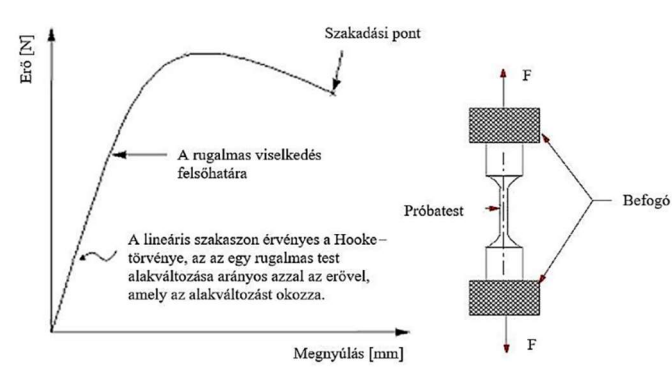
3.4.3. Szakítóvizsgálat

A szakítóvizsgálat az egyik legrégebbi és ma is leggyakoribb roncsolásos anyagvizsgáló eljárás.

A vizsgálat folyamatában az anyagra húzó igénybevétel hat, miközben az anyag megnyúlik, majd elszakad. Az anyagra ható húzó-, szakítóerőből és a hatására létrejövő alakváltozásokból következtetni lehet az anyag tulajdonságaira.

A szakítóvizsgálat célja az anyagok húzó igénybevétellel szembeni viselkedésének vizsgálata, a szilárdsági és képlékenységi jellemzőinek meghatározása. A szakítógéppel a vizsgálandó

anyagból készített szabványos próbatestet állandó, kis sebességgel húzva elszakítjuk, miközben mérjük a próbatest megnyúlását (3.15. ábra).

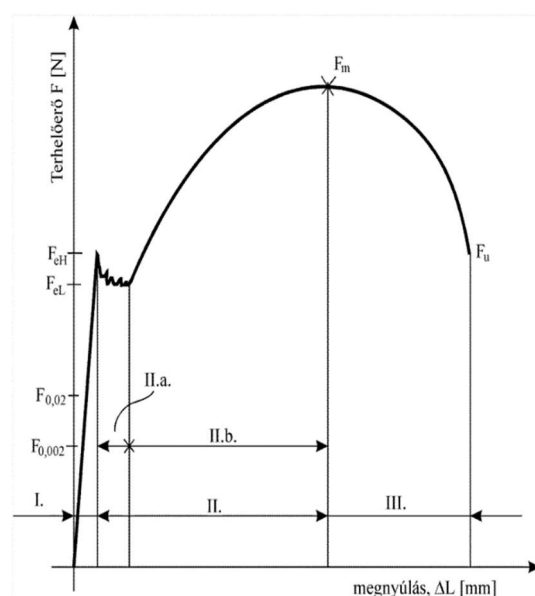


3.15. ábra Szakítódigram és próbatest

A próbatest alakját és méreteit, valamint a vizsgálat menetét a szabvány előírásai határozzák meg. Ez lehetővé teszi, hogy a vizsgálatot azonos körülmények között megismételjük és ellenőrizzük az első vizsgálat eredményeit.

A szakítógép létrehozza és méri a húzóerőt, valamint méri az erő hatására létrejövő megnyúlást. A próbatest befogása után működésbe hozzák a szakítógépet és megkezdődik a próbatest húzó igénybevétele. A szakítógép diagramon ábrázolja a vizsgálat közben fellépő erőt és a próbatest megnyúlását. A diagram a vízszintes tengelyen a ΔL megnyúlást, a függőleges tengelyen a megnyúlást létrehozó F erőt tünteti fel. [3]/[5]

- A szakítódigram I. szakasza a rugalmas alakváltozás szakasza.
- A II.a szakasz a határozott folyás szakasza.
- A II.b szakasz az egyenletes megnyúlás szakasza.
- A III. szakasz a kontrakció szakasza. (3.16. ábra)



3.16. ábra A lágy acél szakítódigramja

Az anyag szilárdsági jellemzőinek meghatározása:

- Szakítószilárdság (R_m , N/mm²): a szakítóvizsgálat során mért maximális erő (F_m) a próbatest eredeti keresztmetszetének (S_0) hányadosa.
- A felső folyáshatár (R_{eH} , N/mm²): a folyást megindító erőnek (F_{eH}) és az eredeti keresztmetszet (S_0) hányadosa.
- Az alsó folyáshatár (R_{eL} , N/mm²): a folyást fenntartó erőnek (F_{eL}) és az eredeti keresztmetszet (S_0) hányadosa.
- A kontrakciós szilárdság (R_u , N/mm²): a szakadást előidéző erőnek (F_u) és a már kontrahált (lecsökkent) keresztmetszetnek (S_u) a hányadosa.

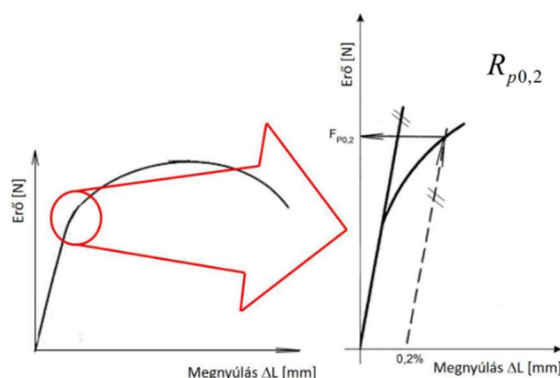
Az anyag képlékenységi jellemzőinek meghatározása:

Arra, hogy milyen mértékben alakítható képlékenyen, anélkül, hogy megrepedne, az ún. képlékenységi anyagjellemzők adnak felvilágosítást.

- Szakadási nyúlás (A, %): A szakadásig elszenvedett nyúlás százalékosan kifejezve.
- Kontrakció (Z, %): A szakadásig elszenvedett keresztmetszet csökkenés százalékosan kifejezve.

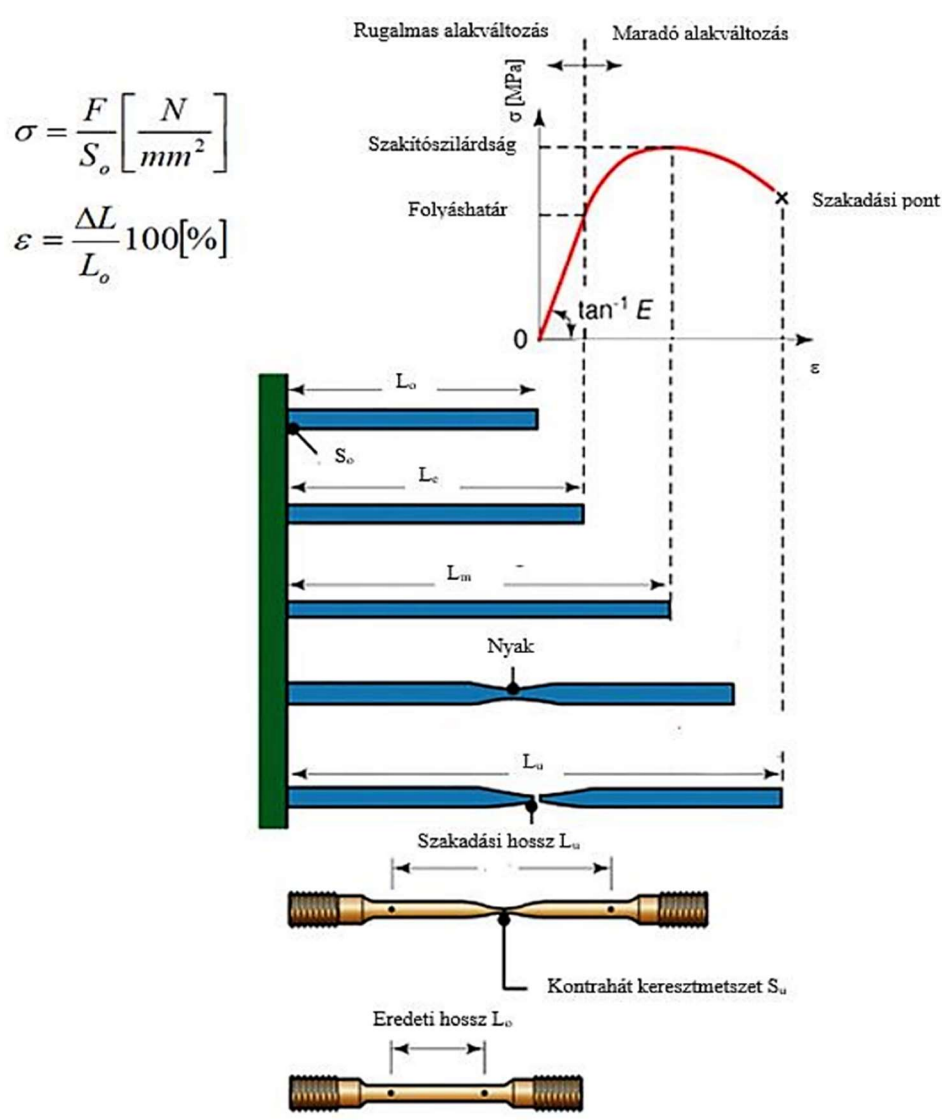
Az egyezményes folyáshatár meghatározása:

Abban az esetben, amikor nem egyértelmű az első lineáris szakasz végpontja, akkor a bizonytalanság okán nem számolható a folyáshatár értéke. Amikor nem számolható egyértelműen a folyáshatár, akkor az egyezményes mérnöki folyáshatárt kell meghatározni. Például könnyűfémeknél (sárgaréz, alumínium), nemesített acélnál gyakori jelenség. Az egyezményes folyáshatár ($R_{p0,2}$) az a terhelő feszültség, ami az anyagban 0,2 %-os maradó megnyúlást hoz létre (3.17. ábra).



3.17. ábra Az egyezményes folyáshatár $R_{p0,2}$ meghatározása a szakítódiaگرامon

A 3.18. ábrán látható a szakítóvizsgálat során, a próbadarab és a szakítódiaagram közötti összefüggés, az egyes pontokon történt változások.



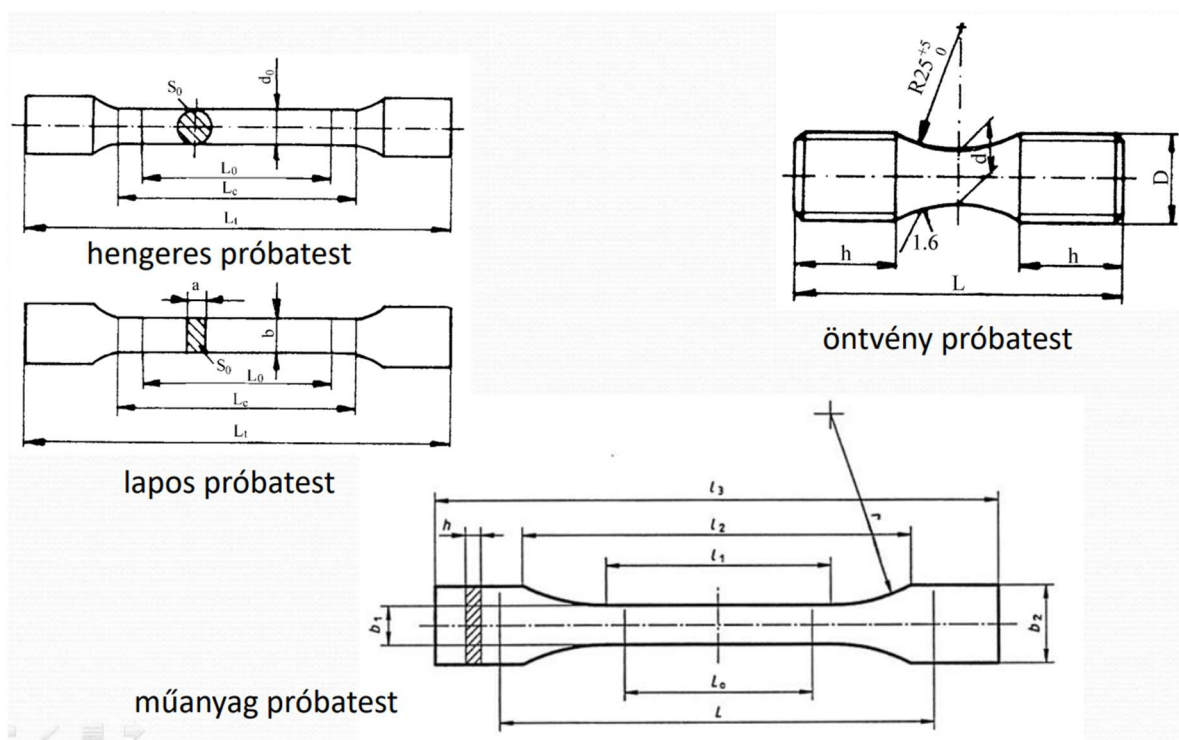
3.18. ábra A szakítódiaagram és a próbatest viszonyai a szakítóvizsgálat során

A próbatestek általában kör, vagy négyszög keresztmetszetűek. A próbatestek két végén fejrészt alakítanak ki, hogy azok a szakítógéphez könnyebben befoghatók legyenek. A próbatest középső részén jelölik ki a mérési hosszt. Jele: L_0

Az olyan próbatesteket, amelyek geometriailag hasonlóak, keresztmetszetük és mérési hosszuk (L_0) között meghatározott arány áll fenn, arányos próbatestnek nevezzük.

A kör keresztmetszetű próbatesteknél $L_0 = 5d$ vagy $L_0 = 10d$ értéket jelent, ahol d a próbatest átmérője a szakadási hosszán.

A négyszög keresztmetszetű próbatest oldalainak aránya nem lehet 1:8 értéknél kisebb. A 3.19. ábrán néhány próbatest látható.



3.19. ábra A gyakorlatban használt, szabványos próbatestek

Fémek esetén lehetséges megmunkált és megmunkálatlan felületű próbatest alkalmazása is. A próbatestek megmunkálása során feszültség jöhet létre az anyagban, ezt számításba kell venni a szakítóvizsgálat során.

Műanyagok esetén fröccsöntött, kivágott és forgácsolt próbatestek alkalmazhatók.
[4][5][17][32][33]

Vonatkozó szabványok:

Fémek esetén MSZ EN ISO 6892-1:2010

Polimerek esetén MSZ EN ISO 527-1:2012

4. Probléma bemutatása

Az Emerson cégcsoport melynek az egyik ágazata a konténerhűtésben is érdekelt. A Thermo King SLX raktér hűtése (4.1.ábra) hibrid hajtással üzemel, melynek lényege, hogy a menet közben, vagy a teherautóra csatlakozás nélkül is képes hűteni a konténert, egy dieselmotor, vagy hálózati feszültségre kapcsolva egy 400V-os motor segítségével hajtja meg a hűtőkompresszort.



4.1. ábra Thermo King hűtőkocsik

Az IMI Kft. (Leroy Somer, Emerson cégcsoport) megrendelőnek öntött és megmunkált alkatrészt, az SLX motorházat, amely a hűtőkocsiknak a hálózati feszültségről működő motorjának a háza (4.2. ábra), már 2019 óta hibamentesen gyártja az Eutekt Kft.



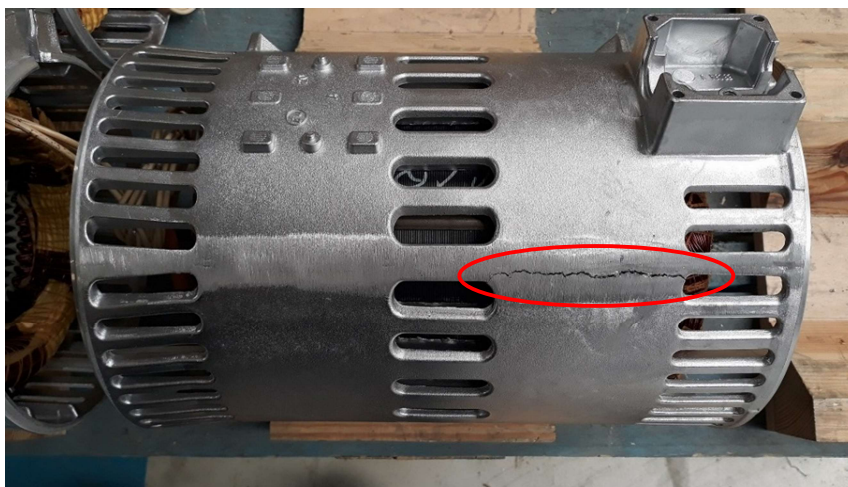
4.2. ábra SLX motorház

A motorház öntése gravitációs-, kokillaöntéssel készül és megmunkálása pedig CNC megmunkáló központon történik, az összeszerelés (tekercs préselése, pajzsok és forgórész ráépítése, elektromos vezetékelés kiépítése) a IMI Kft. végzi, majd a fő megrendelőhöz szállítják a hűtőrendszerbe való beépítésre. A 4.3. ábrán látható egy Thermo King hűtőegységébe beszerelt SLX motorház.



4.3. ábra Thermo King hűtőrendszer, és a beépített SLX motorház

Az első hibajelentést, reklamációt 2022-ben kaptuk írásban az IMI Kft.-től, melyben az szerepelt, hogy az általunk szállított termékeknél előfordult, hogy az összeszerelést követően a motor zajos, illetve összeszerelésél a motorház megrepedt, eltört (4.4. ábra). A megrendelő jelezték, hogy az előző beszállítónál is volt ilyen probléma, így segítséget kérnek a hiba okának felderítésében és annak megszüntetésében.



4.4. ábra Törtött SLX motorház

A jelenlegi alapanyag EN-AC 44100 / EN-AC AlSi12, de a munkadarab funkciója által támasztott követelmények – a villanymotor 3 fázisú 400 V / 50 Hz 9,3 kW teljesítményű - és a felmerülő probléma okán, a cégnél azt a megoldást találtuk, hogy az alapanyag kémia összetételének változtatásával jelentősen javíthatók a termék mechanikai tulajdonságai. Az alapanyag jelenlegi összetétele nem teszi lehetővé, hogy hőkezeléssel javítsunk a mechanikai tulajdonságain, de bizonyos ötvözőanyagok hozzáadásával már az új alapanyag nemesíthetővé válik. Ez az anyag az EN-AC 43100 / EN-AC AlSi10Mg, melynek a mechanikai tulajdonságai magnézium hozzáadásával és a T6-os hőkezelési eljárással jelentős mértékben növelhetők. A T6-os eljárás az alumínium ötvözeteknél egy nemesítési majd egy mesterséges öregbítő hőkezelés, amely finomítja a szemcseszerkezetet és javítja a szilárdsági jellemzőket. Az előforduló hiba megszüntethető a motorház szilárdságának és keménységének növelésével.

A vevői engedélyeztetés után megindult a próbaöntés az új alapanyagból.

A kétféle összetételű alapanyagból készült öntvényeket, különböző anyagvizsgálatoknak vetettem alá, annak bizonyítására, hogy a módosítással a mechanikai, szilárdsági tulajdonságai jobbak lesznek és ezzel kiküszöbölhető a termék deformálódása és így a törés, repedés előfordulás.

Az anyagvizsgálatokba a pontos a kémiai összetételének elemzését követően az öntvények keménységének, szakítószilárdságának meghatározása tartozik bele. A kért mérések, vizsgálatok elvégzésére alkalmas berendezések rendelkezésre állnak az Eutekt Kft.-nél. A merő, elemző készülékek a vállalat merőlaborjában vannak letelepítve és kalibrálva.

A vizsgálatok eredményeit, adatait a vonatkozó szabványban előírt értékekkel összevetem és az alapanyagok mechanikai tulajdonságait pedig összehasonlítom.

Az anyagvizsgálatok és a méréshez használt próbatest méreteinek meghatározása szintén az ide vonatkozó szabványokban meghatározott metódus szerint zajlik.

A termék előállítási árára vonatkozóan számításokat végzek, hogy az alapanyag változásával, milyen mértékű és milyen irányú lesz az elmozdulás. Jár e plusz költséggel és mekkorával az új alapanyag használata.

5. Vizsgálatok elvégzése

Az eredeti alapanyag az EN-AC 44100 / EN-AC AlSi12 és az általunk javasolt alapanyag EN-AC 43100/ EN-AC AlSi10Mg T6 vizsgálatának célja, hogy a szabványban meghatározott értékekkel és egymással hasonlítsuk össze az általunk mért adatokat.

5.1. AlSi12

Az EN-AC 44100 alapanyag adatai az EN ISO 1706:2010 szabvány alapján az 5.1., 5.2. és az 5.3. táblázatból olvashatóak le.

5.1. táblázat EN-AC 44100 (EN-AC AlSi12) Kémiai összetétele [%]

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Egyebek		Al
											n	Σ	
10,5-13,5	0,55	0,1	0,55	0,1	-	0,1	0,15	0,1	-	0,2	0,05	0,15	maradék

- Ha nem tartomány van, akkor az érték a felső határértéket jelöl.
- Az „Egyebek” összetevőnél az „n” egyenként, a „Σ” ezek összes tartalmát jelenti.

5.2. táblázat EN-AC 44100 (EN-AC AlSi12) Mechanikai tulajdonságai

Megnevezése	Jele	Értéke	Mértékegysége
Szakítószilárdság	R _m	150	MPa
Folyáshatár	R _{p0,2}	70	MPa
Nyúlás	A	4	%
Keménység	HB	50	N/mm ²

5.3. táblázat EN-AC 44100 (EN-AC AlSi12) Fizikai tulajdonságai

Megnevezése	Jele	Értéke		Mértékegysége
Rugalmassági modulus	E	74,5		MPa
Sűrűség	ρ	2,65		kg/dm ³
Hővezető képesség	λ	130	160	W/(m°C)
Elektromos vezetőképesség	G	0,043	0,063	Ωmm ² /m

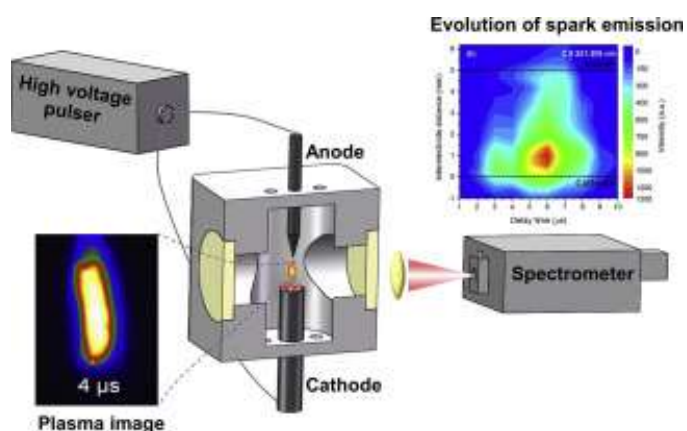
5.1.1. Színképelemzés

A jelenlegi méréseknél a SPECTRO gyártmányú SPECRTOMAXx típusú optikai emissziós ív- és szikra-gerjesztéssel működő (Arc/Spark OES) spektroszkópot (5.1. ábra) használjuk.



5.1. ábra SPECTRO gyártmányú spektroszkóp

A berendezés a minta anyagát a szondával íves szikrakisülés útján elpárologtatja. Az atomgőzben lévő atomok és ionok gerjesztik a sugárzás kibocsátását. A kibocsátott sugárzást egy optikai szálon keresztül továbbítják a spektrométer optikába, ahol azt diszpergálják spektrális komponenseire. Az egyes elemek által kibocsátott hullámhossztartománytól az alkalmazáshoz legmegfelelőbb sort egy CCD-vel mérjük. A mintában szereplő elem koncentrációjával arányos sugárzási intenzitást a tárolt kalibrációs görbéből újra kiszámítja és közvetlenül százalékos koncentrációként mutatható ki (5.2. ábra).



5.2. ábra Az íves szikrakisüléses spektroszkóp samatikus vázlata

Az 5.3. ábrán egy vizsgálatra előkészített és egy vizsgálat utáni minta, próbatest látható, melyet a beolvasztott, öntésre előkészített alapanyagból öntöttek, majd a vizsgálatához szükséges felületet megmunkálták.



5.3. ábra Aszinképelemzés próbatestei vizsgálat előtt és után

A mérést követően a számítógép a szinképelemzést végez, a vizsgált anyag összetételét %-os arányban jeleníti meg (5.4. ábra). A mérést célszerű többször elvégezni, a mi estünkben 3-szor megismételjük ugyanazon anyag ép felületén, majd ezeket összevetve, átlagot véve kapunk pontos mérési eredményt, anyagösszetételt.

2020-04-23/Alufase/F 16 Base Grapa 90 fok/7/De/AlSi7Mg/2018 - 2, - X

Name: 2020-04-23/Alufase/F 16 Base Grapa 90 fok/7/De/AlSi7Mg/2018 - 2, -

▼ Properties

Sample IDs	Minta azonosító:	Megrendelő:	Termék azonosító:	Kemence sz.:	Muszak:	Anyagminőség:	Alapanyag
	2020-04-23	Alufase	F 16 Base Grapa 90 fok	7	De	AlSi7Mg	2018 - 2, -

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc
1	7.75	0.13	0.001	0.002	0.51	<0.0005	<0.0010	<0.0010	0.14	<0.0001
Rep	7.75	0.13	0.001	0.002	0.51	<0.0005	<0.0010	<0.0010	0.14	<0.0001

	B	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Ga	La	Li
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc
1	0.004	<0.0001	<0.0010	0.0008	<0.0010	<0.002	<0.0010	0.011	<0.0003	<0.0002
Rep	0.004	<0.0001	<0.0010	0.0008	<0.0010	<0.002	<0.0010	0.011	<0.0003	<0.0002

	Mo	Na	Pb	Sb	Sn	Sr	V	Zr	Sc	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc
1	0.001	0.002	0.0007	<0.003	<0.0010	<0.0001	0.007	<0.0003	<0.050	91.4
Rep	0.001	0.002	0.0007	<0.003	<0.0010	<0.0001	0.007	<0.0003	<0.050	91.4

5.4. ábra Egy szinképelemzés adatai

A mintánként többszöri (3 db/minta) mérésre a mérési bizonytalanság kiküszöbölése és az esetleges szennyeződések által okozott eltérések miatt van szükség.

Az AlSi12 mérési eredményeit és a szabvány által előírt értékeket az 5.4. táblázat tartalmazza, melyből jól látható, hogy az alapanyag kémiai összetétele megfelel az elvárásoknak, a mért értékek a meghatározott intervallumban helyezkednek el.

5.4. táblázat EN-AC 44100 (EN-AC AlSi12) Kémiai összetétele [%]

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Egyebek		Al
												n	Σ	
	10,5-13,5	0,55	0,1	0,55	0,1	-	0,1	0,15	0,1	-	0,2	0,05	0,15	maradék
1. mérés	12,23	0,2	0,016	0,031	0,01	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,14	-	0,032	86,3
2. mérés	12,41	0,2	0,016	0,03	0,01	0,002	0,004	0,002	0,001	0,001	0,146	-	0,038	86,1
3. mérés	12,74	0,22	0,016	0,03	0,03	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,15	-	0,042	85,7
Átlag:	12,46	0,21	0,016	0,03	0,02	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,145	-	0,037	86,03

- Ha nem tartomány van, akkor az érték a felső határértéket jelöl.
- Az „Egyebek” összetevőnél az „n” egyenként, a „Σ” ezek összes tartalmát jelenti
- Az egyéb összetevők közé tartozik a Cr, Sn, Be, Ca, Ga, Na, Sb, Sr, V, Zr,

A spektrométerrel készült színeképelemzés mérési eredményeit tartalmazó mérési jegyzőkönyvek a csatolva az 1. számú mellékletben.

5.1.2. Keménységmérés, Brinell-keménységmérési eljárással

A keménységmérést egy Reicherter által gyártott Briviskop BL 1-1 (1985) géppel (5.5. ábra) végezzük, mellyel Vickers- és Brinell-keménységmérést lehet végezni.



5.5. ábra Reicherter BL 1-1 keménységmérő gép

Brinell-féle keménységméréskor az öntött alumínium ötvözeteknél $D=2,5\text{mm}$ acél mérőgolyót használunk és $K=10\text{N/mm}^2$ terhelési tényezővel az terhelési erő $F=613\text{N}$ (62,5kp), mellyel 10s-ig nyomjuk a vizsgálandó anyagot. Az AlSi12 anyagnál a benyomódás átmérője a mérési gyakorlat alapján 1,00 - 1,25 mm között változhat (5.6. ábra).



5.6. ábra Brinell-keménységmérés lenyomata

Amely benyomódási átmérő d az alábbi képlet szerinti számítás alapján 76,5 - 47,5 HB közötti keménységet jelent.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{2 \cdot 0,102 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- F: a terhelő erő [N] $1\text{N} \approx 0,102\text{kp}$
A: a benyomódás, gömbsüveg felülete [mm^2]
D: a terhelő golyó átmérője [mm]
d: a lenyomat átmérője [mm]

A keménységmérést az alapanyagból öntött próbatesteken végezzük el, melynek a felületét megmunkáljuk (megcsiszoljuk) a keménységmérés előtt, egy sík felületet hozunk létre, hogy a mérés pontosságát növeljük, a leolvasás miatti bizonytalanságot csökkentjük. A mérésekhez a szakítóvizsgálat próbatesteinek a vastagított részét használjuk fel.

A mérést 3 darab próbatesten, három ismétléssel végeztük el. A lenyomat átmérőjét (d) megmérjük és azt az előző képletbe behelyettesítve kapjuk meg az anyag Brinell-keménységi értékét (HB). Ezen adatok alapján kapott keménységi értékekből átlagolva kaptuk meg az adott anyag keménységét, a mérési eredményeket a 5.5. táblázat tartalmazza. Az elvárt keménység min. 50 HB.

5.5. táblázat EN-AC 44100 (EN-AC AlSi12) Brinell-keménységmérés eredményei

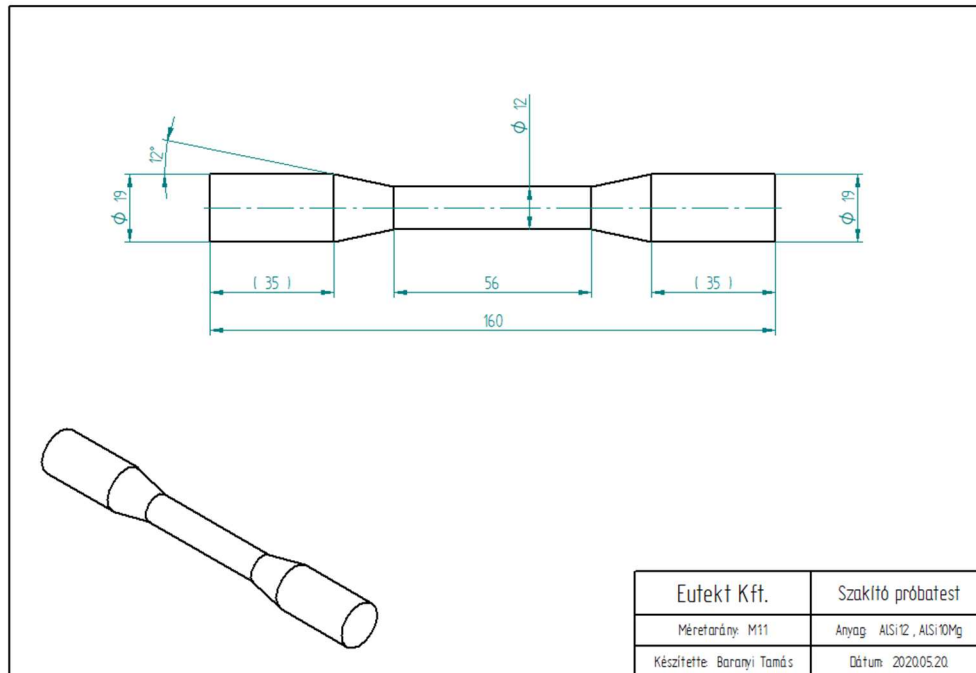
	Előírt keménység HB [N/mm ²]	Mért érték HB [N/mm ²]			Átlag HB [N/mm ²]
		1.	2.	3.	
1. próbatest	50	63	64	61	63
2. próbatest	50	59	63	55	59
3. próbatest	50	60	58	62	60
4. próbatest	50	61	61	62	61
5. próbatest	50	60	62	61	61

A keménységmérésnél a leolvasott lenyomat átmérők 1,17 – 1,09 mm között változtak, amit a fenti képletbe helyettesítve a táblázatban szereplő keménységi értékeket kaptuk, melynek átlaga 61 HB.

A keménységmérő géppel készült Brinell-keménységmérés mérési eredményeit tartalmazó mérési jegyzőkönyv a csatolva a 3. számú mellékletben.

5.1.3. A szakítószilárdság és a nyúlás mérése, szakítóvizsgálattal

A méréseket egy VEB 287/64/2 Szakítógéppel végeztük el. A méréshez próbatesteket öntöttünk a kívánt alapanyagból (ALSi12), melynek az MSZ EN ISO 6892-1:2010 szabványban meghatározott méretűre (5.7. ábra) készítettünk el.



5.7. ábra Szakító próbatest műhelyrajza

A próbatest öntése azonos feltételekkel történik, mint a munkadarab, egyedi öntőszerszámmal gyártottunk a próbatestek készítéséhez, melyben az aktuális alapanyagból tudunk szakítópálcát önteni (5.8. ábra).



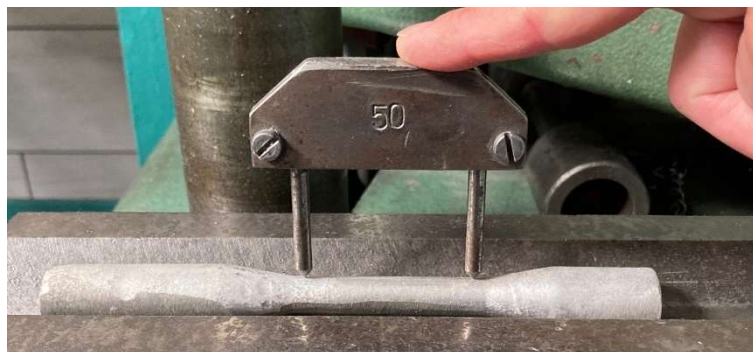
5.8. ábra A próbatest öntvénye a beömlőrendszerrel

Az öntött próbatest méreteit minden vizsgálatnál le kell mérni, hogy pontos eredményt kapjunk. A próbatest forgácsolással történő megmunkálása felesleges feszültséget eredményezne, ezért csak öntött próbatestekkel végezzük a mérést, amelyeket csak csiszolással sorjamentesítünk (5.9. ábra).



5.9. ábra Az EN-AC 44100 próbatest, a szakítóvizsgálatra előkészítve

A vizsgálat menete a következő: a próbatest átmérőjét megmérjük és az elvékonyított részen 50 mm-es távolságot jelölünk (5.10. ábra), majd a jelölést meg is mérjük.



5.10. ábra A szakító próbadarab jelölése (50mm) a nyúlás méréséhez

Ezután a próbatestet a szakítógépet alsó és felső részébe befogatjuk, majd az alapanyaghoz szabványban meghatározott sebességgel elindítjuk a mérést. A próbatest elvékonyodik, a keresztmetszete lecsökken (kontratált keresztmetszet) és elszakad. A szakítógépet skálájáról leolvasható folyáshatárhoz tartozó erő F_e , a maximális erő F_m , amiből az aktuális keresztmetszet S_0 segítségével számítható a próbatest folyáshatára és szakítószilárdsága. A nyúlást pedig az elszakadt, de összeillesztett próbatesten található jelölések távolságának mérésével határozzuk meg és annak és az eredeti jelölt hosszából számítjuk ki az anyag nyúlását.

A szakítóvizsgálat a húzó igénybevétellel szembeni ellenállását vizsgálja és méri az ehhez tartozó mérőszámokat.

A mérést 5 db próbatesttel végeztük és az így kapott szakítószilárdság R_m [MPa], a folyáshatár $R_{p0,2}$ [MPa] és nyúlás A [mm] értékeket a 5.6. táblázatban összefoglalva látjuk.

5.6. táblázat Az AlSi12 alapanyag szakítóvizsgálatának eredményei

	Átmérő d mm	Kereszt- metszet S_0 mm ²	Jeltáv		F_p erő $F_{p0,2}$ N	Max. erő F_m N	Számított eredmények és keménység			
			Előtte	Utána			Szakító- szilárdság	Nyúlás	Kemény- ség	Folyás- határ
			L_0 mm	L_u mm			R_m N/mm ²	A %	HB	$R_{p0,2}$ N/mm ²
1. próba- test	11,64	106,41	50,28	53,24	10 300	18 700	176	5,9	63	97
2. próba- test	11,68	107,15	50,40	53,32	10 600	19 200	179	5,8	59	99
3. próba- test	11,63	106,23	50,38	53,51	10 200	18 500	174	6,2	60	96
4. próba- test	11,64	106,41	50,31	53,10	10 000	18 200	171	5,5	61	94
5. próba- test	11,63	106,23	50,56	53,12	10 500	19 000	179	5,1	61	99

A mért adatok alapján az az alapanyag megfelel az általunk támasztott követelményeknek.

A mérések alapján az ENAC-44100 (ENAC-AlSi12) alapanyag megfelel a szabványban előírt követelményeknek.

A szakítógéppel készült szakítóvizsgálat mérési eredményeit tartalmazó mérési jegyzőkönyv a csatolva a 5. számú mellékletben.

5.2. AlSi10Mg

Az EN-AC 43100 alapanyag adatai az EN 1706:2010 szabvány alapján az 5.7., 5.8. és az 5.9. táblázatból olvashatóak le.

5.7. táblázat EN-AC 43100 (EN-AC AlSi10Mg) Kémiai összetétele [%]

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Egyebek		Al
											n	Σ	
9-11	0,55	0,1	0,45	0,2 -0,45	-	0,05	0,1	0,05	-	0,2	0,05	0,15	maradék

- Ha nem tartomány van, akkor az érték a felső határértéket jelöl.
- Az „Egyebek” összetevőnél az „n” egyenként, a „Σ” ezek összes tartalmát jelenti.
- Az egyéb összetevők közé tartozik a Cr, Sn, Be, Ca, Ga, Na, Sb, Sr, V, Zr,

5.8. táblázat EN-AC 43100 (EN-AC AlSi10Mg) Mechanikai tulajdonságai

Megnevezése	Jele	Értéke		Mértékegysége
Szakítószilárdság	R _m	260		MPa
Folyáshatár	R _{p0,2}	220		MPa
Nyúlás	A	1	2	%
Keménység	HB	90		N/mm ²

5.9. táblázat EN-AC 43100 (EN-AC AlSi10Mg) Fizikai tulajdonságai

Megnevezése	Jele	Értéke		Mértékegysége
Rugalmassági modulus	E	74,5		MPa
Sűrűség	ρ	2,65		kg/dm ³
Hővezető képesség	λ	130	160	W/(m°C)
Elektromos vezetőképesség	G	0,043	0,063	Ωmm ² /m

5.2.1. Színképelemzés

A mostani méréseknél is a SPECTRO gyártmányú SPECRTOMAXx típusú optikai emissziós ív- és szikra-gerjesztéssel működő (Arc/Spark OES) spektroszkópot (5.11. ábra) használjuk.



5.11. ábra SPECTRO gyártmányú spektroszkóp

Az 5.12. ábrán egy vizsgálat utáni minta, próbatest látható, melyet a beolvasztott, öntésre előkészített alapanyagból öntöttek, majd a vizsgálatához szükséges felületet megmunkálták, megcsiszolták.



5.12. ábra Aszínképelemzés próbatestei vizsgálat előtt és után

A mérést követően a számítógép a színképelemzést végez, a vizsgált anyag összetételét %-os arányban jeleníti meg. A mérést célszerű többször elvégezni, a mi esetünkben 3-szor megismétljük ugyanazon anyag ép felületén, majd ezeket összevetve, átlagot véve kapunk pontos mérési eredményt, anyagösszetételt.

A mintánként többszöri (3 db/minta) mérésre a mérési bizonytalanság kiküszöbölése és az esetleges szennyeződések által okozott eltérések miatt van szükség.

Az AlSi10Mg mérési eredményeit és a szabvány által előírt értékeket az 5.10. táblázat tartalmazza, melyből jól látható, hogy az alapanyag kémiai összetétele megfelel az elvárásoknak, a mért értékek a meghatározott intervallumban helyezkednek el.

5.10. táblázat EN-AC 43100 (EN-AC AlSi10Mg) Kémiai összetétele [%]

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Egyebek		Al
												n	Σ	
	9-11	0,55	0,1	0,45	0,2-0,45	-	0,05	0,1	0,05	-	0,2	0,05	0,15	maradék
1. mérés	10,27	0,13	0,015	0,002	0,38	0,003	0,001	0	0	0	0,14	-	0,033	87,9
2. mérés	10,24	0,13	0,014	0,002	0,37	0,003	0,001	0	0	0	0,15	-	0,035	87,9
3. mérés	10,12	0,13	0,016	0,002	0,4	0,003	0,001	0	0	0	0,14	-	0,03	88
Átlag:	10,21	0,13	0,015	0,002	0,38	0,003	0,001	0	0	0	0,14	-	0,037	86,03

- Ha nem tartomány van, akkor az érték a felső határértéket jelöl.
- Az „Egyebek” összetevőnél az „n” egyenként, a „Σ” ezek összes tartalmát jelenti
- Az egyéb összetevők közé tartozik a Cr, Sn, Be, Ca, Ga, Na, Sb, Sr, V, Zr,

A spektrométerrel készült színeképelemzés mérési eredményeit tartalmazó mérési jegyzőkönyv a csatolva a 2. számú mellékletben.

5.2.2. Keménységmérés, Brinell-keménységmérési eljárással

A keménységmérést szintén a Reicherter által gyártott Briviskop BL 1-1 (1985) géppel (5.13. ábra) végezzük, mellyel Vickers- és Brinell-keménységmérést lehet végezni.



5.13. ábra Reicherter BL 1-1 keménységmérő gép

Brinell-féle keménységméréskor az öntött alumínium ötvözeteknél $D=2,5\text{mm}$ acél mérőgolyót használunk és $K=10\text{N/mm}^2$ terhelési tényezővel az terhelési erő $F=613\text{N}$ (62,5kp), mellyel 10s-ig nyomjuk a vizsgálandó anyagot. Az AlSi10Mg anyagnál a benyomódás átmérője a mérési gyakorlat alapján 0,8 – 0,92 mm között változhat (5.14. ábra).



5.14. ábra Brinell-keménységmérés lenyomatai

Amely lenyomat(ok) az alábbi képlet szerinti számítás alapján 121 - 90 HB közötti keménységet jelent.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{2 \cdot 0,102 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- F: a terhelő erő [N] $1\text{N} \approx 0,102\text{kp}$
A: a benyomódás, gömbsüveg felülete [mm^2]
D: a terhelő golyó átmérője [mm]
d: a lenyomat átmérője [mm]

A keménységmérést az alapanyagból öntött próbatesteken végezzük el, melynek a felületét megmunkáljuk (megcsiszoljuk) a keménységmérés előtt, egy sík felületet hozunk létre, hogy a mérés pontosságát növeljük, a leolvasás miatti bizonytalanságot csökkentjük. A mérésekhez a szakítóvizsgálat próbatesteinek a vastagított részét használjuk fel.

A mérést 5 darab próbatesten, három ismétléssel végeztük el. A lenyomat átmérőjét (d) megmérjük és azt az előző képletbe behelyettesítve kapjuk meg az anyag Brinell-keménységi értékét (HB). Ezen adatok alapján kapott keménységi értékekből átlagolva kaptuk meg az adott anyag keménységét, a mérési eredményeket az 5.11. táblázat tartalmazza. Az elvárt keménység min. 90 HB.

5.11. táblázat EN-AC 43100 (EN-AC AlSi10Mg) Brinell-keménységmérés eredményei

	Előírt keménység HB [N/mm ²]	Mért érték HB [N/mm ²]			Átlag HB [N/mm ²]
		1.	2.	3.	
1. próbatest	90	97	98	102	99
2. próbatest	90	104	100	99	101
3. próbatest	90	110	107	108	108
4. próbatest	90	106	106	109	107
5. próbatest	90	104	105	103	104

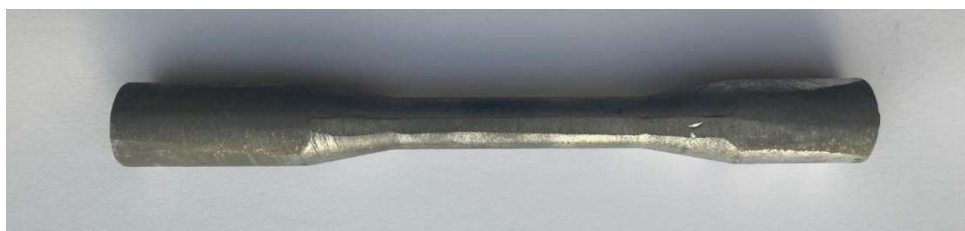
A keménységmérésnél a leolvasott lenyomat átmérők 0,89 – 0,84 mm között változtak, amit a fenti képletbe helyettesítve a táblázatban szereplő HB értékeket kaptuk. Az átlag keménység 104 HB.

A keménységmérés mérési jegyzőkönyve a csatolva a 4. számú mellékletben.

5.2.3. A szakítószilárdság és a nyúlás mérése, szakítóvizsgálattal

A méréseket a VEB 287/64/2 Szakítógéppel végeztük el. A méréshez próbatesteket öntöttünk a kívánt alapanyagból (ALSi10Mg), melynek az előző próbatestekkel megegyező az MSZ EN ISO 6892-1:2010 szabványban meghatározott méretűre készítettünk el.

Az öntött próbatest méreteit minden vizsgálatnál le kell mérni, hogy pontos eredményt kapjunk. A próbatest forgácsolással történő megmunkálása felesleges feszültséget eredményezne, ezért csak öntött próbatestekkel végezzük a mérést, amelyeket csak csiszolással sorjamentesítünk (5.15. ábra).



A

5.15. ábra Az EN-AC 43100 próbatest, a szakítóvizsgálatra előkészítve

vizsgálat menete megegyezik az előzőekben történt méréssel: a próbatest átmérőjét megmérjük és az elvékonyított részen 50 mm-es távolságot jelölünk. Ezután a próbatestet a szakító gép alsó és felső részébe befogatjuk, majd a meghatározott sebességgel elindítjuk a mérést (5.16. ábra). A próbatest elvékonyodik, a keresztmetszete lecsökken (kontratált keresztmetszet) és elszakad. A szakító gép skálájáról leolvasható a maximális erő, amiből az aktuális keresztmetszet segítségével számítható a próbatest szakítószilárdsága. A nyúlást pedig az elszakadt, de összeillesztett próbatesten található jelölések távolságának mérésével határozzuk meg és annak és az eredeti jelölt hosszából számítjuk ki az anyag nyúlását.



5.16. ábra Próbadarab szakítása

A szakítóvizsgálat a húzó igénybevétellel szembeni ellenállását vizsgálja és méri az ehhez tartozó mérőszámokat.

A mérést 5 db próbatesttel végeztük és az így kapott szakítószilárdság R_m [MPa], a folyáshatár $R_{p0,2}$ [MPa] és nyúlás A [mm] értékeket az 5.12. táblázatban összefoglalva látjuk.

5.12. táblázat Az AlSi10Mg alapanyag szakítóvizsgálatának eredményei

	Átmérő d mm	Kereszt- metszet S_0 mm ²	Jeltáv		F_p erő $F_{p0,2}$ N	Max. erő F_m N	Számított eredmények és keménység			
			Előtte	Utána			Szakító- szilárdság	Nyúlás	Kemény- ség	Folyás- határ
			L_0 mm	L_u mm			R_m N/mm ²	A %	HB	$R_{p0,2}$ N/mm ²
1. próba- test	11,52	104,23	50,61	52,04	26 300	35 600	342	2,8	99	252
2. próba- test	11,56	104,96	50,62	52,11	26200	34 300	327	2,9	101	250
3. próba- test	11,51	104,05	50,68	51,98	26 600	36 500	351	2,6	108	256
4. próba- test	11,52	104,23	50,67	52,11	26 600	34 200	328	2,8	107	255
5. próba- test	11,51	104,05	50,67	52,01	26 600	34 600	333	2,6	104	256

A mért adatok alapján az az alapanyag megfelel az általunk támasztott követelményeknek.

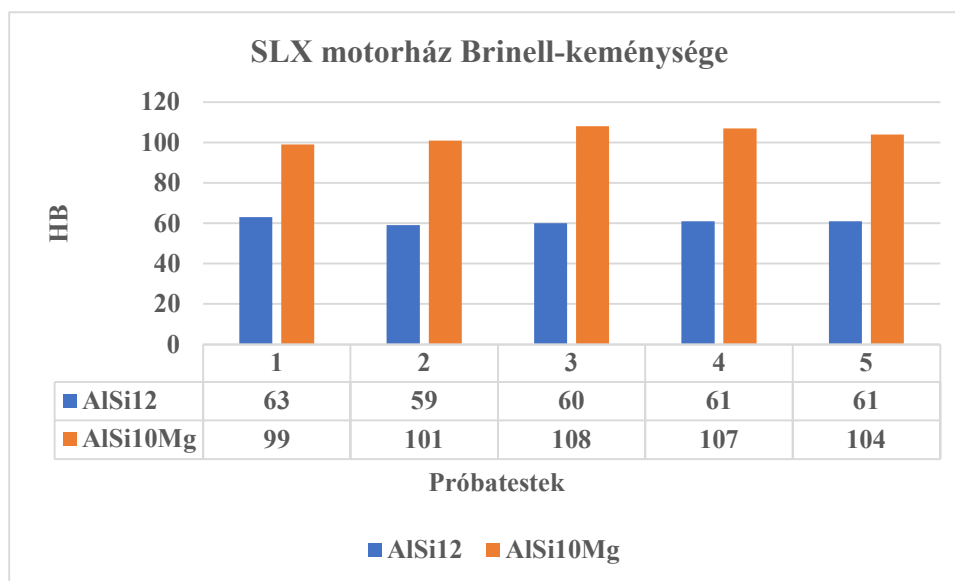
A mérések alapján az ENAC-44100 (ENAC-AlSi10Mg) alapanyag megfelel a szabványban előírt követelményeknek.

A keménységmérő géppel készült Brinell-keménységmérés mérési eredményeit tartalmazó mérési jegyzőkönyv a csatolva a 6. számú mellékletben.

6. Eredmények értékelése

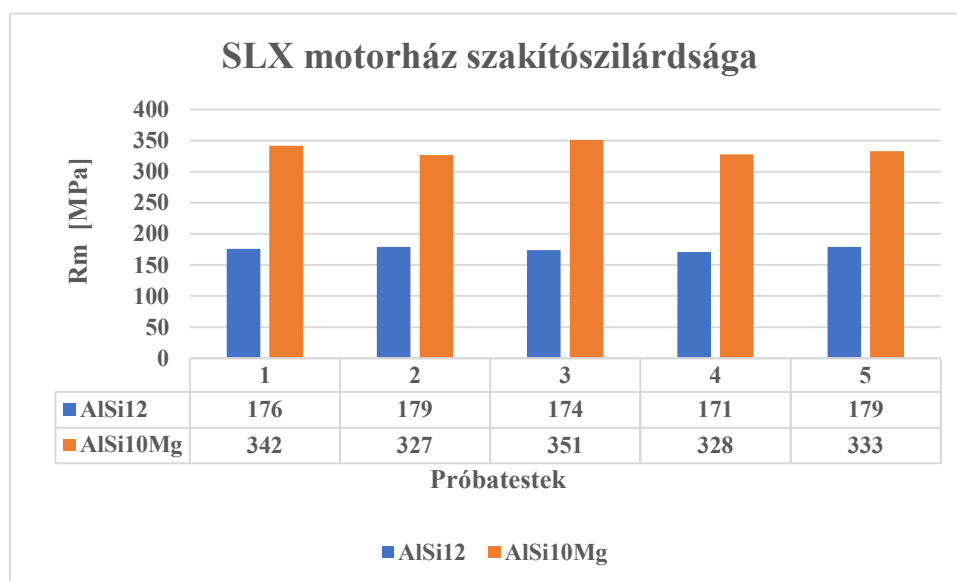
A két alapanyag mechanikai tulajdonságainak mérési adatainak összehasonlítását követően látható, hogy az AlSi10Mg öntvény T6-os hőkezeléssel, lényegesebb jobb tulajdonságokkal rendelkezik, a nyúlás kivételével, az AlSi12 alapanyagú öntvényhez képest.

- a keménysége az AlSi12 61 HB helyett, 104 HB lett az AlSi10Mg –nél (6.1. ábra)



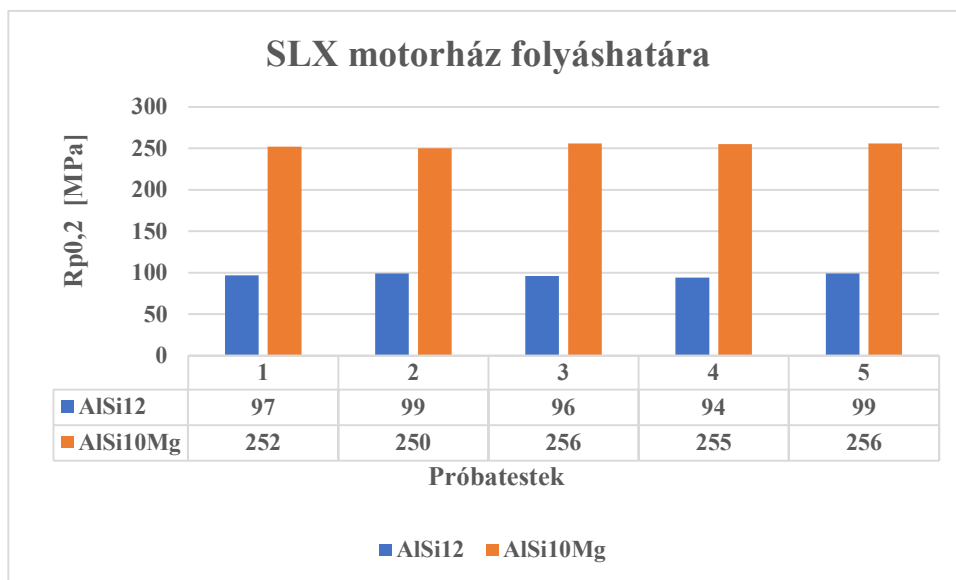
6.1. ábra A Brinell-keménységmérés eredményei a két alapanyagból

szakítószilárdsága 176 MPa lett az AlSi12 anyagnál, és közel kétszeresére emelkedett 336 MPa –ra az AlSi10Mg öntvényénél (6.2. ábra).



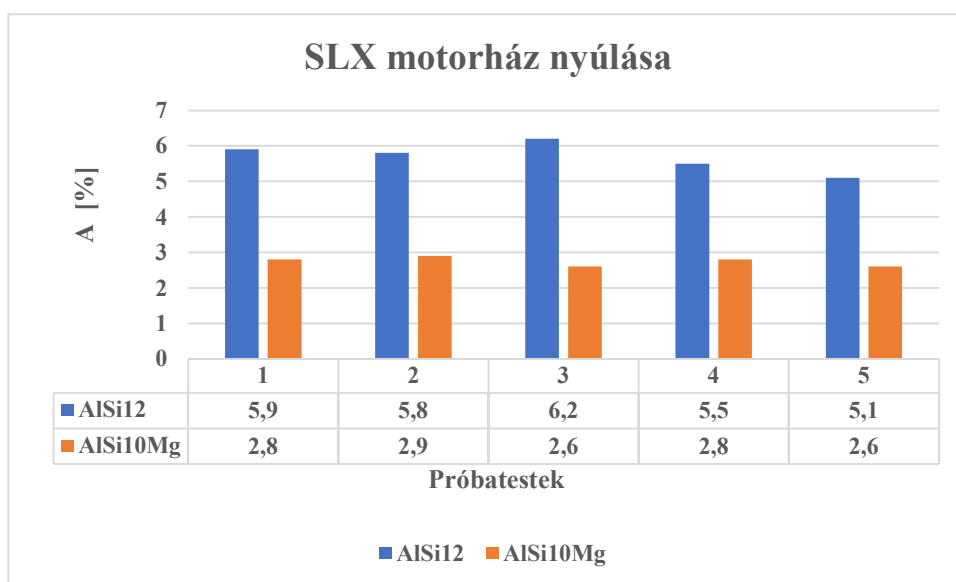
6.2. ábra A két alapanyag szakítószilárdságának összehasonlítása

- a folyáshatára 99 MPa (AlSi12), több mint két és félszeresére növekedett az AlSi10Mg anyagnál 254 MPa (6.3. ábra).



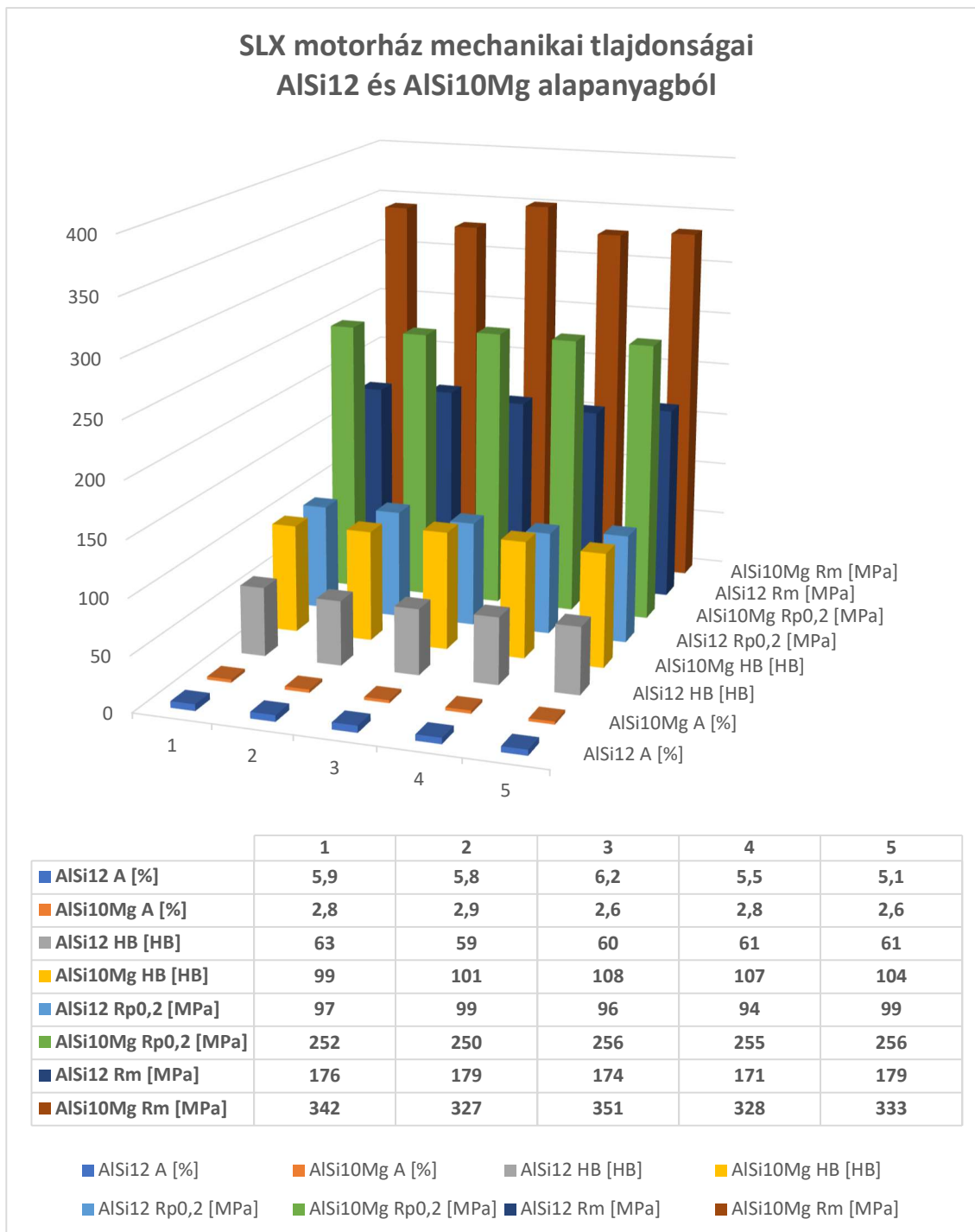
6.3. ábra Az AlSi12 és az AlSi10Mg folyáshatár értékei

- a nyúlása viszont 5,7 %-ról (AlSi12), 2,7 %-ra (AlSi10Mg) csökkent (6.4. ábra)



6.4. ábra Az SLX motorház öntvényeinek a szakadási nyúlás értékei

Az SLX motorház különböző alapanyagainak és azok jellemző mechanikai tulajdonságait a 6.5. ábra szemlélteti. A



6.5. ábra Az SLX motorház mechanikai tulajdonságai, két különböző alapanyagból öntve

A mérési eredmények gyakorlatban is igazolják, hogy az új alapanyag EN-AC 43100; AlSi10Mg jobb mechanikai tulajdonságokkal bír (6.1. táblázat) és ezáltal az öntvény jobban ellenáll a terméket ért igénybevételeknek.

6.1. táblázat Az SLX motorház fő mechanikai jellemzőinek összehasonlítása

Alapanyag		EN-AC 44100 AlSi12	EN-AC 43100 AlSi10Mg
Mechanikai jellemzők			
Szakítószilárdság	R _m [MPa]	176	336
Folyáshatár	R _{p0,2} [MPa]	99	254
Nyúlás	A [%]	5,7	2,7
Keménység	Brinell [HB]	61	104

Az AlSi10Mg alapanyag folyáshatára és szakítószilárdsága jelentősebb mértékben növekszik, ennek hatására kevésbé deformálódik és ezáltal kevésbé hajlamos a törésre.

A keménységi értéke hozzájárul a külső behatásokkal szembeni ellenállóképességéhez.

Így a jobb mechanikai tulajdonságok miatt a motorházzal kapcsolatos hibák szinte kizárhatók. A termék jobb minőségű lesz. Az új anyagból való öntéssel a motor megbízhatóbban és hibamentesen fog üzemelni. A későbbiekben nem várható újabb reklamáció a termékkel kapcsolatban. A vevő elégedett, a termék üzembiztosabb lesz.

7. Összefoglalás

A dolgozatom célja az volt, hogy a Thermo King mezőgazdasági hűtőegységében lévő SLX motorház meghibásodása miatti alapanyagváltás megalapozottságát bizonyítsam anyagvizsgálatokkal, ezen vizsgálatok: kémiai összetétel spektrométerrel, mechanikai tulajdonságok vizsgálata keménységméréssel és szakítóvizsgálattal.

A szakirodalomban átnéztem, tanulmányoztam az alumíniummal és ötvözeteivel kapcsolatos ötvözeteket és az ötvözők hatását. A különböző technológiával való öntést, különös tekintettel az általunk használt gravitációs kokillaöntést. A hozzájuk kapcsolható anyagvizsgálati módszereket.

A motorház gravitációs kokilla öntéssel készül öntészeti alumínium ötvözetből. A jelenlegi alapanyag EN-AC 44100; EN-AC AlSi12, amely alapanyag mechanikai tulajdonságai a reklamációk és meghibásodások alapján nem elegendőnek ítéltünk meg és új alapanyagot javasoltunk a megrendelőnek. Az egyeztetést és az engedélyeztetést követően megtörtént a próbagyártás az új alapanyagból, ami EN-AC 43100; EN-AC AlSi10Mg. Az új anyag tulajdonságai a T6-os hőkezeléssel elméletileg jelentősen meghaladja az eredeti AlSi12 anyag mechanikai tulajdonságait, és a hibák megszüntethetők.

A két alapanyag kémiai összetételét spektrométerrel vizsgáltam és határoztam meg az összetevők tartalmát tömegszázalékban. Ezeket az eredményeket a szabványban előírt értékekkel, intervallumokkal hasonlítottam össze. Mindkét anyag megfelelt az EN ISO 1706:2010 szabvány kritériumainak.

Az alapanyagokból az EN ISO 6892-1:2010 szabvány által előírt méretekkel kör keresztmetszetű próbatesteket öntettem (5-5 db-ot) és azokat csiszolás, sorjamentesítéssel előkészítettem a vizsgálatokra. Az előkészítést követően az AlSi10Mg öntvény próbadarabokat hőkezeltettem (T6).

A keménység mérését az előkészített szakító próbatesteken végeztem. A megvastagított megfogási részen marással sík felületet munkáltam meg, a Brinell-keménységmérés elvégzésének pontossága miatt. A Brinell-keménységmérést MSZ EN ISO 6506-1:2006 szerint végeztem. Az alapanyagonként 5 próbatesten végeztem 3 mérést, és ezeket átlagolva megkaptam az adott alapanyagból öntött próbatest keménységét. Az AlSi12 átlagos keménysége 61HB, az AlSi10Mg keménysége 104 HB. A mérési jegyzőkönyvek a mellékletekben szerepel. Ezek teljesítik az általuk támasztott minimum követelményeket.

Az öntött próbatesteket szakítóvizsgálatnak vetettem alá, a szakítógéppel mindkét alapanyagból 5 db-ot vizsgáltam meg, szakítottam el. A szakítóvizsgálattal meghatároztam az alapanyagok szakítószilárdságát, folyáshatárát, és nyúlását.

Az AlSi12 szakítószilárdsága 176 MPa, folyáshatára 99 MPa, nyúlása 5,7 %, a másik alapanyag az AlSi10Mg szakítószilárdsága 336 MPa, folyáshatára 254 MPa, nyúlása 2,7 %. A mérési eredményekről jegyzőkönyvet készítettem, ami a mellékletekben található. Ezen értékek alapján elmondhatjuk, hogy az új alapanyag mechanikai tulajdonságai jelentősen meghaladja az eredeti anyagét és így a termék jobban ellenáll a fizikai behatásoknak és a mechanikai igénybevételeknek.

A dolgozat a célját elérte és bizonyította, hogy az általunk javasolt új alapanyag az EN-AC 43100; AlSi10Mg-T6 alumínium ötvözet nagyobb ellenállóképességgel rendelkezik az terméket ért igénybevételekkel szemben, jobbak a mechanikai tulajdonságai, mint az eredeti öntvény, ami EN-AC 44100; AlSi12 ötvözet. A termék későbbi gyártása az új alapanyagból javasolt.

A további szilárdság növelő ötvözési lehetőségeket vizsgáljuk és esetleges probléma miatti igény esetén próbagyártás után ismét vizsgálatokkal igazoljuk a növelt mechanikai tulajdonságokat. Ezek lehetnek Cu, Fe, ötvözők hozzáadása és a hőkezelés mértékének a növelése.

8. Irodalomjegyzék

- [1] *Alumínium kézikönyv. Főszerkesztő: Dr. Köves Elemér, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984*
- [2] *Ashby, M.F. - Jones, D.R.H.: Engineering Materials I. Pergamon Press, Oxford, 1980*
- [3] *Bagyinszki, Gy.: Anyagismeret és minősítés. Budapesti Műszaki Főiskola-BGK, Budapest, 2004*
- [4] *Bagyinszki Gyula, Borossay Béla, Dobránszky János, Kári-Horváth Attila, Kovács-Coskun Tünde, Mucsi András, Nagyné Halász Erzsébet, Németh Árpád, Pálincás István, Szakál Zoltán, Zsidai László: Anyagtechnológiák. Egyetemi Jegyzet, BME, SZIE, 2012*
- [5] *Bagyinszki Gyula - Galla Jánosné - Harmath József - Jurcsó Péter - Kerekes Sándor-Tóth László: Mérési gyakorlatok. - KIT Képzőművészeti Kiadó és Nyomda Kft – Budapest, 1999*
- [6] *Bakó Károly, Sándor József, Szabó Zsolt, Szij Zoltán: Öntvények gyártástechnológiája, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.*
- [7] *Bakó Károly: Öntészet I., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982*
- [8] *Balla Sándor; Bán Krisztián; Lovas Antal; Szabó Attila: Anyagismeret. BME jegyzet, Kecskeméti Főiskola, 2011*
- [9] *Boris Nogowizin: Theorie und Praxis des Druckgiessens, Schiele&Schön kiadó, 2011*
- [10] *Czél György - Kollár Mariann: Anyagvizsgálati Praktikum. Sunplant kiadó, Miskolc, 2008.*
- [11] *Deyoung, D.H.: Light Metals. 1986*
- [12] *Druckguß-Fehlerkatalog, Arbeitsgemeinschaft Metallguss an der Fachhochschule Aalen 1996*
- [13] *Dipl.-Ing. Ernst Brunhuber: Praxis der Druckgussfertigung, Fachverlag Schiele & Schön GmbH Berlin 1980*
- [14] *Dr.-Ing. Dieter Brungs: Qualitätsicherung für Aluminium-Druckguss Giesserei-Erfahrungsaustausch 8/91; Zum Stand des Thixoncastings Giesserei-Praxis Nr. 3 / 4 – 1997*
- [15] *D.R.Askeland: The science and engineering of materials. Nelson, Noida, 2006*
- [16] *Erdey-Grúz Tibor: Természettudományi lexikon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1967. 5. kötet, 704–705. oldal.*
- [17] *Fegyverneki György: Alumínium hengerfej öntvények repedés-érzékenysége, PhD. értekezés, Miskolci Egyetem, 2007*
- [18] *Fledrich Gellért, Kári-Horváth Attila, Pataki Tamás István, Zsidai László: Mechanikai technológiák. Szent István egyetem, Gödöllő, 2017*
- [19] *Gillemot László: Anyagszerkezetten és anyagvizsgálat. Egyetemi tankönyv, Tankönyvkiadó, Budapest. 1967*
- [20] *Grundlagen der Druckgiesstechnik, STZ-Arbeitsgemeinschaft Metallguss, 2004*

- [21] G. Beck, F. Klein: *Experimentelle Erfassung der Gesamtwärmehaushaltes beim Vergießen von Aluminium Druckgusslegierungen*, 16. Aalener Symposium, 1996. május 3-4
- [22] *Hőkezelés. Főszerkesztő: Lizák J., Tankönyvkiadó, Budapest, 1987*
- [23] Járás Istvánné - Koncz Ferenc - Róka Gyuláné: *Fémipari anyag- és gyártásismeret. 26. kiadás, Műszaki kiadó, Budapest. 2010*
- [24] Jorstad, J. - Apelian, D. - *Nyomásoz eljárások tömör alumínium-öntvények gyártásához. I. rész - BKL Kohászat 2008, vol. 141, No. 2, pp. 16-21.*
- [25] Kári-Horváth, Attila ; Pataki, Tamás István ; Sarankó, Ádám ; Szilágyi, Nóra: *A forgácsolóüzemek emulziókezelési "kaputól-kapuig" technológiájának felülvizsgálata MEZŐGAZDASÁGI TECHNIKA LXIII. évfolyam: 2022. május pp. 29-31. , 3 p. (2022)*
- [26] Komócsin Mihály: *Gépipari Anyagismeret. COKOM Kft., Miskolc, 1997*
- [27] Lüthi, Guidó: *A nyomásoz öntvények minőségének javítása, BKL. Öntöde 35. évf. 1984. 7. sz. 160-165.*
- [28] Maiser, E.: *Reinigung von Aluminium schmelzen mit Spülgas, Erzmetall, 1980*
- [29] Nádasy Ferenc: *Alapmérések - Anyagvizsgálatok, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2001*
- [30] Pásztor Gedeon - Szepessy Andrásné - Siklósi Péter - Oswald Zoltán: *Könnyűfémek metallurgiája. Tankönyvkiadó, Budapest 1991*
- [31] Pék Lajos, Szakál Zoltán: *Anyagismeret, gyártástechnológia. Herman Ottó Intézet, 2012*
- [32] Pogonyi István: *Roncsolásoz anyagvizsgálatok 2. Keménységmérések. NSZFI, Budapest, 2008*
- [33] Sándor József: *Kalickás villamos motorok forgórészeinek előállítása öntéssel, BKL Öntöde, 1985. 10. sz.*
- [34] Takách Benedek: *Nyomásoz öntészet, kézirat, Takách Benedek kiadó, 1993*
- [35] Tisza Miklós: *Metallográfia. 3. kiadás, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2002*
- [36] Tokár M., Mende T.: *Nyomásoz öntvények szövetszerkezetének vizsgálata, Bányászati és Kohászati Lapok, 141.évfolyam, 2008/3.szám*
- [37] Valasek, I ; A, Kári-Horváth: *The Action Mechanism Of Minimum Lubrication And The Increase Of Its Efficiency, TRIBOLOGIE UND SCHMIERUNGSTECHNIK 58 : 3 Pp. 34-47. , 14 P. (2011)*
- [38] Verő J. - Káldor M., *Fémten. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1978*
- [39] Vinzenz Reimer: *Nyomásoz öntés, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978*
- [40] Voet D., Voet J. G.: *Biochemistry. John Wiley & Sons, INC. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1995. 2. kiadás, 870-871. oldal*
- [41] W. D. Calister, D.G. Rethwisch: *Materials Science and Engineering. 9th edition John Wiley & Sons, 2013*

2022.10.21.