

# INVESTIGATION OF THE HOMOGENIZATION PROCESS IN ALUMINUM WROUGHT ALLOYS

## ALÜMİNYUM İŞLEM ALAŞIMLARINDA HOMOJENİZASYON SÜRECİNİN ARAŞTIRILMASI

Seracettin AKDI<sup>a</sup>, Havva DEMİRPOLAT<sup>2b</sup>

<sup>a</sup> AKDI MÜHENDİSLİK, Konya, Türkiye, E-posta: info@akdimuhendislik.com

<sup>b</sup> Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, E-posta: hdemirpolat@selcuk.edu.tr

### Özet

Günümüz teknolojisinde alüminyum ve alüminyum alaşımları en çok kullanılan 2. Metaldir. Alüminyum elementi yer yüzünde en çok bulunan 3. Element olmasına rağmen ekonomik olarak en fazla boksit cevherinden elde edilmektedir. Kolay geri dönüştürülebilirlik, kolay şekillendirilebilme ve yüksek özgül mukavemet gibi özelliklerinden dolayı çağımızın teknolojik malzemesidir.

Alüminyum alaşımları ASTM standartlarına göre işlem alaşımları ve döküm alaşımları olmak üzere 2 ana gruba ayrılmaktadır. Döküm alaşımlarının üretimi oldukça kolay olmasına rağmen işlem alaşımlarının mekanik özellikleri daha iyidir. İşlem alaşımları sürekli döküm yöntemleri ile üretilirler işlem alaşımları biyet veya ingot olarak döküldükten sonra homojenizasyon ısıl işlemine tabi tutulurlar. Bu işlem ile şekillendirilebilme yeteneği kazanırlar. Ayrıca homojenizasyon işlemi alaşıma ilerleyen üretim safhalarında uygulanacak olan çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi için olumlu etki sağlamaktadır.

Bu çalışmada alüminyum sürekli döküm alaşımlarına uygulanan homojenizasyon ısıl işleminin etkisi ve ilkeleri araştırılmıştır. Farklı alaşımlarda homojenizasyon parametreleri, homojenizasyon sonrası makro yapı incelemesi ve örnek bir homojenizasyon makro yapısına yer verilmiştir. Homojenizasyon işleminde meydana gelen faz değişimleri literatür araştırması ile incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Homojenizasyon, İşlem Alaşımları, Alüminyum Alaşımları, Alüminyum Isıl İşlem

### Abstract

In today's technology, aluminum and aluminum alloys are the second most used metals. Although the 3rd element is the most abundant element on the earth, aluminum is the most economically obtained from bauxite ore. It is the technological material of our age because of its easy recyclability, easy formability and high specific strength.

Aluminum alloys are divided into two main groups as process alloys and casting alloys according to ASTM standards. Although the production of cast alloys is quite easy, the mechanical properties of the process alloys are better. The process alloys are produced by continuous casting methods and after the process alloys are cast as billets or ingots, they are subjected to homogenization heat treatment. They gain the ability to be shaped by this process. In

addition, the precipitation hardening to be applied during the production stages advancing to the alloy has a positive effect on the heat treatment.

In this study, the effects and principles of homogenization heat treatment applied to aluminum continuous casting alloys were investigated. Homogenization parameters in different alloys, macro structure examination after homogenization and a sample homogenization macro structure were included. The phase changes in the homogenization process have been investigated by literature research.

**Keywords:** Homogenization, Process Alloys, Aluminum Alloys, Aluminum Heat Treatment

### 1. Giriş

Alüminyum işlem alaşımları sürekli döküm yöntemi ile üretildikten sonra homojenizasyon ısıl işlemine tabi tutulurlar. Yapılan bu ısıl işlemin amacı dökülen biyetlerin kullanım veya şekillendirme esnasında hasar almaması ve kolay şekillendirilebilmesi içindir. Özellikle ekstrüzyon hammaddesi olarak kullanılan biyetlerin homojenizasyonu elzemdir. Homojenize edilmemiş biyetler ile yapılan ekstrüzyonlarda ya ekstrüzyon kalıbı hasar görür ya da ekstrüzyon profili hasar alır. Ayrıca homojenize edilen biyetler ekstrüzyon pres gücü tasarrufu sağlar ve kalıp ömrünü artırır. Bu etkinin arkasındaki mekanizma ikincil fazların dönüşümü olarak açıklanmaktadır. İşlem alaşımlarından üretilen iş parçaları çökeltme sertleşmesi ile mukavemetlendirilmektedirler. Homojenizasyon prosesi çökeltme sertleşmesi sonrası mekanik özellikleri de etkilemektedir.

Homojenizasyon ısıl işlemi oldukça önemlidir. Bununla beraber oldukça da hassastır. İş parçalarının belirlenen sıcaklığa çıkması, bu sıcaklıkta belirlen sürelerde tutulur ve kritik bir soğutma hızı ile soğutulmaktadır. Bu çalışmanın en önemli amacı alüminyum biyete homojenizasyon ısıl işleminin gerçekleşip gerçekleşmediğinin nasıl anlaşılacağıdır. [1]

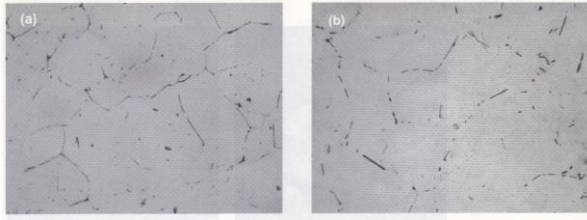
#### 1.1 Homojenizasyon ısıl işlemi karakterizasyonu

Alüminyum işlem alaşımlarının karakterizasyon pratik olarak aşağıdaki yöntemler ile yapılabilmektedir.

- Mikro yapı analizi
- Makro yapı analizi

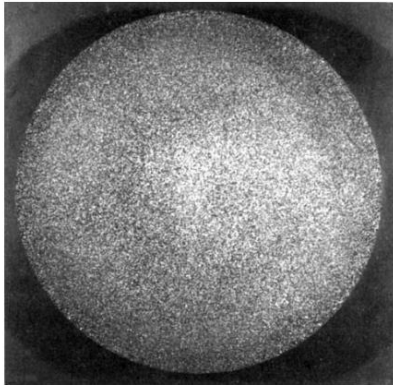
- Sertlik ölçümü
- Barker yöntemi ile tane yapısı analizi
- SEM EDS analizi
- XRD analizi
- İletkenlik ölçümü

Mikro yapı analizi: alüminyum işlem alaşımı mikro yapısı en az 1000 P zımpara ile zımparalandıktan sonra en az koloidal silika ile polisaj yapılarak yüzey hazırlanır. Daha sonra keller çözeltisi ile dağlanarak incelenebilir. Al-Si-Mg yapısında alaşım elementleri düşük olduğu için matris yapısı temizdir. Dentritik kollar gözükmez örnek bir işlem alaşımı şekil 1'de yer almaktadır. [2, 3]



Şekil 1 6063 alaşımı a. Döküm sonrası b. 560 °C homojenizasyon yapılmış mikro yapı [2]

Makro yapı analizi: biyetin kesit yapısı karma asit (NCl, HNO<sub>3</sub>, HF ve su) ile dağlanarak göz ile muayene edilir. Rekristalizasyon olan kısımlar daha parlak ve belirgin olarak gözükür. Şekil 2'de 6063 alaşımının biyet kesit tane yapısı yer almaktadır.



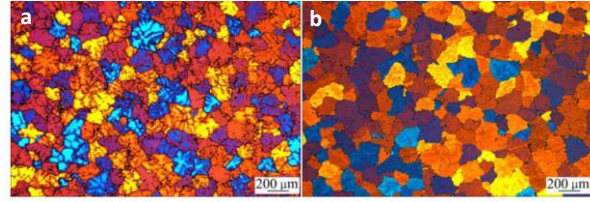
Şekil 2 AA 6063 homojenizasyon sonrası biyet kesit yapısı[4]

Makro yapı analizi ile homojenizasyon kabiliyeti anlaşılabilir ancak makro kesit tane yapıları incelenebilir.

**Sertlik Ölçümü:** alüminyum alaşımların sertlikleri yaygın olarak brinell (HB) veya vickers (HV) ile ölçülür. Döküm alaşım ile homojenize edilmiş alaşım arasında çok az bir sertlik farkı vardır. Bu değer homojenizasyonun belirlenebilmesi için bir kıstas olamaz. Alüminyum alaşımlar minimum sertliğe çözeltiye alındığında (su verme sonrası) ulaşılırken maksimum sertliğe optimum yaşlandırma noktasında ulaşılır. Ancak sürekli aynı alaşımlar ile çalışıldığında amprik yaklaşım sağlanabilir. Homojenize edilmiş malzemenin sertliği döküm malzemeye göre daha düşüktür. [5]

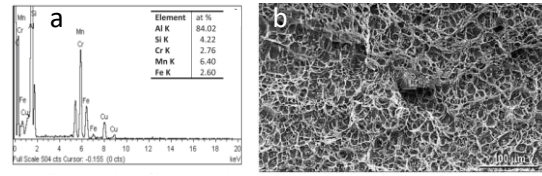
**Barker Yöntemi İle Tane Yapısı Analizi:** zımpara ve polisaj ile hazırlanan yüzey elektrolitik çözelti ile dağlanarak

yapı elde edilir. Bu yapı çift polarize ışık mikroskopunda görülebilir. Şekil 3'de yer almaktadır. Barker yöntemi ile işlem alaşımlarının tane yapısı incelenebilir tane yapısında ikincil fazların dönüşmesi ve rekristalizasyonun oluşması ile taneler daha belirgin hale gelir.



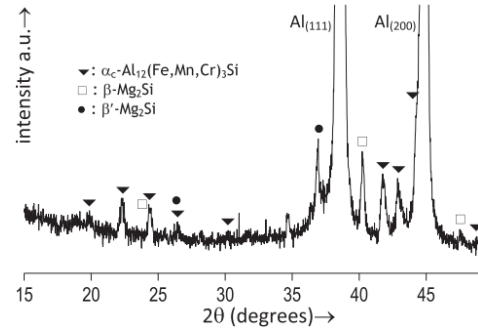
Şekil 3 6082 alaşımı a. Döküm halde b. homojenize edilmiş halde. [6]

**SEM EDS analizi:** alüminyum alaşımlarına SEM ve EDS ile analiz edilebilir. Ancak bu metot hem çok zahmetli hem de anlaşılması için uzmanlaşmak gerekmektedir. Şekil 4'de SEM ve EDS analizleri yer almaktadır.



Şekil 4 6082 alaşımı a EDS analizi ve b SEM görüntüsü yer almaktadır.[3]

**XRD analizi:** XRD ile malzemelerin faz analizi yapılabilmektedir. Şekil 5' de AA 6082'ye yapılan örnek bir XRD analizi yer almaktadır. Homojenize edilmiş alaşımın faz analizinden direkt sonuca ulaşılabilir. XRD analizinin zahmetli olması ve  $\alpha$  alüminyumun yüksek oranda olması işleri zorlaştırmaktadır.



Şekil 5 6082 alaşımı XRD analizi[3]

**İletkenlik ölçümü:** alüminyum alaşımların iletkenlik ölçüm karşılaştırılması ile amprik olarak homojenizasyon ile ilgili bilgi sağlanabilir. İletkenlik ölçüm cihazı kesit alandan bağımsız olarak çalışmaktadır. Saf bakırın iletkenliği 100 (m/Ωmm<sup>2</sup>) olarak ölçülür. Matris içinde çözünen element miktarı arttıkça iletkenlik düşer. İkincil fazlar çökeldikçe matris saflaşır ve iletkenlik değeri artar. Aynı alaşım için homojenizasyon kabiliyeti, çözeltiye alma değeri ve yaşlandırma sonucu karşılaştırmalı olarak belirlenebilir. Çizelge 1'de farklı soğuma hızlarında değişen iletkenlik değerleri yer almaktadır. [7, 8]

Çizelge 1 aynı koşullarda homojenize edlip farklı hızlara soğutulan 6063 alaşımın iletkenlik değerleri yer almaktadır.

| Cooling rate (°C/h) | Electrical conductivity (mΩ mm <sup>2</sup> ) |
|---------------------|---|
| 2000                | 28.6  |
| 800                 | 28.7  |
| 400                 | 29.0  |
| 200                 | 29.6  |
| 100                 | 30.1  |
| 30                  | 31.0  |
| 12                  | 32.0  |

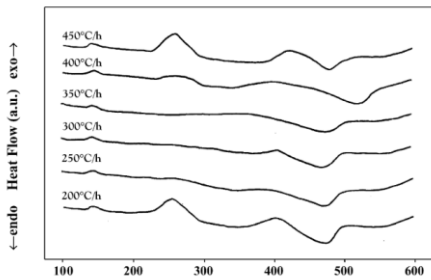
## 2. literatür taraması

Homojenizasyon prosesinde soğuma hızı doğrudan etkilidir. Yapılan çalışmada [9] A6063 alaşımının soğuma hızı 3 farklı sıcaklıkta mekanik özellikleri ölçülmüştür. Soğuma hızının optimum değerde olması mekanik özellikleri aşağı çekmektedir. Bundan dolayı ideal soğuma hızı 0,9 °C/dakika olarak belirlenmiştir. Çizelge 2’de homojenizasyon soğuma hızını farklı sıcaklıklardaki stres değerleri yer almaktadır.

Çizelge 2 homojenizasyon sonrası farklı hızlarda soğutulmuş numunelerin farklı sıcaklıklarda basma testi ile stresleri ölçülüp karşılaştırılmıştır. [9]

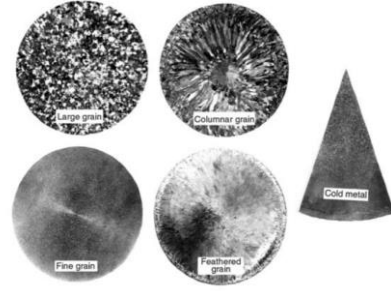
| Cooling rate<br>(°C/dak) | Deformation stress (MPa) |       |       |
|--------------------------|--------------------------|-------|-------|
|                          | 450°C                    | 500°C | 550°C |
| as-cast                  | 250                      | 190   | 105   |
| 0.9                      | 210                      | 160   | 100   |
| 1.5                      | 220                      | 170   | 100   |
| 2                        | 220                      | 170   | 105   |
| 3.5                      | 240                      | 180   | 110   |
| 6                        | 250                      | 185   | 115   |
| air cooling              | 255                      | 210   | 120   |

Farklı soğuma hızlarında homojenize edilmiş numunelerin DSC analizleri karşılaştırması Şekil 6’da yer almaktadır.



Şekil 6 farklı soğuma hızlarında homojenize edilmiş numunelerin DSC analiz karşılaştırılması [7]

Homojenizasyon sonrası makro yapı analizi ASM standardına göre şekil 7’de yer almaktadır.[4]



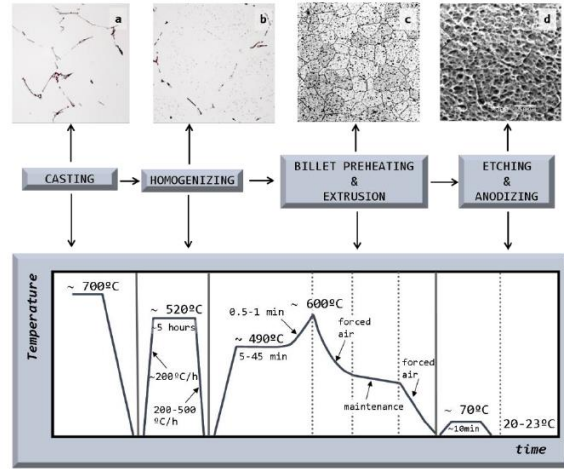
Şekil 7 homojenizasyon sonrası makro kesit yapısı gruplandırılması[4]

Farklı alüminyum alaşımlarına göre homojenizasyon parametreleri ASM standartlarında yer almaktadır.[4] çizelge 3’de yer almaktadır.

Çizelge 3 farklı alaşımların homojenizasyon parametreleri [4]

| Alloy      | Homogenizing temperature, °F (°C) | Holding time (min), h |
|------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 1060       | 1040-1076 (560-580)               | 6                     |
| 1100       | 1076-1112 (580-600)               | 6                     |
| 2014-2024  | 896-914 (480-490)                 | 12                    |
| 5052       | 1022-1040 (550-560)               | 12                    |
| 5083, 5086 | 968-1004 (520-540)                | 12                    |
| 5454, 5456 | 1022-1040 (550-560)               | 12                    |
| 6061       | 1040-1058 (560-570)               | 6-8                   |
| 6063       | 1040-1076 (560-580)               | 6                     |
| 6101       | 1040-1076 (560-580)               | 6                     |
| 6463       | 1040-1076 (560-580)               | 6                     |
| 7001       | 860-896 (460-480)                 | 12                    |
| 7075, 7079 | 878-896 (470-480)                 | 12                    |

Alüminyum iş parçası üretim süreci şekil 8’deki gibidir. [10]



Şekil 8 alüminyum üretim süreci sıcaklık zaman grafiği ve mikro yapı görüntüleri.

Çizelge 4 de alüminyum homojenizasyon sürecinde faz dönüşüm sıcaklıkları yer almaktadır.

| Temperature (°C) | Time (h) |
|------------------|----------|
| 540              | 2        |
| 500              | 4        |
| 580              | 6        |

The major constituent is underlined; the minor ones are put into parentheses. The constituents are listed in the order of their volume fractions.

Tüm fazlar çözüldükten sonra kontrollü olarak soğutularak ikincil fazlar elde edilmektedir.

## 3. Deneysel Çalışma

Alüminyum işlem alaşımlarının homojenizasyon ısıl işleminin başarılı bir şekilde yapılıp

yapılmadığını sağlıklı bir şekilde kontrol edebilmek için pratik bir metot geliştirilmiş ve denenmiştir. Bu çalışmada 3 numune belirlenmiştir.

1: yatay sürekli döküm ile üretilmiş homojenize edilmiş numune.

2: yatay sürekli döküm ile üretilmiş homojenize edilmemiş numune

Şekil 9 da numuneler yer almaktadır. Bu profil numunelerde 3 mm kalınlıkta parçalar kesilip yüzeyleri temizlenmiştir.



Şekil 9 deneysel numuneler yer almaktadır.

Kesilen bu parçalar katlanarak kırılma testleri yapılmıştır. Bükülen parçaların şekilleri şekil 10'da yer almaktadır.



Şekil 10 bükülen numuneler.

#### 4. Sonuçlar

- Bu çalışma sonucunda:
- Homojenizasyon ısı işlemi sıcak şekillendirme sürecinde sünekliği artırmak için elzemdir.
- Homojenizasyon işleminin gerçekleşip gerçekleşmediğini belirleyebilmek için birçok karakterizasyon yöntemi vardır.
- Pratik uygulamalarda aynı geometrik ölçülerde hazırlanmış numuneler plastik deformasyon uygulanarak büküldüğünde homojenize edilmeyen numune hasara uğramaktadır.
- Homojenizasyon ısı işlemi malzemenin sünekliğini artırmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] R. Kayıkcı, E. Kocaman, S. Şirin, M. Çolak, The effects of late homogenization conditions on the Mg2Si particle size in a slow pre-heated 6063 aluminum extrusion billet, 2015.
- [2] E. Kelesoglu, Y. Erarslan, G. Özer, Materials Testing 51 (2009) 390-394.
- [3] Y. Birol, E. Gokcil, M.A. Guvenc, S. Akdi, Materials Science & Engineering A 674 (2016) 25-32.
- [4] P.K. Saha, Aluminum Extrusion Technology, 2000.
- [5] D. Isadare, M. Adeoye, A. Adetunji, K. Oluwasegun, K. Akinluwade, Advances in Research 5 (2015) 1-11.
- [6] Y. Birol, S. Akdi, Transactions of Nonferrous Metals Society of China 24 (2014) 1674-1682.
- [7] Y. Birol, Journal of Materials Processing Technology 148 (2004) 250-258.
- [8] M. Erdegren, T. Carlberg, Surface Defects on Direct Chill As-Cast 6XXX Aluminum Billets, Light Metals 2011, 2011, pp. 675-680.
- [9] Y. ERARSLAN, M. ÇİGDEM, C. AKÇA, Czech Republic 5 (2012) 23-25.
- [10] J. Asensio-Lozano, B. Suarez-Pena, G.F. Vander Voort, Materials (Basel) 7 (2014) 4224-4242.