

ALSi1MGMN-ALUMÍNIUMÖTVÖZET ÖREGEDÉSI FOLYAMATÁNAK VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF AGING OF ALSi1MGMN TYPE ALUMINIUM ALLOY

Mudabbiruddin Mohammed,¹ Kovács Tünde Anna²

¹ Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, mohammed.mudabbir@uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék, Budapest, Magyarország, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

In the world of manufacturing, aluminium alloy is mostly used because of its suitable properties, such as mechanical behaviour and machinability. The formation of the cluster, the erosion and corrosion, the precipitation process, artificial ageing and other factors are also discussed in this study. From the practical point of view, the main objective of this experimental study is the investigation of the ageing process of AlSi1MgMn (EN AW 6082 T6) aluminium alloy. To investigate the compound precipitation in the aluminium alloy, a heat treatment process is conducted after which a hardness test is performed and hardness values evaluated to obtain the optimal hardness value according to ageing time and temperature. Significant results have been obtained in the hardness test, however, the metallography shows no clear significant result. For better results, more tests are suggested.

Keywords: *AlSi1MgMn, ageing, heat treatment, hardness.*

Összefoglalás

Az ipari gyakorlatban az alumíniumötvözeteket elterjedten alkalmazzák: ennek oka leginkább, hogy mechanikai tulajdonságai és megmunkálhatósága megfelelő. A tanulmány a klaszterek kialakulását, az eróziót és korróziót, a kiválási folyamatokat, a mesterséges öregedést és egyéb tényezőket és azok hatását taglalja. A kísérleteink során az alumíniumötvözetek kísérleti vizsgálatát végeztük gyakorlati úton, ami azt jelenti, hogy az AlSi1MgMn (EN AW 6082 T6)-típusú alumíniumötvözet öregedési folyamatának vizsgálatát tűztük ki fő célkitűzésként. Az alumíniumötvözetek vegyületkiválásának vizsgálatára hőkezelést végeztünk. A hőkezelés után elvégeztük a keménységmérést, és kiértékeljük a keménységi értékeket, mely segítségével megkaptuk az optimális keménységi értéket, az öregedési időnek és a hőmérsékletnek megfelelően. A vizsgálatok során a keménységmérések eredményei szignifikánsak voltak, ezzel szemben a metallográfiai képelemzés nem adott releváns eredményt. A pontosabb eredmények érdekében további vizsgálatok javasoltak.

Kulcsszavak: *AlSi1MgMn, öregedés, hőkezelés, keménység.*

1. A kutatás bemutatása

Az anyagok öregedése általában az anyagtulajdonságoktól, míg a műszaki rendszerek öregedése az alkalmazásuktól függ. Az öregedési folyamat három fő csoportba sorolható: termikus, mechanikai és elektromos. Az öregedés fő

okai lehetnek az erózió és a korrózió, a kopás és a karbantartás hiánya, ami hirtelen meghibásodást okozhat, és az egész rendszer károsodásához vezethet [1]. Az időbeli meghibásodások aránya az időjárástól is függhet. A probléma leküzdése és bármely műszaki rendszer hatékonyságának

növelése érdekében nagyon fontos a buszkábelek elöregedésének előrejelzése. A fáradási tulajdonság nagyon fontos szerepet játszik az öregedés előrejelzésében, anyagi és mechanikai megközelítések segítségével. A szerzők egy probléma megoldására mutatták be munkájukat. Az anyagi viselkedés megértéséhez matematikai modellezés használható.

A mai „ipar 4.0”-ás környezetben az alumínium-ötvözeteket többnyire különböző alkalmazási területeken használják, kiváló tulajdonságaik miatt: kis sűrűség, megfelelő szilárdság és keménység, kiváló önthetőség és korrózióállóság. Ezen tulajdonságok miatt az Al-Si-Mg-ötvözetek keresett anyagokká válnak az építőiparban, az autóiparban és a repülőgépiparban, különböző alkalmazásokhoz. Fő alkalmazási terület a nagy igénybevételnek kitett alkalmazások, rácsos szerkezetek, hidak, daruk, szállítási alkalmazások, érchordók, söröshordók és tejeshordók. Tudni kell, hogy az AlMgSi-ötvözetek mechanikai tulajdonságai elsősorban a feldolgozási technológiától függ.

Az évek során sok szerző tanulmányozta az alumínium-ötvözeteket és azok mechanikaitulajdonság-függését különböző hőkezelési állapotban. Az alumínium-ötvözetek tulajdonságairól kiterjedt kutatásokat mutattak be. A kovácsolást és a képlékeny alakítást a [2] mutatja be, és ezeket a módszereket alkalmazták a 6082 Al-ötvözet szilárdságának elemzésére is. A fáradási élettartam becslésére a különböző kémiai összetételű és mikroszerkezetű AlMgSi ötvözetek esetében kis ciklusú kifárasztó vizsgálatot végeznek. [3] A korábbi munkák azt mutatják, hogy az ilyen típusú ötvözetekben a repedés a magnézium és a króm jelenlétének köszönhető. A nagy magnéziumtartalmú ötvözetben a kiválások kialakulásának jelensége többször előfordul, mint a kis magnéziumtartalmú ötvözetben a természetes öregedési folyamat során. Az AlMgSi-ötvözeteket kis hőmérsékleten kifejtett, hatékony öregedésgátló hatásuk miatt tartják számon, amely nagymértékben befolyásolja a visszakeményedési reakciót [4, 5]. Az AlMgSi-ötvözetek mesterséges öregítése során a kiválási folyamatot tanulmányoztuk, kísérletek segítségével. Az ilyen típusú ötvözeteket széles körben használják szerkezeti anyagként, ezért érdemes fejleszteni a gyártási folyamatot és az anyag tulajdonságait. A 6082-T6-alumínium-ötvözet repedésnövekedésének viselkedését tanulmányozza a [6]-os irodalom. Alkalmazva „Paris” törvényét, a mintákon fáradásos repedésnövekedést tapasztal

hatunk. Ebben a tanulmányban kétféle bemetszés hatását vesszük figyelembe, az ívelt U-bemetszés és V-bemetszés. A tervezés során egy öregedési modellt használnak, hogy előre jelezzék az öregedési hatást a különböző terhelések alatt. Az elvégzett károsodási tesztek, a 2017A-T4- és 6082-T6-alumínium-ötvözetekkel hasonlították össze. Az átlagos torziós feszültség alapján a statisztikai elemzést követően ez a modell az öregedés becslésére szolgál. Az idő és a hőmérséklet alapján a kiválási viselkedést differenciálpáasztázó kalorimetriával, páasztázó elektronmikroszkóppal, transzmissziós elektron-mikroszkópos metallográfiai elemzésekkel és keménységvizsgálattal értékelik [8]. A vizsgálathoz alumínium-ötvözeteket használtak, mint például 6082-T6, 6060, 6005A, 6063, változó hűtési sebességgel. A kiválások viselkedése bizonyos hűtési sebességtartományban ugyanazt az eredményt mutatta. Vicker-mikrokeményiség-mérések segítségével enyhe mikroöregedés-, valamint szakitószilárdsági vizsgálati elemzéssel a 6082-alumínium-ötvözet öregedési viselkedését vizsgálja a [9] irodalom. Az anyagvizsgálat során a mikroszkópos kép a maratás után nem ad egyértelmű választ az anyag keményedésére. A hegesztési technikák hatását és az ötvözők hatásait vizsgálja a [10] irodalom.

2. Az anyag és a hőkezelés

2.1. AlMgSi (6082-T6)

A nemesíthető ötvözetek, például az alumínium kiválása várhatóan elszórtan finom kiválásokat tartalmaz, amely a gömb alakútól a lemezkes tartományig terjedhet. Ezért a további elemzéshez alumíniumalapú ötvözetet használnak, amely AlMgSi (6082-T6). A 6082-T6-alumínium-ötvözet a megmunkált alumínium – magnézium – szilícium csoport ötvözte. Jellemzően extrudálással és hengerléssel alakítják ki. Általában hőkezelik, hogy nagyobb szilárdságú, ugyanakkor kisebb szívósságú anyagot hozzanak létre. A 6082-es ötvözetből nehéz vékony falú, bonyolult formákat előállítani extrudálás segítségével. A 6082-T6-alumínium-ötvözet közepes szilárdságú ötvözet, amely kiváló erózió- és korrózióállósági tulajdonságokkal rendelkezik. A 6000-es sorozatú ötvözetek közül a legnagyobb szilárdsággal rendelkezik.

A T6-6082-alumínium-ötvözet kémiai összetételét és anyagtulajdonságait az alábbi, 1. és 2. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Kémiai összetétel

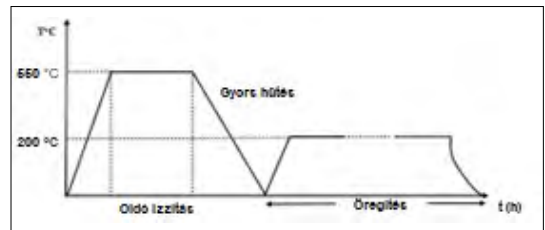
Elem	Százalék
Aluminium	95.2 - 98.3%
Chromium	0.25% max.
Copper	0.1% max.
Iron	0.5% max.
Magnesium	0.6 - 1.2% max.
Manganese	0.4 - 1% max.
Silicon	0.7 - 1.3% max.
Titanium	0.15% max.
Zinc	0.2% max.
Egyéb	0.15% max.

2. táblázat. Anyagtulajdonságok

Tulajdonságok	Érték
Sűrűség	2,71 g/cm ³
Young's Modulus	71 GPa
Szakítószilárdság	140–330 MPa
Folyáshatár	280 MPa
Keménység	35-100 HV
Keménység	84 HB
Olvadáspont	555 °C

2.2. Hőkezelés

Az alumíniumötvözetek szilárdságnövelésére alkalmazott legfontosabb hőkezelés az öregítés, amely oldóízzítást, gyorshűtést és öregítést foglal magában. A kutatás célja az alkalmazott alumíniumötvözet öregedési folyamatának tanulmányozása. Először is a 6082-T6-mintát 5 különböző részre vágtuk, egyenként 4x3,5 cm méretűekre. Ezeket a mintákat hőkezelésük szerint jelöltük. Majd a mintákat kemencében 550 °C-on másfél órán keresztül hevítettük (oldóízzítás). Az összes mintát hevítés után kivettük, majd hideg vízben hűtöttük. Az oldóízzítást minden darab esetében 550 °C-on 1 órás hőntartással végeztük. Ezt a folyamatot követően különböző öregítési időket alkalmazva hőkezeltük. Az időtartam rendre 1 óra, 5 óra, 10 óra és 24 óra állandó 200 °C hőmérsékleten. Az öregítést követően ezeket a mintákat egyenként nyugvó levegőn hűtöttük szobahőmérsékletre, majd minden mintán keménységmérés vizsgálatot végeztünk, Vickers-keménység-méréssel. Az 1. ábra az elvégzett hőkezelési folyamat hőmérséklet-idő diagramját mutatja.



1. ábra. Öregítő hőkezelés diagram

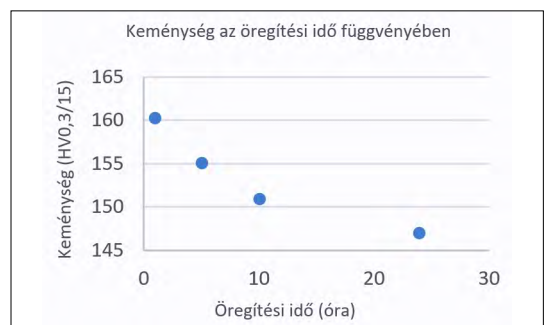
3. Eredmények és összegzés

3.1. Keménységmérés

A fáradásos meghibásodás számos tényezőtől függ, mint például az anyag típusától és állapotától, a szerkezeti elemek geometriájától, a terhelés típusától vagy a feszültség állapotától. A kísérletek során négy öregített mintát, egy edzett mintát és egy hőkezelés nélküli kontrollmintát vizsgáltunk (3. táblázat). A keménységmérésnél alkalmazott terhelés 300 g vizsgálati idő 15 másodperc ($HV_{0,3/15}$). Minden mintán öt mérést végeztünk, és az átlagot számítva határoztuk meg a keménység értékét. A kapott értékeket grafikonon ábrázoltuk (2. ábra), az öregítési idő és a keménység függvényében.

3. táblázat. A Vickers-keménysége a daraboknak

A minta száma	Leírás	Mérték egység HV _{0,3/15}
1	Kontroll	101.63
2	Oldóízzítás 550°C, majd gyors hűtés	144.33
3	Öregítés 200°C-on 1 óra	160.33
4	Öregítés 200°C-on 5 óra	155
5	Öregítés 200°C-on 10 óra	151
6	Öregítés 200°C-on 24 óra	147.66



2. ábra. A kapott keménységi értékek

Az öregítési idő hatását a keménységre kívántuk ezzel megmutatni, az öregítési idő függvényében. A diagramon jól látszik, hogy a legnagyobb keménységet az 1 órás öregítéssel kaptuk. A hosszabb idejű öregítési hőkezelés a keménység csökkenését okozta.

3.2. Metallográfia

A mikroszkópos vizsgálat előkészítése:

- metszetkészítés,
- a darab beöntése,
- csiszolás,
- polírozás,
- maratás.

A keménységi vizsgálat után az összes mintát beágyasztuk, hogy utána a csiszolás és polírozás el-

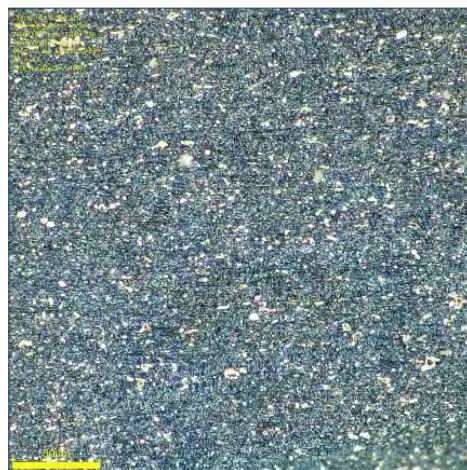
végzésre kerüljön, majd elvégeztük a mikroszkópos vizsgálatot. A darab beöntése gyantaanyaggal készül, hogy megkapja a végső formát a további előkészítéshez. A beöntött mintákat durva csiszolópapírral csiszolva készítettük elő. A csiszolási folyamathoz 80-as durva csiszolópapírtól haladtunk a finom 2500-as csiszolópapírral végzett előkészítésig. A Keller-reagenst, amely salétromsav, sósav és hidrogén-fluorsav keveréke, körülbelül 10-15 másodpercig használtuk a maratáshoz.

A maratást követően mikroszerkezeti vizsgálatot végzünk optikai mikroszkóp segítségével.

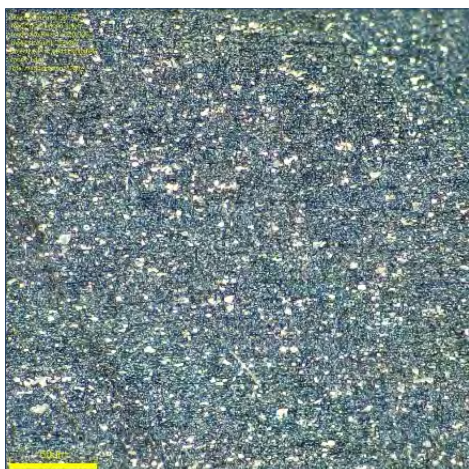
A **3–8. ábrák** a felkeményedett alumíniumdarabokat mutatják. Ezek a képek 1000-szeres nagyítás mellett (50 μm) rendelkező optikai mikroszkóppal készültek.



3. ábra. Kontrollminta



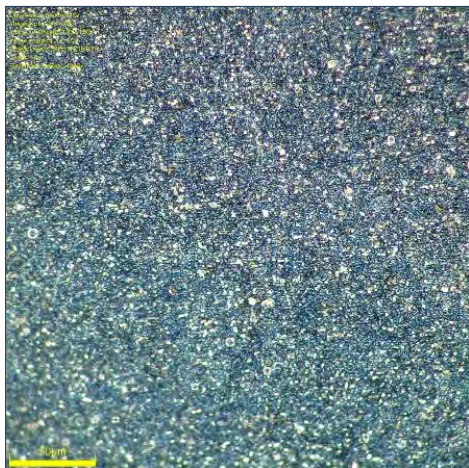
4. ábra. Edzett minta, 550°C, 1 órás hőkezelés



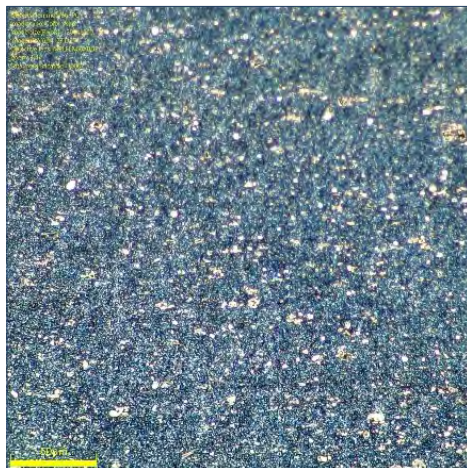
5. ábra. 3. minta, 200 °C, 1 órás hőkezelés



6. ábra. 4. minta, 200 °C, 5 órás hőkezelés



7. ábra. 5. minta, 200 °C, 10 órás hőkezelés



8. ábra. 6. minta, 200 °C, 24 órás hőkezelés

Következtetések

Ebben a tanulmányban az AlMgSi (6082)-alumíniumötvözet öregítését hőkezeléssel majd értékelését keménységi méréssel végeztük. A folyamatot lépésről lépésre ismertettük. Összességében elmondható, hogy a teszt során a keménységmérésekben észrevehető, hogy a 3. minta keménysége a legnagyobb, ezért az optimális öregítési hőkezelésnek a 200 °C-on 1 órán keresztül történő öregítést tekinthetjük. A keménységmérések után a metallográfiai vizsgálatokkal megpróbáltuk megfigyelni a kiválásokat. A metallográfiában jelentős eredmény nem volt egyértelműen látható. Ezt a metallográfiai vizsgálatot optikai mikroszkóppal végeztük, a jobb eredmények érdekében más technikákat lenne ajánlott használni, például pásztázó elektron-mikroszkópot vagy transzmissziós elektron-mikroszkópot.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] M. Mudabbiruddin., L. Pokoradi: *Aging of Technical Systems – Literature Review*. Journal of Production Engineering, 24/1. (2021) 69–74.
<https://doi.org/10.24867/JPE-2021-01-069>
- [2] N. Kumar, G. M. Owolabi, R. Jayaganthan: *Al 6082 Alloy Strengthening through Low Strain Multi-axial Forging*. Materials Characterization, 155. (2019) 109–761.
<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2019.06.003>
- [3] L. P. Borrego, L. M. Abreu, J. M. Costa, J. M. Ferreira: *Analysis of Low Cycle Fatigue in AlMgSi Aluminium Alloys*. Engineering Failure Analysis, 11/5. (2004) 715–725.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2003.09.003>
- [4] J. Kim, J. Im, M. Song, I. Kim.: *Effects of Mg Addition and Pre-aging on the Age-Hardening Beha-*

vior in Al-Mg-Si. Metals, 8/12. (2018) 10–46.

<https://doi.org/10.3390/met8121046>

- [5] M. Stipcich, A. Cuniberti, V. Nosedá Grau.: *Electrical Resistometry Study of an AlMgSi Alloy under Artificial Aging*. Journal of Alloys and Compounds, 542. (2012) 248–252.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.07.031>
- [6] J. A. F. O. Correia, A. M. P. De Jesus, A. S. F. Alves, G. Lesiuk, P. J. S. Tavares, P. M. G. P. Moreira.: *Fatigue Crack Growth Behaviour of the 6082-T6 Aluminium Using CT Specimens with Distinct Notches*. In: Procedia Structural Integrity. Vol. 2. Catania, Italy, 2016. 3272–3279.
<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.06.408>
- [7] K. Kluger.: *Fatigue Life Estimation for 2017A-T4 and 6082-T6 Aluminium Alloys Subjected to Bending-Torsion with Mean Stress*. International Journal of Fatigue, 80. (2015) 22–29.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2015.05.005>
- [8] B. Milkereit, N. Wanderka, C. Schick, O. Kessler.: *Continuous Cooling Precipitation Diagrams of Al-Mg-Si Alloys*. Materials Science and Engineering A, 550. (2017) 87–96.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.04.033>
- [9] M. Fujda, M. Matvijsa, M. Glogovský, I. Orišenko.: *Natural Aging Behaviour of the EN AW 6082 and Lead Free EN AW 6023 Aluminium Alloys*. Manufacturing Technology, 17/5. (2017) 19–20.
<https://doi.org/10.21062/ujep/x.2017/a/1213-2489/MT/17/5/701>
- [10] G. Cornacchia, S. Cecchel.: *Study and Characterization of EN AW 6181/6082-T6 and EN AC 42100-T6 Aluminium Alloy Welding of Structural Applications: Metal Inert Gas (MIG), Cold Metal Transfer (CMT), and Fiber Laser-MIG Hybrid Comparison*. Metals, 10/4. (2020) 1–21.
<https://doi.org/10.3390/met10040441>