



**T.C.  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI**

**Al-Cr-Mn ÖTEKTİK ALAŞIMI ÜZERİNE UYGULANAN ISIL  
İŞLEM SÜREÇLERİNİN MİKROYAPI, MEKANİK VE  
TERMoeLEKTRİKSEL ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Öznur KAHYAOĞLU**

**DANIŞMAN**

**Doç. Dr. Yusuf KAYGISIZ**

**AKSARAY, 2024**

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212367405 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Öznur KAHYAOĞLU tarafından hazırlanan “**Al-Cr-Mn ÖTEKTİK ALAŞIMI ÜZERİNE UYGULANAN ISIL İŞLEM SÜREÇLERİNİN MİKROYAPI, MEKANİK VE TERMOELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile İleri Teknolojiler Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman: Doç. Dr. Yusuf KAYGISIZ**

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye: Doç. Dr. Cem Burak YILDIZ**

Bartın Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

**Üye: Dr. Öğr. Üyesi Selim SIRAKAYA**

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 05/12/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Öznur KAHYAOĞLU

## TEŞEKKÜR

Tezimde bana destek olan herkese en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Öncelikle, bu süreçte bana rehberlik eden, bilgi ve tecrübesiyle çalışmalarımı yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Yusuf KAYGISIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Değerli katkıları, sabrı ve yol göstericiliği bu tezin en önemli yapı taşlarından biri olmuştur. Ayrıca, tez sürecinde manevi desteklerini her zaman hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma da minnettarım. Özellikle, her an yanımda olan ve beni her koşulda destekleyen eşim ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Son olarak, araştırmalarımda ve veri toplama sürecinde bana yardımcı olan tüm kurum ve kişilere de teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimde emeği geçen herkese en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Öznur KAHYAOĞLU

AKSARAY, 2024

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| TEŞEKKÜR .....                                                                                                       | i         |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                                    | ii        |
| ÖZET.....                                                                                                            | iii       |
| ABSTRACT .....                                                                                                       | iv        |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                                                                | v         |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                                                              | vi        |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                                                                        | vii       |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                                                                | <b>1</b>  |
| <b>2. LİTERATÜR BİLGİSİ.....</b>                                                                                     | <b>3</b>  |
| 2.1 Alüminyumun Genel Özellikleri .....                                                                              | 3         |
| 2.2 Alüminyum Aşışmaları ve Sınıflandırılması .....                                                                  | 6         |
| 2.3 Alüminyum Aşışmalarının Katılaşması .....                                                                        | 7         |
| 2.4 Ötektik Aşışmalar .....                                                                                          | 8         |
| 2.5 Alüminyum Aşışmalarına Uygulanan Isıl İşlemler ve Özellikleri .....                                              | 10        |
| 2.6 Sertlik .....                                                                                                    | 11        |
| 2.6.1 Brinell sertlik testi.....                                                                                     | 12        |
| 2.6.2 Rockwell sertlik testi .....                                                                                   | 12        |
| 2.6.3 Knoop sertlik testi .....                                                                                      | 13        |
| 2.6.4 Vickers sertlik testi .....                                                                                    | 14        |
| 2.7 Çekme Dayanım .....                                                                                              | 15        |
| 2.8 Termoelektriksel / Fiziksel Özellikler .....                                                                     | 17        |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                                                                    | <b>19</b> |
| 3.1 DeneySEL Sistem .....                                                                                            | 19        |
| 3.1.1 Numune kalıplarının hazırlanması.....                                                                          | 19        |
| 3.1.2 Aşışımın hazırlanması .....                                                                                    | 21        |
| 3.1.3 Katılaştırma işlemi .....                                                                                      | 22        |
| 3.2 Isıl İşlem Süreci.....                                                                                           | 23        |
| 3.3 Metalografik İşlemler .....                                                                                      | 24        |
| 3.3.1 Numunelerin kesilmesi ve kalıplanması .....                                                                    | 24        |
| 3.3.2 Numunelerin zımparalama ve parlatılması .....                                                                  | 25        |
| 3.4 SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) Görüntülerinin Alınması .....                                                 | 26        |
| 3.5 EDX (Enerji Dağılım X-Işını Spektrometresi) Ölçümlerinin Alınması.....                                           | 26        |
| 3.6 XRD (X-Işını Difraktometresi) Piklerinin Belirlenmesi .....                                                      | 27        |
| 3.7 Haritalama (mapping) İşleminin Yapılması .....                                                                   | 27        |
| 3.8 Mikrosertlik Değerlerinin Ölçülmesi .....                                                                        | 27        |
| 3.9 Çekme-Dayanım Değerlerinin Ölçülmesi .....                                                                       | 27        |
| 3.10 Termoelektriksel Özelliklerin Belirlenmesi .....                                                                | 27        |
| 3.10.1 Erime sıcaklığı, füzyon entalpisi ( $\Delta H$ ) ve ısı kapasitesinin (Cpl) hesaplanması .....                | 28        |
| <b>4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....</b>                                                                                 | <b>31</b> |
| 4.1 Gözlenen Mikroyapılar.....                                                                                       | 31        |
| 4.2 Isıl işlemin Sertlik Üzerine Etkisi .....                                                                        | 35        |
| 4.3 Isıl işlemin Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi .....                                                                 | 35        |
| 4.4 Erime Sıcaklığı ( $T_m$ ) (K), Füzyon Entalpisi ( $\Delta H$ ) (J/g) ve Isı Kapasitesi (Cpl) (J/gK) Tayini. .... | 37        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                                                                 | <b>41</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                               | <b>41</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                                 | <b>44</b> |

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### Al-Cr-Mn ÖTEKTİK ALAŞIMI ÜZERİNE UYGULANAN ISIL İŞLEM SÜREÇLERİNİN MİKROYAPI, MEKANİK VE TERMÖELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

Öznur KAHYAOĞLU

Aksaray Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yusuf KAYGISIZ

#### ÖZET

Bu çalışmada, yüksek saflıkta alüminyum, krom ve mangan elementleri kullanılarak ötektik kompozisyonda hazırlanmış Al-%0.3 Cr(ağ)-%2.0 Mn(ağ) alaşımının mikroyapı, sertlik, çekme dayanımı ve termofiziksel özellikleri ısıtma işlem öncesi ve sonrasında incelenmiştir. Isıtma işlem süreci 350°C’de 1, 3, 6 ve 18 saat sürelerde kül fırını ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı görüntüleri FEI-Quanta FEG 250 model taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. Mikroyapıdaki fazların Enerji Dağıtım Spektrometresi (EDS) ile niteliksel ve niceliksel element analizleri yapılmıştır. Ayrıca belirlenen aşamaları desteklemek için X-Işını Kırınımı (XRD) pikleri alınmış ve görüntü haritalaması yapılmıştır. Numunelerin ısıtma işlem öncesi ve sonrasına ait sertlik değerleri, Future Tech FM700 model Vickers sertlik test cihazı ile ölçülmüştür. Çekme mukavemeti testleri, 4 mm çapında ve 60 mm uzunluğunda silindirik numuneler üzerinde Shimadzu Universal Test cihazı ile 1 mm/dk gerinim hızında gerçekleştirildi. Ötektik alaşımın termofiziksel özelliklerinden erime sıcaklığı, füzyon entalpisi ve ısı kapasitesi değerleri Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yöntemi ile araştırılmıştır. Isıtma işlem sonrası numunenin sertlik değerleri bir miktar düşmüş olmasına karşın tutma süresi arttırıldığında numuneye ait sertlik değerleri tekrardan artmıştır. Benzer şekilde uygulanan ısıtma işlem sonrası çekme dayanımı önce azalmış ve tutma süresinin artmasıyla birlikte yeniden yükselmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ötektik alaşım, Mikroyapı, Mekanik özellikler, Isı kapasitesi.

**Kasım, 2024; 44 sayfa**

## **M.Sc. THESIS**

# **EFFECT OF HEAT TREATMENT PROCESSES APPLIED ON Al-Cr-Mn EUTECTIC ALLOY ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL AND THERMOELECTRICAL PROPERTIES**

**Öznur KAHYAOĞLU**

**Aksaray University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Advanced Technologies**

**Supervisor: Doç. Dr. Yusuf KAYGISIZ**

## **ABSTRACT**

In this study, the microstructure, hardness, tensile strength, and thermophysical properties of the Al-0.3% Cr(wt)-2.0% Mn (wt) alloy, prepared in a eutectic composition using high-purity aluminum, chromium, and manganese elements, were examined before and after heat treatment. The heat treatment process was carried out in an ash furnace at 350°C for durations of 1, 3, 6, and 18 hours. Microstructure images were obtained using the FEI-Quanta FEG 250 model Scanning Electron Microscope (SEM). Qualitative and quantitative element analyses of the phases in the microstructure were performed using Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). Additionally, X-ray Diffraction (XRD) peaks were obtained and image mapping was performed to support the identified stages. The hardness values of the samples before and after heat treatment were measured using the Future Tech FM700 model Vickers hardness testing device. Tensile strength tests were conducted on cylindrical samples with a diameter of 4 mm and a length of 60 mm using the Shimadzu Universal Test device at a strain rate of 1 mm/min. The melting temperature, fusion enthalpy, and heat capacity values of the eutectic alloy's thermophysical properties were investigated using the Differential Thermal Analysis (DTA) method. Although the hardness values of the sample decreased somewhat after the heat treatment, the hardness values of the sample increased again when the holding time was extended. Similarly, after the heat treatment, the tensile strength initially decreased and then increased again with the increase in holding time.

**Keywords:** Eutectic alloy, Microstructure, Mechanical properties, Heat capacity

**November, 2024; 44 pages**

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Çekirdeklerin kristaller halinde büyümesi ve tane yapısının oluşması .....                                                                                                                                                                                            | 7  |
| Şekil 2.2. a) Yüksek çekirdeklenme ve yavaş büyüme sonucu oluşan ince taneli, b) Düşük çekirdeklenme ve hızlı büyüme sonucu oluşan kaba taneli yapı görüntüsü ( $D_n / Dt$ = zamana bağlı olarak değişen çekirdek çapı değişimi) .....                                           | 8  |
| Şekil 2.3. Brinell sertlik ölçüm testi .....                                                                                                                                                                                                                                     | 13 |
| Şekil 2.4. (a) Vickers sertlik ölçüm metodunun şematik gösterimi, (b) Batan ucun numune yüzeyinde bıraktığı izin fotoğrafı .....                                                                                                                                                 | 14 |
| Şekil 2.5. Çekme-uzama diagramı .....                                                                                                                                                                                                                                            | 15 |
| Şekil 3.1. Grafitten yapılmış numune kalıplar .....                                                                                                                                                                                                                              | 20 |
| Şekil 3.2. Grafit numune kalibi (a) üst enine kesiti, (b) alt enine kesiti,(c) yandan görünüşü .....                                                                                                                                                                             | 20 |
| Şekil 3.3. Al-Cr-Mn Ötektik faz diyagramı .....                                                                                                                                                                                                                                  | 21 |
| Şekil 3.4. Alaşım metallerinin tartılmasında kullanılan hassas terazi .....                                                                                                                                                                                                      | 21 |
| Şekil 3.5. Alaşımların hazırlanmasında kullanılan fırınların şematik gösterimi; a) vakum eritme fırını, b) döküm fırını.....                                                                                                                                                     | 22 |
| Şekil 3.6. Al-%0.3 Cr-%2.0 Mn (Ağ) Ötektik alaşımı için yüksek sıcaklıkta uygulanan yapay yaşlandırma işlem basamakları .....                                                                                                                                                    | 23 |
| Şekil 3.7. Kül fırını .....                                                                                                                                                                                                                                                      | 24 |
| Şekil 3.8. Numune kalıplarından epoksi- resin ile kalıplanma aşamasına kadar yapılan işlemlerin gösterimi .....                                                                                                                                                                  | 25 |
| Şekil 3.9. Zımpara kâğıtlarının fotoğrafı .....                                                                                                                                                                                                                                  | 25 |
| Şekil 3.10. Taramalı elektron mikroskopunun (SEM) fotoğrafı .....                                                                                                                                                                                                                | 27 |
| Şekil 3.11. Saf alüminyum için elde edilmiş DTA eğrisi .....                                                                                                                                                                                                                     | 29 |
| Şekil 4.1. Al-Cr-Mn ötektik alaşımının mikroyapısına ait sem görüntüleri; a) ısıt işlem uygulanmamış, boyuna kesit, b) ısıt işlem uygulanmamış, enine kesit, c) 350oc'de 3 saat ısıt işlem uygulanmış, boyuna kesit, d) 350oc'de 3 saat ısıt işlem uygulanmış, enine kesit ..... | 32 |
| Şekil 4.2. Al-Cr-Mn Ötektik alaşımının SEM görüntüleri ve EDS sonuçları, (a) boyuna kesit (döküm), (b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü (a), (c) gri fazın EDS sonucu (Spot 1), (d) alanın EDS sonucu, e) matris fazının EDS sonucu (Spot 2).....                                  | 33 |
| Şeki 4.3. Al-%0.3Cr-%2.0Mn (ağ) alaşımı için ısıt işlem uygulanmamış numunelerden elde edilen XRD desenleri .....                                                                                                                                                                | 34 |
| Şekil 4.4. Isıt işlem uygulanmamış Al-Cr-Mn ötektik alaşımının haritalama görüntüsü .....                                                                                                                                                                                        | 34 |
| Şekil 4.5. Al-0.3Cr-2.0Mn (ağırlıkça%) ötektik alaşımı için farklı ısıt işlem sürecindeki sertlik değerleri.....                                                                                                                                                                 | 35 |
| Şekil 4.6. Al-0.3Cr-2.0Mn (ağırlıkça %) ötektik alaşımının farklı ısıt işlem süreçlerinde çekme dayanımı-uzama eğrileri .....                                                                                                                                                    | 36 |
| Şekil 4.7. Sabit Isıtma hızında (10oC/dak) Al-0.3Cr-2.0Mn (%ağ) ötektik alaşımının DTA ısıtma eğrisi.....                                                                                                                                                                        | 37 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1. Alüminyumun genel özellikleri .....                                                                                             | 4  |
| Çizelge 4.1. Isıl İşlem Görmemiş Al-Cr-Mn Ötektik Alaşımının Erime Sıcaklığı,<br>Füzyon Entalpisi ve Spesifik Isı Kapasitesi Değerleri ..... | 38 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

|                                 |                                       |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Al</b>                       | Alüminyum                             |
| <b>Cr</b>                       | Krom                                  |
| <b>Cu</b>                       | Bakır                                 |
| <b>DTA</b>                      | Diferansiyel Termal analiz            |
| <b>EDX</b>                      | Enerji Dağılım X-Işını Spektrometresi |
| <b>Fe</b>                       | Demir                                 |
| <b>F</b>                        | Üretilen alaşım                       |
| <b>H</b>                        | Isıl işlem tekniği                    |
| <b>HB</b>                       | Brinell sertlik değeri                |
| <b>HR</b>                       | Rockwell sertlik değeri               |
| <b>HK</b>                       | Knoop sertlik değeri                  |
| <b>HV</b>                       | Vickers sertlik değeri                |
| <b>Hf</b>                       | Füzyon ısısı                          |
| <b>Li</b>                       | Lityum                                |
| <b>Mg</b>                       | Magnezyum                             |
| <b>Mn</b>                       | Mangan                                |
| <b>O</b>                        | Tavlama işlemini                      |
| <b>SEM</b>                      | Taramalı Elektron Mikroskobu          |
| <b>Si</b>                       | Silisyum                              |
| <b>SiC</b>                      | Silisyum karbür                       |
| <b>T</b>                        | Isıl işlem tekniği                    |
| <b>Zn</b>                       | Çinko                                 |
| <b>XRD</b>                      | X-Işını Difraktometresi               |
| <b>W</b>                        | Çözündürme işlemi                     |
| <b><math>\sigma_u</math></b>    | Kopma mukavemeti                      |
| <b><math>\sigma_{AK}</math></b> | Akma mukavemeti                       |
| <b><math>\sigma</math></b>      | Çekme dayanımı                        |
| <b><math>\epsilon</math></b>    | Deformasyon (uzama) miktarı           |
| <b><math>\Delta L</math></b>    | Anlık alınan deformasyon miktarı      |

## 1. GİRİŞ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları ile ilgili ilk keşifler 19.yüzyılda başlamış olup, maliyetinin yüksek olması ve doğada alüminyum oksit olarak bulunması bu nedenle indirgenmesinin yüksek enerji gerektirmesi nedeniyle çok az kullanım alanı bulunurken günümüzde mühendislik uygulamalarında, malzeme bilimi ve mühendislik alanlarındaki yenilikler ve yaşanan teknolojik gelişmeler sonucunda Alüminyum ve alaşımlarının endüstrideki önemi giderek artmış ve demirden sonra en çok kullanılan metaller arasında yerini almıştır (Wolfgang, 1993).

Yaşanan teknolojik gelişmeler, alüminyumun kullanım alanlarının ev eşyalarından uzay teknolojisine kadar geniş bir alana yayılmasını sağlamıştır. Özellikle günümüzde otomobil ve havacılık endüstrileri, kirlilik krizini ortadan kaldıracak, üstün mekanik özelliklere sahip olan ve daha az yakıt tüketen hafif malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Bu gereklilikleri yerine getirmek için, alüminyum ve alaşımlarının, yüksek spesifik mukavemet, iyi korozyon direnci, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek mukavemet / ağırlık oranı gibi ek özelliklere sahip olması beklenmektedir. Bu nedenle alaşımların mikro yapılarının ve dolayısıyla mekanik ve termoelektriksel özelliklerinin optimize edilmesi, modern endüstriyel uygulamalarda büyük bir önem taşımaktadır. Alüminyumun özellikle düşük mukavemet probleminin üstesinden gelebilmek ve yüksek mukavemet / ağırlık oranı için Si, Cu, Mg, Mn, Ni ve Zn gibi metallerle çeşitli oranlarda alaşım yapılması ve alaşımın ısıtılma tabii tutulması gerekmektedir.

Bu minvalde, Al-Mn-Cr (Alüminyum-Mangan-Krom) ötektik alaşımına, uygulanan belirli ısıtılma süreçleri ile düşük mukavemet problemi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

Alüminyum alaşımları, hafiflikleri, korozyon dirençleri ve iyi mekanik özellikleri nedeniyle geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Mangan (Mn) ve krom (Cr) elementleri, bu alaşımların özelliklerini iyileştirebilir ve endüstrinin farklı alanları için uygun hale getirebilir. Mangan, alüminyum alaşımlarında çözünürlük sınırını artırarak sertlik ve dayanıklılığı iyileştirebilirken, krom elementi de bu alaşımların güçlendirilmesinde ve termal kararlılık sağlanmasında etkili olabilir.

Bu alışmada, Al-Mn-Cr alaşımına uygulanan çeşitli ısıl işlem süreçlerinin mikroyapı, mekanik ve termoelektriksel/fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenecektir. Isıl işlemler, alaşımın mikroyapısal ve fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir; bu nedenle, uygun ısıl işlem koşullarının belirlenmesi, alaşımın performansını artırmak için bk öneme sahiptir. Mikroyapı analizi, alaşımın içyapısındaki değişiklikleri ve faz oluşumlarını belirlemek için kullanılırken, mekanik özellikler (sertlik, çekme dayanımı vb.) ve termoelektriksel özellikler (erime sıcaklığı, füzyon entalpisi ve ısı kapasitesi, vb) de performans değerlendirmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bu tez, Al-Mn-Cr alaşımının ısıl işlemler sonrası mikroyapısal değişimlerini, mekanik özelliklerini ve termoelektriksel/fiziksel davranışını detaylı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, malzeme mühendisliğinde uygulanabilir yeni bilgiler sunacak ve endüstriyel uygulamalar için daha iyi performans sağlayacak alaşımların geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİSİ

### 2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri

Alüminyum 20.yüzyılda demirden sonra endüstride en çok kullanım alanına sahip metallere birisidir. Hafifliği, bozulmaya karşı dirençli oluşu, işlenebilirliği, elektrik ve ısıyı iyi iletebilmesi tercih edilen bir malzeme olarak öne çıkmasını sağlamıştır (Aydın, 2008; Demirci, 2004).

Alüminyumun üretimi genellikle boksit cevherinden başlar. Boksit, Bayer yöntemi ile alüminaya dönüştürülür ve daha sonra Hall-Héroult yöntemiyle saf alüminyum elde edilir. Bu süreçte elektroliz yoluyla alüminyum ve oksijen atomları ayrılır. Alüminyum aynı zamanda alaşımlar şeklinde de kullanılmaktadır, magnezyum, silisyum ve benzer elementlerle yapılan alaşımlar, metalin dayanımını artırır ve farklı uygulama sıcaklıklarına uygun hale getirir. Alüminyum alaşımları, özellikle uçak gövdeleri ve savunma sanayinde tercih edilir (Demirci, 2004; Totten, 2003; Yıldırım, 2006).

Alüminyumun tercih edilme sebeplerinden birisi de kolay bir şekilde geri dönüştürülebilir olmasıdır. Geri dönüşüm süreci, büyük ölçüde tasarruf ettiren ve patlama etkilerini azaltan bir işlem olduğu için alüminyum çevre dostu bir malzeme olarak da kabul edilir.

Yapılan literatür araştırmalarında tablo 2.1’de belirtilen, Alüminyumun genel özellikleri olan mekanik, fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerine odaklanılmıştır (Demirci, 2004).

#### Fiziksel Özellikler:

- **Yoğunluk:**  $2.70 \text{ g/cm}^3$  (diğer metallere kıyasla düşük yoğunluğa sahiptir, bu da hafifliğini sağlar).
- **Renk:** Gümüşümsü-beyaz.
- **Yüzey Özelliği:** Yüksek yansıtıcılığa sahip, parlak bir yüzeyi vardır.
- **Korozyon Direnci:** Oksit tabakası sayesinde korozyona karşı dirençlidir.

### Mekanik Özellikler:

- **Mukavemet:** Saf alüminyumun mukavemeti düşüktür (yaklaşık 70-200 MPa), ancak alaşımlarla güçlendirilir.
- **Elastiklik Modülü:** Yaklaşık 70 GPa (çelikten daha düşüktür).
- **Çekme Dayanımı:** Alaşımlarına bağlı olarak değişmekle birlikte 90-700 MPa arasında olabilir.
- **Sünekliği:** Alüminyum sünek bir metaldir; şekil değiştirebilme kapasitesi yüksektir.
- **Sertlik:** Saf haliyle yumuşak bir malzemedir, ancak alaşımlarında sertliği artırılabilir.

### Termal Özellikler:

- **Isıl İletkenlik:** Alüminyum iyi bir ısı iletkenidir, yaklaşık 205-250 W/m·K.
- **Erime Noktası:** 660.3°C.
- **Isıl Genleşme Katsayısı:**  $23.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (diğer metallerle karşılaştırıldığında ısı genleşmesi nispeten yüksektir).
- **Elektrik İletkenliği:** İyi bir elektrik iletkenidir; bakırdan sonra ikinci en yaygın kullanılan iletken malzemedir.

**Çizelge 2. 1.** Alüminyumun genel özellikleri (Demirci, 2004).

| Alüminyum Genel Özellikleri                     |         |
|-------------------------------------------------|---------|
| Ergime Sıcaklığı (°C)                           | 660     |
| Kaynama Sıcaklığı (°C)                          | 2500    |
| Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )                   | 2,7     |
| İzafî Atomik Kütle                              | 26,98   |
| Oksidasyon Numarası                             | 3       |
| Atomik Yarıçap (pm)                             | 143,1   |
| İyonik Yarıçap (pm)                             | 57 (+3) |
| Elektriksel İletkenlik (m/Ohm.mm <sup>2</sup> ) | 36      |

Alüminyum, hafif, dayanıklı ve aşınmaya karşı dayanıklı bir metal olduğu için çeşitli kullanım alanlarında yaygın olarak tercih edilir. Alüminyumun önemli kullanım alanları:

**Ulaşım sektörü:** Alüminyum, uçaklar, otomobiller, trenler ve deniz araçları gibi ulaşım araçlarında kullanılır. Hafif olması nedeniyle taşıtların yakıt kapasitesini azaltır.

**Ambalaj endüstrisi:** Yiyecek ve içecek ambalajlarında alüminyum folyo veya kutular tüketilir. Bu tür ambalajlar, içeriği korurken hava, su ve ışık gibi dış korumayı da sağlar.

**İnşaat sektörü:** Alüminyum, çatı kaplama, pencere çerçeveleri, kapılar, kanatlar ve cephe kaplamalarında yaygın olarak kullanılır. Hafifliği basitleştirme ve resimlerin genel ağırlığını azaltır.

**Elektrik ve elektronik endüstrisi:** Alüminyum, elektrik kabloları, transformatörler, kondansatörler, elektrik prizleri ve çeşitli elektrik şebekelerinde kullanılır.

**Ev eşyaları:** Tencere, tava, tabak, bardak ve diğer mutfak eşyalarının dış kısmında kullanılır.

**Paketleme endüstrisi:** Alüminyum, ilaçlar, kozmetik ürünler ve kimyasalların çeşitli yollarla ambalajlamasında kullanılır.

**Güvenlik ve savunma:** Hafif ve dayanıklı yapı nedeniyle alüminyum, savunma sanayisinde uçak, zırhlı araçlar ve gemiler gibi askeri ekipmanlarda önemli bir rol oynar.

**Spor ve rekreasyon:** Bisikletler, yürüyüş çerçeveleri, spor ekipmanları ve açık hava mobilyalarının yapımında kullanılır.

**Sanat ve tasarım:** Alüminyum, heykeller, sanat eserleri ve dekoratif görünümlü eşyaların yapımında da kullanılır.

Alüminyumun bu geniş kullanım alanları, metal çeşitliliğinin pek çok işletme avantajının sağlanmasından sorumludur. Hafif olması, yüksek dayanımlı, aşınmaya dayanıklı ve kolay işlenebilirliği, alüminyumu çok yönlü bir malzeme haline getirmiştir.

## 2.2. Alüminyum Alaşımları ve Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlar, alüminyum elementinin diğer metallerle karıştırılarak elde edilen malzemelerdir. Alüminyum, hafif, dayanıklı ve korozyona karşı dirençli bir metal olduğundan, endüstride çok alanda yaygın olarak kullanılır. Ancak, bazı uygulamalarda saf alüminyumun özellikleri yetersiz olduğundan, farklı metallerle alaşım yapılarak alüminyumun özelliklerini geliştirmek ve uygulamalara uygun hale getirmek mümkündür.

Bu alaşımların farklı uygulamalarda kullanılmasının temel nedeni, çeşitli özellikleri ve mukavemet seviyeleri ile farklı ihtiyaçları karşılamalarıdır. Alüminyum alaşımları, hafif olmaları nedeniyle uçak ve otomotiv endüstrisinde sıkça tercih edilirken, korozyona karşı direnci nedeniyle denizcilik ve yapısal uygulamalarda da kullanılmaktadır. Ayrıca, elektrik iletkenliği ve ısı iletkenliği gibi özellikleri sayesinde elektrik ve elektronik endüstrisinde de kullanılmaktadırlar.

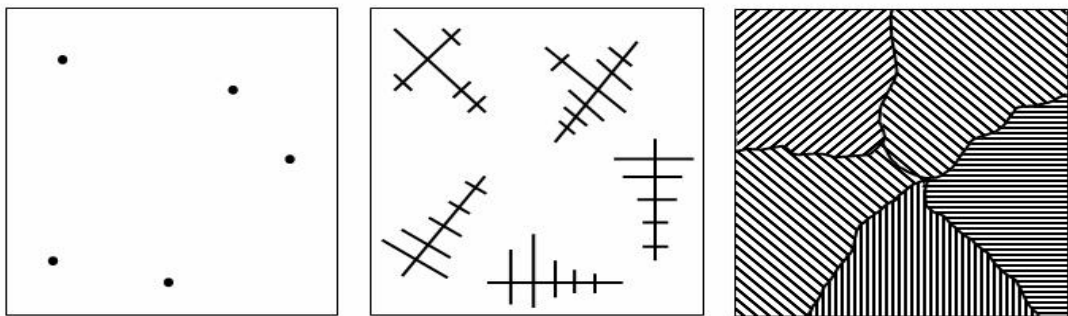
Temel üretim yöntemlerine göre, dövme ve döküm (dökme) alaşımlar olmak üzere alüminyum alaşımları ikiye ayrılır. Dövme alüminyum alaşımları, şekil verme işlemleri ile üretilen alaşımlardır. Bu alaşımlar genellikle yüksek mukavemet ve süneklığe sahiptir. Dövme alaşımlar, şekil verme işlemlerine dayanıklıdır ve özellikle otomotiv, havacılık ve inşaat sektörlerinde kullanılır. Eklenen metale göre; dört rakamdan oluşan bir sınıflandırma kullanılmaktadır. Sınıflandırma sistemindeki birinci rakam, alüminyuma ilave edilen esas metali gösterir. 2xxx serisinden 7xxx ana grubuna kadar her grup en büyük alaşım elementine göre adlandırılmaktadır (Demir, 2007; Mathers, 2002; Smith, 1986).

Döküm Alüminyum alaşımları, eritilmiş alüminyumun kalıplara dökülmesi yoluyla üretilir. Bu alaşımlar daha çok karmaşık şekilli parçalarda kullanılır ve düşük maliyetlidir. Döküm alaşımları genellikle %85-%95 oranında alüminyum içerir ve geri kalan kısmı çeşitli alaşım elementlerinden oluşur.

Alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılması, metalin endüstriyel kullanım alanları açısından önem arz etmektedir. Alaşımların bileşenlerine bağlı olarak sahip oldukları farklı özellikler, onları çeşitli endüstriyel uygulamalara uygun hale getirmektedir.

### 2.3. Alüminyum Alaşımlarının Katılaşması

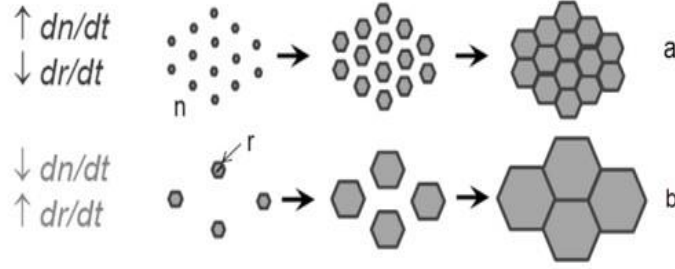
Alüminyum alaşımlarının katılaşma süreci, alaşımın bileşimine, döküm yöntemine ve soğutma hızına bağlı olarak değişir. Katılaşma, bir sıvı metalin belirli bir sıcaklıkta katı hale geçişidir ve bu süreç, alaşımın mikro yapısını, mekanik özelliklerini ve nihai performansını etkileyen kritik bir aşamadır. Dolayısıyla mikro yapının temeli ve kontrolü katılaşmada, döküm kalitesini artırmada büyük önem taşımaktadır (Smith, 2001). Çekirdeklenme ve büyüme olmak üzere katılaşma iki bölümden oluşur, şekil 2.1’de gösterilmiştir. Çekirdeklenme, küçük katı parçacıklarının sıvıdan embriyolaşması ile olur. Malzeme kalıp boşluğuna döküldüğünde; kalıp duvarlarından, ergiyik içerisinde bulunan veya alaşımın diğer bileşiklerinden katılaşma başlar. Katının büyümesi, katılaşma tamamlanana kadar devam eder. Alüminyum döküm alaşımlarının katılaşması da kalıp duvarlarından, ergiyik içerisindeki bileşiklerin çekirdek merkezleri oluşturması ve genellikle  $\alpha$  alüminyum dendritlerinin oluşumu ile başlar. Katılaşma bunların birleşerek büyümesi ile devam eder. Katılaşma ilerledikçe alaşım bileşimine bağlı olarak değişen çeşitli fazların çökmesi gerçekleşir ve katılaşma genellikle ötektik reaksiyon ile tamamlanır (Askeland, 1998). Soğumanın hızlı olduğu ince kesitlerde katılaşma başlar ve bu sırada oluşan hacim azalmaları nedeniyle o ana kadar katılaşmamış olan kalın kesitlerdeki sıvı bu bölgeleri besler. Katılaşma kalın kesitlerin ince kesitleri beslemesiyle ilerlemeli ve en son katılaşan bölgelerin dışa açık olan yolluk ve besleyicilerde kalması sağlanmalıdır (Aran, 1999). Böylece çekme boşluğu veya diğer kusurların parça içinde oluşması önlenir.



**Şekil 2.1.** Çekirdeklerin kristaller halinde büyümesi ve tane yapısının oluşması.

İnce taneli bir yapı elde etmek için katılaşma esnasında yüksek bir çekirdeklenme hızı ve sonrasında çekirdeklenen tanelerin yavaş büyümeleri gerekmektedir.

Çekirdeklenme kalıp duvarlarından başlayabileceği gibi alaşıma bilinçli olarak katılan heterojen çekirdeklerle de sağlanabilir (Birol, 2012). Şekil 2.2’de yüksek çekirdeklenme ve yavaş soğuma sonucu oluşan tane yapısı ile düşük çekirdeklenme ve hızlı büyüme sonucu oluşan tane yapıları şematik olarak verilerek karşılaştırmaları yapılmıştır.



**Şekil 2.2.** a) Yüksek çekirdeklenme ve yavaş büyüme sonucu oluşan ince taneli, b) düşük çekirdeklenme ve hızlı büyüme sonucu oluşan kaba taneli yapı görüntüsü (  $dn/dt$  = zamana bağlı olarak değişen çekirdek çapı değişimi) (Birol, 2012).

Heterojen çekirdeklenme aşırı soğumaya çok az izin verir veya hiç vermez, dolayısıyla katılaşma sıvılaşma sıcaklığına ulaştığında başlar. Katının büyümesi için iki koşul gereklidir. Öncelikle büyüme bunu gerektirir sıvı katılaştıkça gelişen gizli füzyon ısısı ( $H_f$ ) sıvıdan uzaklaştırılır. Katı-sıvı ara yüzü, ikincisi, saf metallerin durumundan farklı olarak difüzyonun gerçekleşmesi gerekir; katı ve sıvı fazların bileşimleri katılaşma ve sıvılaşma eğrilerini takip eder. Gizli füzyon ısısı ( $H_f$ ) belirli bir sıcaklık aralığında uzaklaştırılır, böylece soğuma eğrisi düz bir plato yerine eğimde bir değişiklik gösterir (Askeland, 1998).

#### 2.4. Ötektik Alaşımlar

Ötektik alaşımlar, iki veya daha fazla metalin karışımından oluşan özel alaşımlardır. Bu alaşımlar, belirli bir oranda karışıtlarında belirgin özelliklere sahip olabilirler. Ötektik alaşımların özellikleri, içerdikleri elementlerin oranına bağlı olarak değişebilir. Bu alaşımlar genellikle belirli sıcaklık aralıklarında ötektik noktalarda erime veya katılaşma eğilimindedirler. Ötektik alaşımların endüstriyel ve malzeme bilimi uygulamalarında çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Bu alaşımlar, mükemmel mukavemet, korozyon direnci veya özel elektriksel özelliklere sahiptir.

Alaşımların erime sıcaklıkları, metallerin ayrı ayrı erime sıcaklıklarından daha düşük olduğu için ötektik kolay eriyen anlamına da gelmektedir.

Birbiri içinde sıvı halde tamamen çözünen katı halde ise kısmen çözünen iki elementten biri diğerine ilave edilince o elementin ergime sıcaklığı düşer. Bu düşüş ilave edilen elementin ağırlığı ile orantılıdır. İki farklı katı faz ile sıvı fazın dengede olduğu üçlü bölgeye “ötektik bölge” denir. Alaşımların katılaşması saf elementlerde olduğu gibi sabit sıcaklıkta gerçekleşir ve sabit sıcaklığa *ötektik sıcaklık*, bileşime de *ötektik alaşım* denir. Ötektik alaşım sisteminde, elementler birbirinin erime sıcaklıklarını düşürerek, sıvı faz aynı anda iki farklı katı faza dönüşür ve oluşan ötektik reaksiyon,



şeklinde gösterilir (Onaran, 1986). Bu şekildeki alaşım sistemleri *ötektik sistemleri*, iki katı fazın yan yana gelerek ince tabakalar halinde şekillenmesi ile de *ötektik yapı* oluşur (Askeland, 1990).

Ötektik yapılar, malzemelerin karmaşık termodinamik koşullarda gösterdiği çeşitli kristal dönüşümlerini kapsayan önemli bir konseptir. Bu yapıların sınıflandırılması, malzeme biliminde ilerlemenin ve yenilikçi uygulamaların temelini oluşturur ( Chadwic, 1962; Easterling, 1990; Jordan, 1971; Scheil, 1959).

Ötektik alaşımların fiziksel ve kimyasal özellikleri, içerdikleri elementlere ve oranlara bağlı olarak değişebilir. Ancak genel olarak şu özelliklere sahiptirler:

**Düşük Erime Noktası:** Ötektik alaşımlar, bileşenlerinin saf hallerinden daha düşük bir sıcaklıkta erirler. Bu yüzden birçok ötektik alaşım düşük sıcaklık uygulamaları için idealdir.

**İyi Akışkanlık:** Erime sıcaklığının düşük olması, ötektik alaşımların döküm ve kaynak gibi işlemlerde daha akışkan olmasını sağlar. Bu da özellikle kalıp dökümünde avantaj sağlar.

**Homojen Katılaşma:** Ötektik sıcaklıkta katılaşma, alaşımın tek bir fazdan ziyade iki veya daha fazla fazın karışımı halinde katılaşmasını sağlar. Bu durum, alaşımın mekanik özelliklerini ve mukavemetini artırabilir.

**Mikro Yapı:** Ötektik alaşımlar ince ve düzenli bir mikro yapı oluşturur. Bu mikro yapının türü, alaşımın mekanik özelliklerini etkiler. Örneğin, ince yapılar daha yüksek mukavemet ve sertlik sağlayabilir.

**Isıl ve Elektriksel İletkenlik:** Ötektik alaşımlar genellikle iyi ısıl ve elektriksel iletkenliğe sahiptir. Bu özellik, özellikle elektronik endüstrisinde önemlidir.

**Kimyasal Kararlılık:** Ötektik alaşımlar, içerdikleri elementlerin kimyasal kararlılığına bağlı olarak korozyona karşı direnç gösterebilirler.

**Reaktivite:** Elementlerin reaktif olma eğilimleri, alaşımın genel reaktivitesini belirler.

**Korozyon Direnci:** Su, asitler veya diğer kimyasal ortamlara karşı direnç gösterme yeteneği.

Bu özellikler, ötektik alaşımların spesifik bileşimine ve kullanım amacına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Örneğin, bir ötektik alaşımın yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılacaksa, termal dayanıklılık ve mekanik mukavemet özellikleri önemli olabilir.

Ötektik alaşımlar, çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek özel niteliklere sahip oldukları için bir dizi farklı sektörde kullanılmaktadır.

## 2.5. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler ve Özellikleri

Isıl işlem, malzemelerin ısıtma ve soğutma işlemlerini içeren bir dizi termal işlemler olup, malzemelerin mekanik özelliklerini, yapılarını ve performanslarını değiştirmek için uygulanır. Isıl işlem, malzemelerin sertleştirilmesi, yumuşatılması, gerilim giderme, özgül mukavemetin artırılması için kullanılmaktadır.

Isıl işlem genellikle metal malzemeler üzerine uygulanırken metal alaşımlarına da uygulanmaktadır. Taşıt teknolojisi, uzay sanayisinde yüksek dayanım/yoğunluk oranına sahip alaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Dayanım oranını artırabilmek için

yapı içerisinde ısıtıl işlem yöntemiyle ikincil fazların oluşumu sağlanır. Alaşımın sertlik ve dayanımını artırmak için, uygun ısıtıl işlem sonrasında ana fazın içerisinde bulunan küçük ikinci fazın uniform şekilde dağıtılmış haline çökelti denilir. Bu işlemede çökelti sertleşmesi adı verilir. Alaşımın dayanımı zamanla arttığı ve bu sürede alaşım bir anlamda yaşlanmış olduğu için, bu işlem aynı zamanda yaşlandırma sertleşmesi olarak da bilinir. Dayanımı artırma yöntemlerinden en etkili olanıdır ve daha çok demir dışı metal alaşımlarında (Al, Ti, Mg) kullanılmaktadır (Kayalı, 1991).

Alüminyum alaşımlarına uygulanan farklı ısıtıl işlem teknikleri vardır. “T” ve “H” sembolü ile adlandırılırlar. Alüminyum ısıtıl işlemlerinde kullanılan temper sembollerinden (O) tavlama işlemini, (W) çözündürme yapıldığını ve (F) üretilen alaşım anlamına gelir. “T” ve “H” sembolleri sonrası rakamlar, pekleşme oranını, ısıtıl işlem çeşidini veya özel üretim hallerini ifade etmektedir.

Alüminyum alaşımlarına uygulanan T5 ısıtıl işlem yöntemi, genellikle hafif yapısal uygulamalarda kullanılan bir işlem olup, alaşımın mekanik özelliklerini artırmak amacıyla uygulanır. Alaşımın genellikle ekstrüzyon olan yüksek sıcaklıktaki bir şekillendirme işleminden soğutulduğunu veya fabrikasyon sıcaklığından soğutulduğunu ve ardından herhangi bir ara soğuk işlem yapılmadan yapay olarak yaşlandırıldığını belirtir. Yapay yaşlandırma, çökeltme sertleşmesinin gerçekleşmesine izin vermek için yeterince yüksek bir sıcaklıkta ve yeterince uzun bir süre tutulmasından oluşur (Kaufman, 2000).

T5 ısıtıl işlem ile elde edilen alüminyum alaşımlar, iyi bir çekme dayanımına, yorulma direncine ve genel dayanıklılığa sahip olur. Özellikle inşaat, otomotiv ve havacılık sektörlerinde tercih edilir (Callister, 2018; Dieter, 1986).

## 2.6. Sertlik

Alüminyum alaşımlarının sertlik ölçümleri, alaşımın mekanik özelliklerini anlamak ve uygunluğunu değerlendirmek için önemlidir. Sertlik, bir malzemenin deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Dayanımı yüksek ve aşınma direnci fazla olan malzemelere sert malzemeler diyebiliriz. Sertlik; süneklik, mukavemet ve tokluk gibi mekaniksel özellikler ile ilgilidir. Malzeme üzerine elmas bir ucun batırılmasına, malzemenin göstermiş olduğu dirence, malzemenin *sertliği* veya *mikrosertliği* denir.

Malzemelerin sertlik ölçümlerinde kullanılan cihazlar, yapılan testler ve geliştirilen düzeneklere göre uygulayan kişilerin ismini alarak farklı sertlik ölçüm yöntemleri ortaya çıkmıştır. Ancak tüm yöntemlerde mikroskopik düzeyde sertlik değerlerin ölçülmesi esas alınmıştır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan dört çeşit sertlik ölçme yöntemi vardır. Bunlar,

- a) Brinell Sertlik Testi,
- b) Rockwell Sertlik Testi,
- c) Knoop Sertlik Testi,
- d) Vickers Sertlik Testi

### 2.6.1 Brinell sertlik testi

Sert bir çelik veya karbür topun belirli bir kuvvetle malzeme yüzeyine batırılmasıyla elde edilen iz çapının ölçülmesiyle bulunur. Malzemeye 10-15 saniye süre ile yük uygulanır. Şekil 2.3'te Brinell sertlik testinin şematik gösterimi verilmiştir.

Malzeme üzerindeki izin alanı bulunarak, Brinell sertlik ( $H_B$ ) değeri;

$$H_B = \frac{\text{Uygulanan yük (kgf)}}{\text{İz yüzeyi (mm}^2\text{)}} \quad (2.1)$$

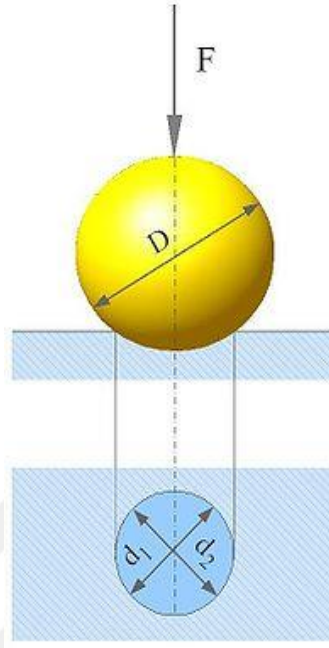
$$H_B = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kgf / mm}^2) \quad (2.2)$$

hesaplanır (Colling, 1995).  $F$ ; numuneye uygulanan yük,  $D$ ; baskı küresinin çapı,  $d$ ; numune üzerinde oluşan izin çapıdır.

### 2.6.2. Rockwell sertlik testi

Rockwell sertlik testi, yumuşak malzemeler için küçük çaplı bir çelik bilye, daha sert malzemeler için bir elmas koni veya Brale kullanır. Giricinin nüfuz derinliği test makinesi tarafından otomatik olarak ölçülür ve Rockwell sertliğine dönüştürülür ve birimi (HR)'dir. Girinti boyutlarının optik ölçümüne gerek olmadığından, Rockwell testi Brinell testinden daha popüler olma eğilimindedir. Bir Rockwell C (HRC) testi

sert çelikler için kullanılırken alüminyum için Rockwell F (HRF) testi seçilebilir. Rockwell testleri, birimi olmayan bir sertlik numarası sağlar (Askeland, 1998).



**Şekil 2.3.** Brinell sertlik ölçüm testi (Colling, 1995).

Malzemeye uygun ağırlık ve uç seçilir. Önce 10 kg’lık bir kütle ile yük uygulanarak malzemeye temas ettiği anda bir başlangıç noktası tespit edilir, daha sonra cihazın ibresi sıfıra ayarlanarak kalan ağırlıklar yüklenir. Bu durumda ucun, malzemeye batması beklenir. Bir süre sonra son yüklenen ağırlık kaldırılarak sertlik değeri göstergeden okunur. Ölçüm sonucunda ucun malzemeye ne kadar derin battığı o malzemenin yumuşaklığıyla ilgilidir (Colling, 1995; Emerson vd.,1939).

### 2.6.3. Knoop sertlik testi

Vickers testine benzer ancak daha uzun, daha ince izler bırakır. Özellikle ince ve kırılgan malzemeler için uygundur. Testte sertliği ölçülecek malzeme üzerinde sadece küçük bir iz oluşur. U, belirli bir kuvvet ve süre ile uygulanır. Ancak mikroskopla okunabilecek kadar bir iz oluşur. Knoop sertliği  $H_K$  veya  $KHN$  ile gösterilir ve aşağıdaki formülle ifade edilir;

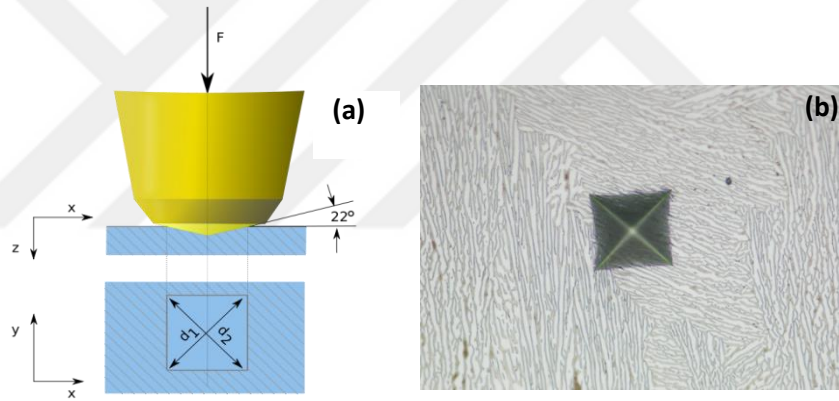
$$H_K = \frac{\text{Uygulanan Yük}}{\text{İz Alanı}} = \frac{P}{C_P L^2} (kgf/mm^2) \quad (2.3)$$

$L$ ; numune üzerindeki izin eksenel uzunluğu,  $C_p$ ; düzeltme faktörü (izin şekline bağlıdır ve genellikle 0.070279 değeri kullanılır) ve  $P$ ; uygulanan yük miktarıdır.

$H_K$  genellikle 100'den 1000'e kadar değişen sertlik değerlerini alır. Oluşan izin boyutu ölçülürken mikroskobun kullanılmasının zor olması, numuneyi hazırlama ve iz uygulama işlemlerinin zaman alması bu metodun zorluklarındandır (Kane, 1970).

#### 2.6.4. Vickers sertlik testi

Bu yöntemde, piramit şeklinde yüzeyleri arasında  $136^\circ$  açı bulunan bir elmas ucu belirli bir yük altında malzeme yüzeyine bastırılır. 10 g ile 1000 g arasında değişen yük, 5-30 saniye süre uygulanarak oluşan kare şeklindeki izin köşegen boyutları ( $d$ ) ölçülerek sertlik değeri hesaplanır (Şekil 2.4). Vickers testi, metal ve seramik gibi birçok farklı malzemenin sertliğini ölçmek için kullanılır.



**Şekil 2.4** (a) Vickers sertlik ölçüm metodunun şematik gösterimi, (Askeland, 1990) . (b) Batan ucun numune yüzeyinde bıraktığı izin fotoğrafı.

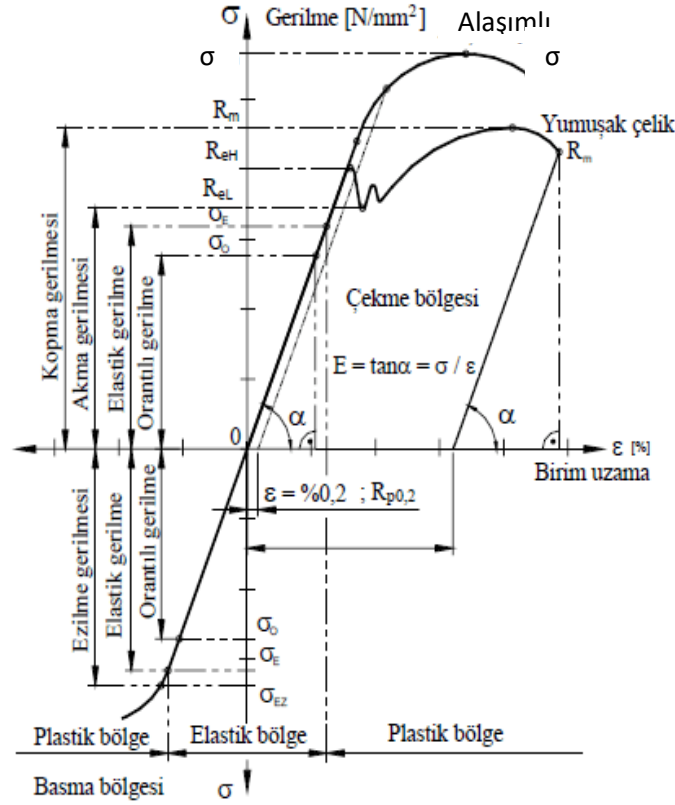
Vickers sertliği ( $HV$ ), uygulanan kuvvetin iz alanına bölünmesi ile belirlenir.

$$HV = \frac{2F \sin(\theta/2)}{g \cdot d^2} (kgf/mm^2) \quad (2.4)$$

$F$ ; uygulanan yük,  $g$ ; yer çekim ivmesi,  $d$  ( $d^2 = d_1 \cdot d_2$ ); izin alanıdır. Bu yöntem ile ince tabaka ve bölgelerin sertliği bile ölçülebildiğinden, bu yöntem ile ölçülen sertlik değerleri, mikrosertlik olarak da bilinir (Askeland, 1990; Colling, 1995; Emerson vd., 1939).

## 2.7. Çekme Dayanım

Alüminyum ve alaşımlarının çekme dayanımları, malzemenin mekanik özelliklerinin önemli bir parçasıdır. Çekme dayanımı, malzemenin kopmadan önce dayanabileceği maksimum gerilimi ifade eder (Şekil 2.5). Alüminyumun saf hali, genellikle düşük çekme dayanımına sahiptir, ancak alaşımlarla, güçlendirildiğinde, bu dayanım önemli ölçüde artar.



Şekil 2.5. Çekme-uzama diyagramı (Hall, 1951; Petch, 1953).

Alaşımların çekme dayanımları, ısıt işlemler ve işleme yöntemleri ile optimize edilebilir. Örneğin, 6061 ve 7075 gibi popüler alüminyum alaşımları, yüksek dayanım ve iyi işlenebilirlik sunar. Çekme testi ile elde edilen bu dayanımlar, uygulama alanına göre belirlenir ve yapı mühendisliği, otomotiv ve havacılık gibi birçok sektörde kritik öneme sahiptir.

Malzemenin dayanabileceği maksimum gerilimin büyüklüğü ile dış kuvvetlerin denge halinde olduğu durumda çekme dayanım ölçümü yapılır. Dış kuvvetlerin etkisi ile malzeme şekil değiştirerek dayanımını kaybeder ve kopar.

Çekme dayanım ölçümünde malzemede oluşan değişiklikler aşağıdaki gibidir (Hall, 1951; Petch, 1953).

**Kopma mukavemeti;** Sürekli ve düzenli uygulanan kuvvet sonucunda malzemenin koptuğu gerilme büyüklüğüne "*kopma mukavemeti*" adı verilir ve  $\sigma_U$  ile gösterilir.

**Akma mukavemeti;** Kuvvet sabit tutulurken kalıcı deformasyonun başladığı gerilmenin değerine "*akma mukavemeti*" adı verilir ve  $\sigma_{AK}$  veya  $\tau_{AK}$  ile gösterilir.

**% 0.2 Uzama mukavemeti;** Kuvvetin sabit kalmasına rağmen kalıcı deformasyonun % 0,2 olduğu gerilmenin değerine "% 0.2 uzama mukavemeti" adı verilir ve  $R_{p0.2}$  ile gösterilir.

**Orantılı mukavemet;** Sürekli ve düzenli olarak artan gerilme ile uzamanın birbirine oranının sabit kaldığı gerilme büyüklüğüne " *orantılı mukavemet* " adı verilir ve  $\sigma_O$  veya  $\tau_O$  ile gösterilir.

**Elastiklik modülü;** Orantılı mukavemette, gerilmenin uzamaya oranıdır.

Çekme-dayanımı  $\sigma$  ,

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

eşitliği ile hesaplanır ve birimi N/mm<sup>2</sup> veya MPa dır. Burada,  $F$  çekme kuvveti,  $A$  ise malzemenin deformasyona uğramadan önceki kesit alanıdır. Deformasyon (uzama) miktarı  $\varepsilon$  ,

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L} \quad (2.6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada,  $\Delta L$  anlık alınan deformasyon miktarı,  $L_0$  ise başlangıç uzunluğudur. Bir malzemenin çekme-dayanımı ne kadar yüksek ise o malzeme çekilirken o kadar az süner veya şekil değiştirir.

## **2.8. Termoelektriksel / Fiziksel Özellikler**

Isıl işlem görmüş alüminyum alaşımlarının termoelektriksel ve termofiziksel özellikleri, malzemenin yapısal, kimyasal ve fiziksel özelliklerini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Alüminyum alaşımları, hafif olmaları, yüksek korozyon direnci ve iyi elektriksel iletkenlikleri nedeniyle çeşitli endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

Isıl işlem bu alaşımların mekanik ve elektriksel özelliklerini iyileştirmekte önemli rol oynar.

Alüminyum alaşımlarının termoelektriksel özellikleri, elektrik iletkenliği, termal iletkenlik ve Seebeck katsayısı gibi parametrelerle tanımlanır. Termoelektriksel performans, bir alaşımın elektrik ve termal enerjiyi dönüştürme kapasitesini belirler (Zhang, 2020; Montgomery, 2018).

### **Elektriksel İletkenlik:**

Isıl işlem, alüminyum alaşımlarında dislokasyon yoğunluğunu azaltarak elektriksel iletkenliğini artırabilir. Çökelme sertleşmesi gibi ısıl işlem yöntemleri, malzemedeki çökeltilerin yapısını ve dağılımını değiştirir, bu da elektrik iletkenliğini etkiler. Alaşımlarda çözünme işlemleri sırasında meydana gelen atomik dağılım, elektriksel iletkenliğin artmasına yardımcı olur.

### **Seebeck Katsayısı:**

Alüminyum alaşımlarının termoelektrik verimliliğini belirleyen Seebeck katsayısı, ısıl işlem sonucu oluşan mikroyapısal değişikliklerden etkilenir. Bu katsayı, alüminyum alaşımlarında genellikle düşüktür. Fakat ısıl işlem, alaşımdaki farklı elementlerin dağılımını kontrol ederek bu özelliği iyileştirebilir. Seebeck katsayısının optimize edilmesi, alaşımın termoelektrik performansını artırmada kritik rol oynar.

### **Termal İletkenlik:**

Termal iletkenlik, alüminyum alaşımlarında genellikle yüksektir. Isıl işlem sırasında alaşımdaki mikroyapısal değişiklikler, fonon hareketliliğini etkileyerek termal iletkenlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Isıl işlem gören alüminyum

alaşımlarında çökelme sertleşmesi ve tane sınırı değişiklikleri, fonon yayılımını etkileyerek termal iletkenlikte artışa veya azalmaya neden olabilir.

### **Termofiziksel Özellikler:**

Alüminyum alaşımlarının termofiziksel özellikleri, özellikle yoğunluk, spesifik ısı ve genleşme katsayısı gibi parametreler ile tanımlanır. Bu özellikler, malzemenin termal davranışını ve yüksek sıcaklıklara karşı tepkisini belirler (Han, 2019).

### **Yoğunluk:**

Alüminyum alaşımlarının yoğunluğu, içeriğindeki elementlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Isıl işlem, mikroyapının homojenleşmesine yardımcı olur, ancak yoğunluk üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur. Fakat ısıtım sırasında çökelmelerin veya boşlukların oluşumu, yoğunluk üzerinde dolaylı etkiler yaratabilir.

### **Spesifik Isı (Özgöl Isı):**

Alüminyum alaşımlarında özgöl ısı, malzemenin ısı depolama kapasitesini belirler. Isıl işlem, alaşımların faz yapısında değişikliklere neden olarak özgöl ısı üzerinde de etkilidir. Alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda daha fazla enerji depolama kapasitesine sahip olabilirler ve bu da yüksek sıcaklık uygulamaları için önemlidir.

### **Genleşme Katsayısı:**

Alüminyum alaşımlarının termal genleşme katsayısı, ısıtım sonrası tane boyutu ve çökelti yapısındaki değişikliklerden etkilenir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan çökelme sertleşmesi işlemi, genleşme katsayısının optimize edilmesine yardımcı olur. Genleşme katsayısının kontrolü, özellikle yüksek sıcaklık altında çalışacak parçaların termal kararlılığını artırmak için önemlidir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yüksek saflıkta alüminyum (%99.9), krom (%99.99) ve mangan (%99.98) elementleri kullanılarak %97.7 Al - %0.3 Cr(ağ) - %2.0 Mn(ağ) ötektik alaşımı elde edilmiş ve bu alaşım sistemi üzerine farklı sıcaklıklarda ve farklı tutma sürelerinde ısıt işlemler uygulanarak ısıt işlem süreçlerinin alaşım sisteminin mikroyapısı üzerine etkisi ve dolayısıyla mikrosertlik, çekme-gerilme dayanımı ve korozyon tavırları ölçümleri yapılmıştır.

Aşağıda kontrollü katılaşma deneyi ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

#### 3.1. Deneysel Sistem

Deney sisteminde, döküm fırını kullanılmıştır. Aşağıda kullanılan fırın ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

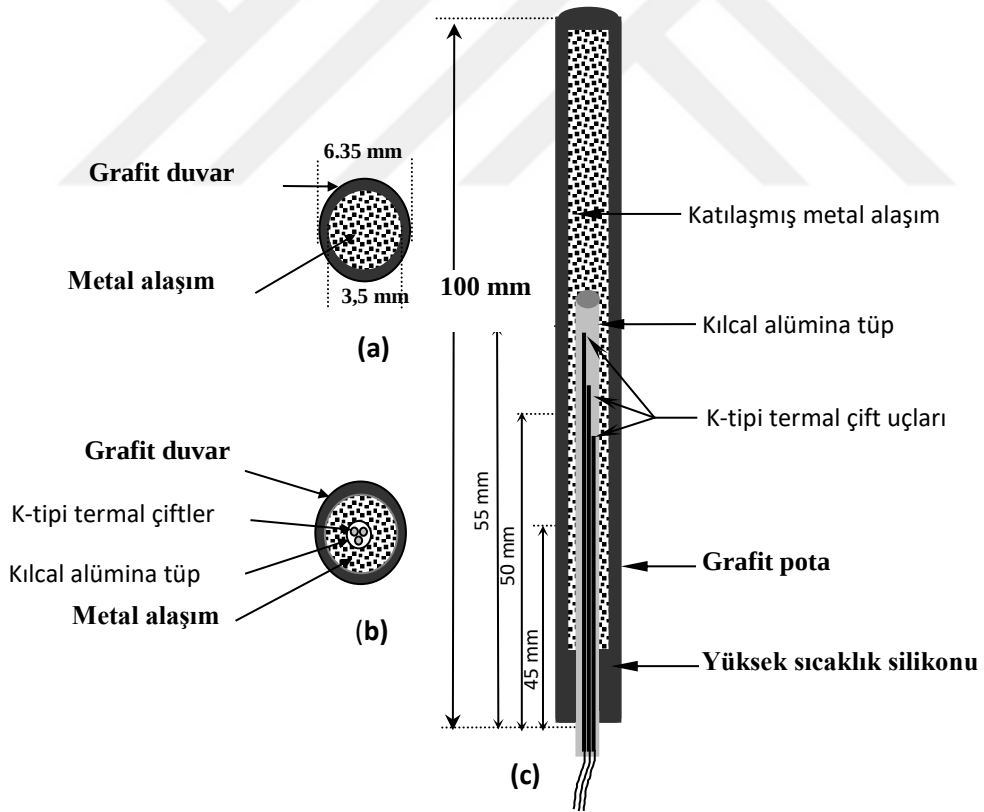
##### 3.1.1. Numune kalıplarının hazırlanması

Grafit, ısıyı iyi iletebilmesi, kolay şekillendirilebilmesi ve diğer metallerle reaksiyona girmemesi nedeniyle pota ve kalıp yapımında tercih edilmiştir. Kolay işlenebilen, ısıt iletkenliği yüksek, korozyona karşı direnci yüksek olan ve erime sıcaklığı 1400 °C'ye kadar olan metaller için kullanılabilen Morgan grafit bu çalışmada kullanılmıştır. 120 mm uzunluğunda 6.4 mm çapında grafit çubuklardan kalıplar hazırlanmıştır. Torna tezgâhında 100 mm uzunluğunda ve 3.5 mm çapında matkap uçları ile delinerek numune kalıpları elde edilmiştir (Şekil 3.1). Her bir dökümde çoklu kalıba döküm yapabilmek için 40 mm çapında grafitten kalıp tutucu yapılmıştır. Bu sayede aynı anda 7 kalıba döküm yapılmıştır. Her bir dökümde katılaştırma parametrelerini kayıt altına alabilmek için, bir tane kalıp içerisine termal çift yerleştirilmiştir. Termal çiftlere yönelik kalıpları yapmak için, dış çapı 1.2 mm ve iç çapı 0.8 mm olan alüminadan yapılmış bir tüp kullanıldı.

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, alümina tüp iki ucu delik olan numune kalıbının bir ucundan geçirilip diğer ucu merkezde olacak şekilde yerleştirilerek sızıntı olmaması için etrafı sıkı bir şekilde cam pamuğu ile desteklendi.



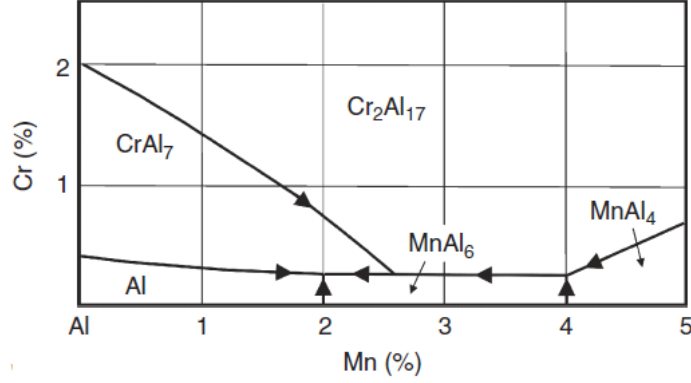
**Şekil 3.1.** Grafitten yapılmış numune kalıplar.



**Şekil 3.2.** Grafit numune kalıbı (a) Üst enine kesiti, (b) Alt enine kesiti, (c) Yandan görünüşü (Kaygısız, 2014).

### 3.1.2. Alaşımın hazırlanması

Al-Cr-Mn ötektik alaşımın kompozisyonu Şekil 3.3’ de verilen faz diyagramı yardımıyla belirlendi. Şekil 3.3’de verilen faz diyagramına göre ötektik bileşim ağırlıkça (ağ) Al%0.3 Cr-%2.0 Mn dir ve bu bileşimdeki ötektik reaksiyon;  $L \Rightarrow Al + CrAl_7 + MnAl_6$  şeklindedir (Zolotarevsky, 2007; Zhang, 2007).



Şekil 3.3. Al-Cr-Mn ötektik faz diyagramı

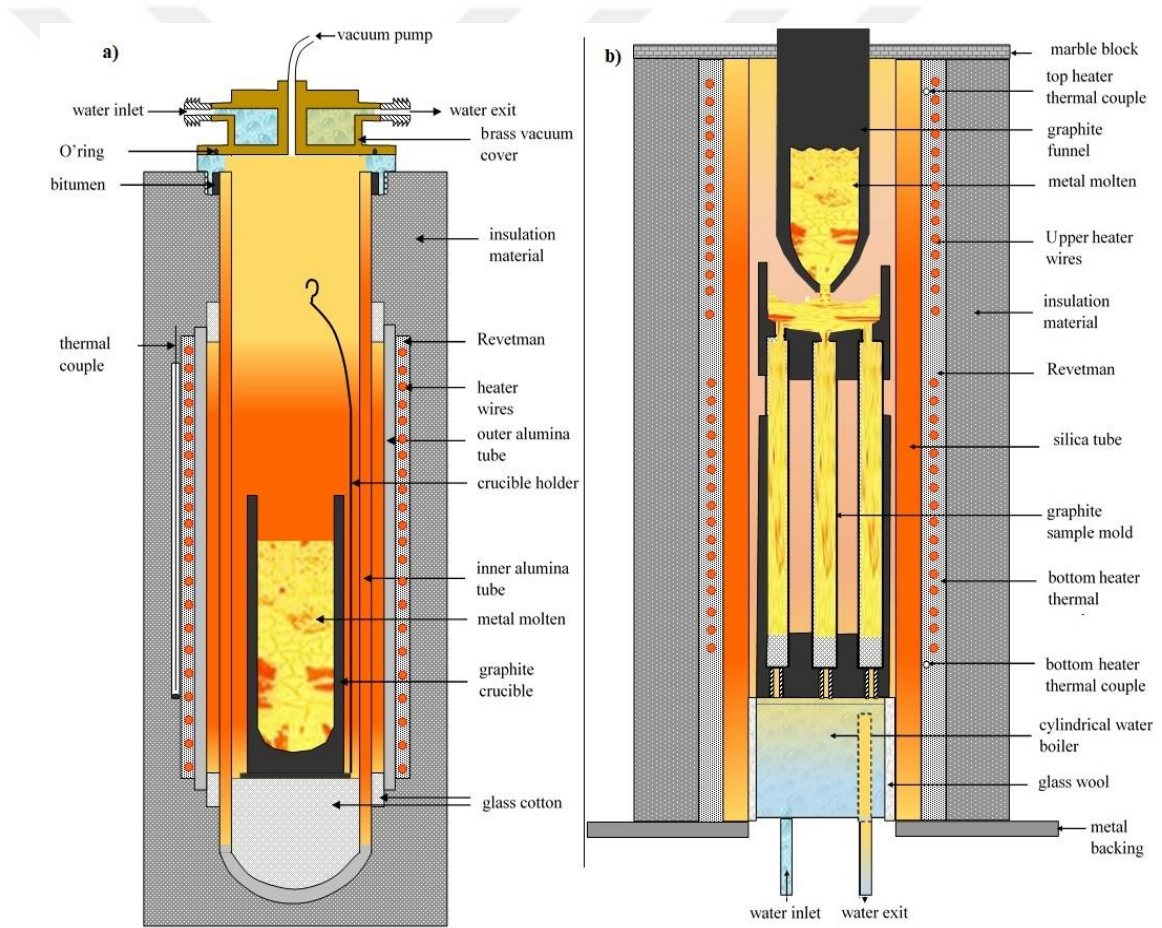
Alaşım hazırlanmasında yüksek saflıkta alüminyum (%99.9), krom (%99.99) ve mangan (%99.98) elementleri kullanılmıştır. Belirlenen ölçülerde 0.1 mg’a duyarlı WSA-224 tipi hassas terazi ile ölçülerek metallerin miktarları ayarlandı (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Alaşım metallerinin tartılmasında kullanılan hassas terazi.

### 3.1.3. Katılaştırma işlemi

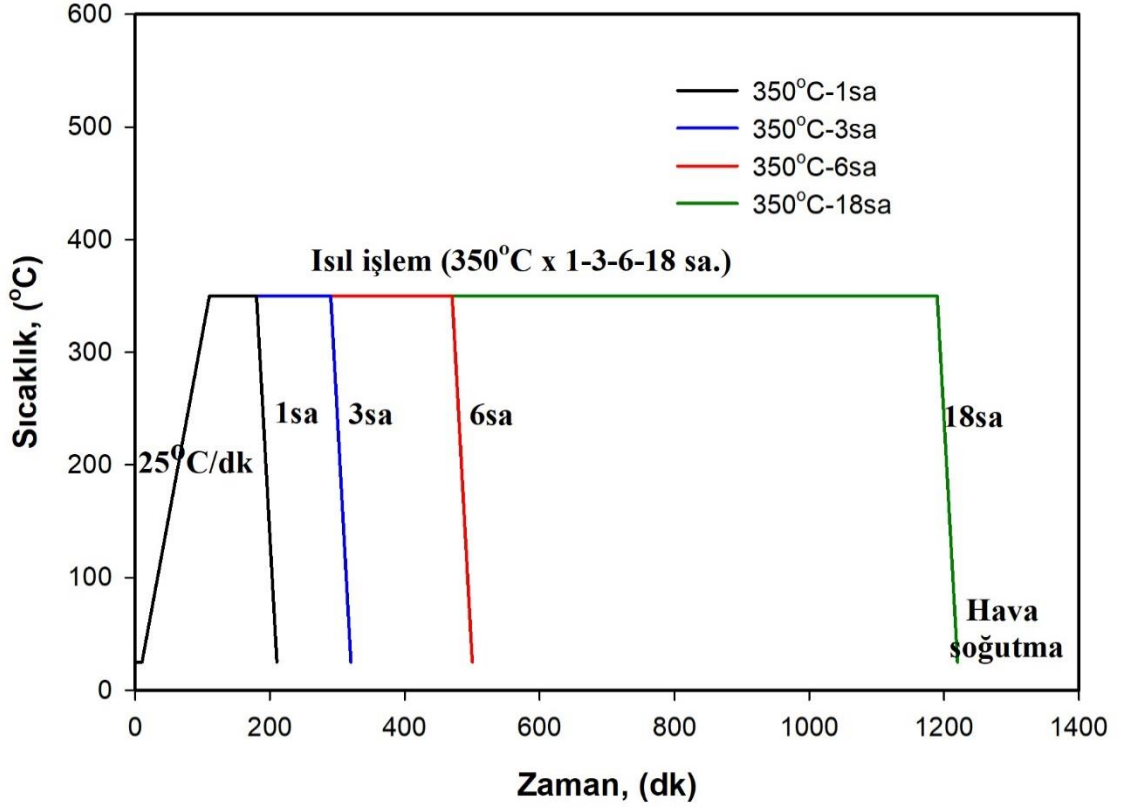
Hassas terazi yardımıyla ölçümleri yapılan yüksek saflıktaki Al, Cr ve Mn elementleri 750 °C sıcaklıkta vakumlu ergitme fırınında (Şekil 3.5a) 100 gr ergiyik hazırlanarak alaşımlar elde edilmiştir. Hesaplanan miktarlar erime sıcaklığı düşük olan alüminyumdan başlanarak sırasıyla eridikçe eritme potası içerisine ilave edildi. Alaşımları homojenleştirmek için birkaç kez grafit çubukla karıştırıldı. Alaşım homojen hale geldiğinde, erime sıcaklığının üzerinde 700 °C ye önceden ısıtılmış bir döküm fırınına (Şekil 3.5b) yerleştirilen silindirik grafit kalıplara (100 mm uzunluğunda ve 3.5 mm iç çaplı) döküldü. Son olarak, her numune döküm fırınının alt soğutma ünitesinden su geçirilerek alttan üste doğru katılaştırıldı (Şekil 3.5b).



**Şekil 3.5.** Alaşımların hazırlanmasında kullanılan fırınların şematik gösterimi; a) vakum eritme fırını, b) döküm fırını.

### 3.2. Isıl İşlem Süreci

Alaşımlara uygulanan ısıtma işlem süreçleri ile alaşımların sertlik değerleri ve dayanımları artırılabilir. Al-%0.3 Cr-%2.0 Mn (ağ) ötektik alaşım için Şekil 3.6’da şematik gösterimi verilmiş olan T5 ısıtma işlemi uygulanmıştır.



**Şekil 3.6.** Al-%0.3 Cr-%2.0 Mn (ağ) ötektik alaşımı için yüksek sıcaklıkta uygulanan yapay yaşlandırma işlem basamakları.

T5 ısıtma işlemi genel olarak fabrikasyon sıcaklığında soğutulmuş malzemelere uygulanan yapay yaşlandırma işlemini ifade eder. Bu çalışmada, 750°C de doğrusal katılaştırılmış ve soğutulmuş alaşım Şekil 3.7’de verilen Nüve Mf 110 Kül fırınında 350 °C sıcaklıkta 1,3,6 ve 18 saat bekletilerek yüksek sıcaklıkta yapay yaşlandırma ısıtma işlemine tabii tutulmuştur. Farklı tutma süreleri uygulanarak bu sıcaklıkta optimum tutma süresi belirlenmeye çalışılmıştır.



**Şekil 3.6.** Kül fırını.

### **3.3. Metalografik İşlemler**

Ötektik bileşimde hazırlanmış Al-%0.3 Cr-%2.0 Mn (ağ) alaşımı üzerine uygulanan T5 ısıtıl işlemin alaşımın mikroyapısı üzerine etkisi incelenmek için, mikroyapı görüntülemesi, EDS ve XRD analizleri ve görüntü haritalaması yapılmıştır. Bu aşamaları gerçekleştirmek için numuneler üzerinde kesme, kalıplama, zımparalama ve parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

#### **3.3.1. Numunelerin kesilmesi ve kalıplanması**

100 mm uzunluğunda ve 3.5 mm çapında katılaştırılmış ve ısıtıl işlem uygulanmış numunelerin mikroyapı görüntüleme için, numunelerin orta kısımlarından 5 mm ve 10 mm uzunluğunda kesitler alınmıştır. Numunelerin enine ve boyuna kesitlerinin görüntülenmesi için 5 mm olan parça dikey, 10 mm uzunluğunda olan parça yatay olarak plastik kalıp içerisine yerleştirilerek üzerine epoksi-resin karışımı dökülmüş ve soğuk kalıplama yöntemi ile kalıplanmıştır (Şekil 3.8). 8 saat sonunda sertleşen kalıp etrafındaki plastik çıkartılarak, numuneler zımpara işlemi için hazırlanmıştır.



**Şekil 3.7.** Numune kalıplarından epoksi- resin ile kalıplanma aşamasına kadar yapılan işlemlerin gösterimi.

### 3.3.2. Numunelerin zımparalama ve parlatılması

Soğuk kalıplama yöntemi ile kalıplanmış numuneler kalıptan çıkartılarak zımparalama ve parlatma işlemine geçilmiştir. Zımparalama işlemi, Şekil 3.9’da verilen Silisyum karbür (SiC) taneleri ve magnetit tozu içeren zımpara kâğıtları kullanılarak numuneler, 120 gridlik zımpara kâğıdından başlayıp 4000 gride kadar, kabadan inceye doğru kademeli olarak zımparalama işlemi gerçekleştirildi. Kaba zımparalarla 10-15 dakika, ince zımparalarla ise 15-20 dakika süre ile her numune zımparalandı. Sonrasında elmas pastalar ve 0.5 lik keçeler kullanılarak 15 dk boyunca parlatma işlemi gerçekleştirildi.



**Şekil 3.8.** Zımpara kâğıtlarının fotoğrafı.

### 3.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Görüntülerinin Alınması

Numune hazırlama işleminden sonra mikroyapı görüntüleme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada, hazırlanan numunelerin mikroyapısındaki değişiklikler Şekil 3.10'da görseli verilen *QUANTA FEG 250* marka bilgisayar kontrollü dijital taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak fotoğraflanmıştır. Bu mikroskop, 40 kV hızlandırma voltajlı ve Secondary-Backscattered elektron detektörüne sahip  $\times(5-300\ 000)$  kat büyütme kapasitelidir.



Şekil 3.9. Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) fotoğrafı.

### 3.5. EDX (Enerji Dağılım X-Işını Spektrometresi) Ölçümlerinin Alınması

X-ışınları spektrometresi, genel olarak foton-madde etkileşmesi sonucu meydana gelen karakteristik X-ışınları ve saçılma fotonlarının nicel ve nitel değerlendirilmesinde kullanılır. *QUANTA FEG 250* marka bilgisayar kontrollü dijital taramalı elektron mikroskobuna entegre Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) ile

numunelere ait mikroyapıdaki fazların niteliksel ve niceliksel element analizleri yani fazların kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi için nokta ve alan EDS analizleri yapıldı.

### **3.6. XRD (X-Işın Difraktometresi) Piklerinin Belirlenmesi**

Al-Cr-Mn ötektik alaşımının EDS analizleri ile kimyasal bileşimleri belirlenen intermetalik ve matris fazlarının sonuçlarının desteklenmesi için X-Işın Kırınımı (XRD) pikleri alınarak fazlar tam olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

### **3.7. Haritalama (mapping) İşleminin Yapılması**

Haritalama işlemi yine QUANTA FEG 250 marka bilgisayar kontrollü dijital taramalı elektron mikroskobu ile çekilen görüntüler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burda fazlar ve bu fazlar içerisindeki elementlerin dağılımı görselleştirilerek anlamlandırılmıştır.

### **3.8. Mikrosertlik Değerlerinin Ölçülmesi**

Al-Cr-Mn ötektik alaşım sistemine ait ısıtıl işlem görmemiş ve ısıtıl işlem görmüş numunelerin sertlik değerleri, Future Tech FM-700 model dijital Vickers mikrosertlik ölçüm cihazı kullanılarak 10 saniyelik sürelerle 100 gramlık bir yük uygulanarak ölçülmüştür. Her numunenin enine ve boyuna kesitinden çoklu sertlik ölçümleri alınmıştır.

### **3.9. Çekme-Dayanım Değerlerinin Ölçülmesi**

Çekme mukavemeti testleri, ASTM E4 standardına uygun olarak 4 mm çapında ve 60 mm uzunluğunda silindirik numuneler üzerinde Shimadzu Universal Tester ile ortam sıcaklığında 1 mm/dk gerinim hızında gerçekleştirildi.

### **3.10. Termoelektriksel Özelliklerin Belirlenmesi**

Isıl işlem prosesinin Al-Cr-Mn ötektik alaşımının termofiziksel özellikleri üzerine etkisi Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yöntemi ile araştırılmıştır. Bu kapsamda, sıvı-katı faz geçişinin kinetiğini karakterize etmede önemli olan erime sıcaklığı, füzyon entalpisi ve ısı kapasitesindeki değişiklikler incelenmiştir.

### 3.10.1. Erime sıcaklığı, füzyon entalpisi ( $\Delta H$ ) ve ısı kapasitesinin ( $C_p$ ) hesaplanması

Metaller veya alaşımların faz değişikliklerini tespit etmek için termal özelliklerin izlenmesi/bilinmesi gerekmektedir. Faz dönüşümleri (geçişleri) entalpi değişimlerini (ısı salınımı veya emilimi) içerir. Entalpi değişimlerine dayalı olarak faz geçişlerini saptamak için kullanılan önemli tekniklerden birisi de Diferansiyel Termal analiz (DTA) yöntemidir. Bu yöntem, bir test numunesi ile inert bir referans numunenin aynı koşullar altında ısıtılıp soğutulduğu ve test numunesi ile referans numune arasındaki sıcaklık farkının kaydedilmesi temeline dayanır (Boettinger, 2007). Diferansiyel sıcaklık daha sonra zamana veya sıcaklığa karşı çizilir. Isı salınımı içeren bir numunede bir faz geçişi gerçekleştiğinde, test numunesinin sıcaklığı geçici olarak referans numunenin sıcaklığının üzerine çıkar ve bu da ekzotermik bir zirveye neden olur. Tersine, ısı absorpsiyonunun eşlik ettiği bir geçiş, test numunesinin sıcaklığını referans numuneninkine kıyasla düşürür ve endotermik bir zirveye yol açar (Boettinger, 2007).

Reaksiyon ısısı veya geçişi (Füzyon entalpisi ( $\Delta H$ )) , DTA eğrisinden elde edilen pikin alanından aşağıda verildiği şekilde hesaplanabilir (Wendlandt, 1986);

$$Pik Alanı (A).K = \Delta H . m \quad (3.1)$$

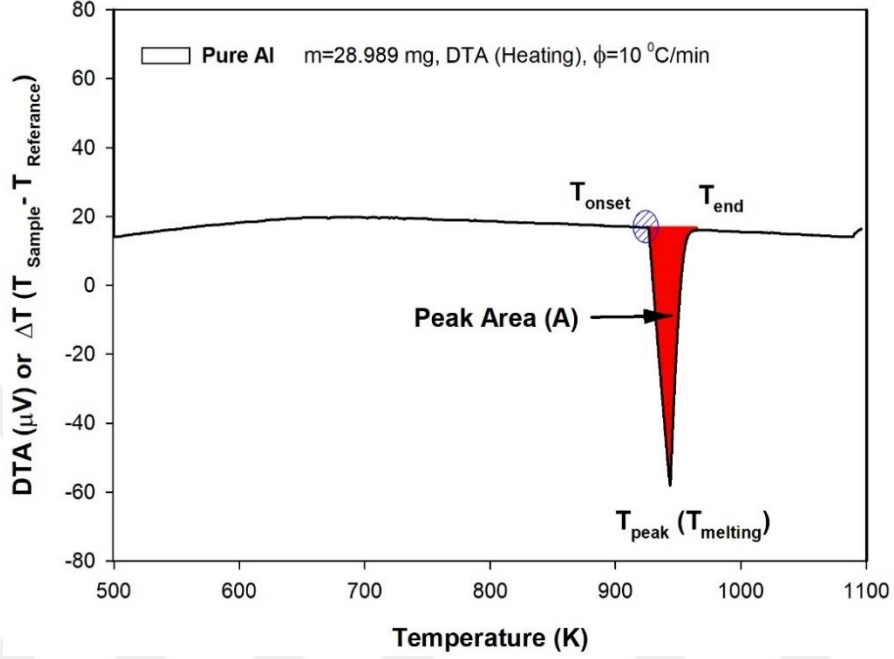
Burada,  $m$ , analiz yapılan numunenin kütlesi,  $\Delta H$ , reaksiyon ısısı,  $K$ , kalibrasyon sabiti ve  $A$ , eğrinin tepe alanıdır. Numune tutucunun geometrisi ve termal iletkenliği kalibrasyon sabitini etkiler. Kalibrasyon sabiti genellikle bilinen geçiş (veya reaksiyon) sıcaklıklarına sahip bileşiklerle sistemin kalibre edilmesiyle bulunur (Wendlandt, 1986) . Numunenin geometrisine bağlı olan bu  $K$  sabitinin elde edilebilmesi için, Şekil 3.11’da verilen, %99.99 saflıkta alüminyumun 10°C/dak ısıtma hızında elde edilmiş DTA eğrisi elde edilmiştir (Kaygısız, 2014).

Burada, numuneyi ısıtma hızı ve ölçümde kullanılan numunenin kütlesi elde edilen eğrideki Peak sıcaklığını etkileyebilirken, Entalpi ( $\Delta H$ ) ve  $T_{onset}$  sıcaklıkları bunlardan etkilenmezler.

Denklem 1 den,

$$\Delta H = \frac{K.A}{m} \quad (3.2)$$

elde edilir.



Şekil 3.10. Saf alüminyum için elde edilmiş DTA eğrisi.

Saf alüminyum için  $\Delta H$  değeri 397 (Gaskell, 1973; Mills, 2002) olarak alınmış ve numunenin geometrisine bağlı olan **K katsayısı, 10.900** olarak bulunmuştur. Burada, K kalibrasyon katsayısının birimi J/mV °C olarak ifade edilebilir.

Benzer şekilde, sabit basınçta bir fazın entalpisinin (ısı içeriğinin) sıcaklığa göre değişim oranı veya katı ve sıvı fazlar arasındaki özgül ısı farkı olarak ifade edilen ısı kapasitesi ( $C_{pl}$ ) aşağıda verilen formül ile hesaplanabilir;

$$C_{pl} = \frac{\Delta H}{T_m} \quad (3.3)$$

Burada;  $\Delta H$  reaksiyon ısısı veya ısı geçişi,  $T_m$  numunenin erime sıcaklığıdır. Burada  $\Delta H$  ifadesi, DTA eğrisinden elde edilen pikin alanından denklem 2’de verilen ifadeden elde edilmiştir.  $\Delta H$  ifadesini denklem 3’te yerine yazılarak,

$$C_{pl} = \frac{K.A}{m.Tm} \quad (3.4)$$

ifadesi elde edilir.

Isıl işlem görmemiş numunelerin termoelektrik özellikleri, 30–800°C sıcaklık aralığında, 10 °C/dk ısıtma hızı ve atmosferik basınç altında Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yöntemiyle (Exstar TG/DTA 7300 Yüksek Sıcaklık Tipi model) elde edilen DTA eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.



#### 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

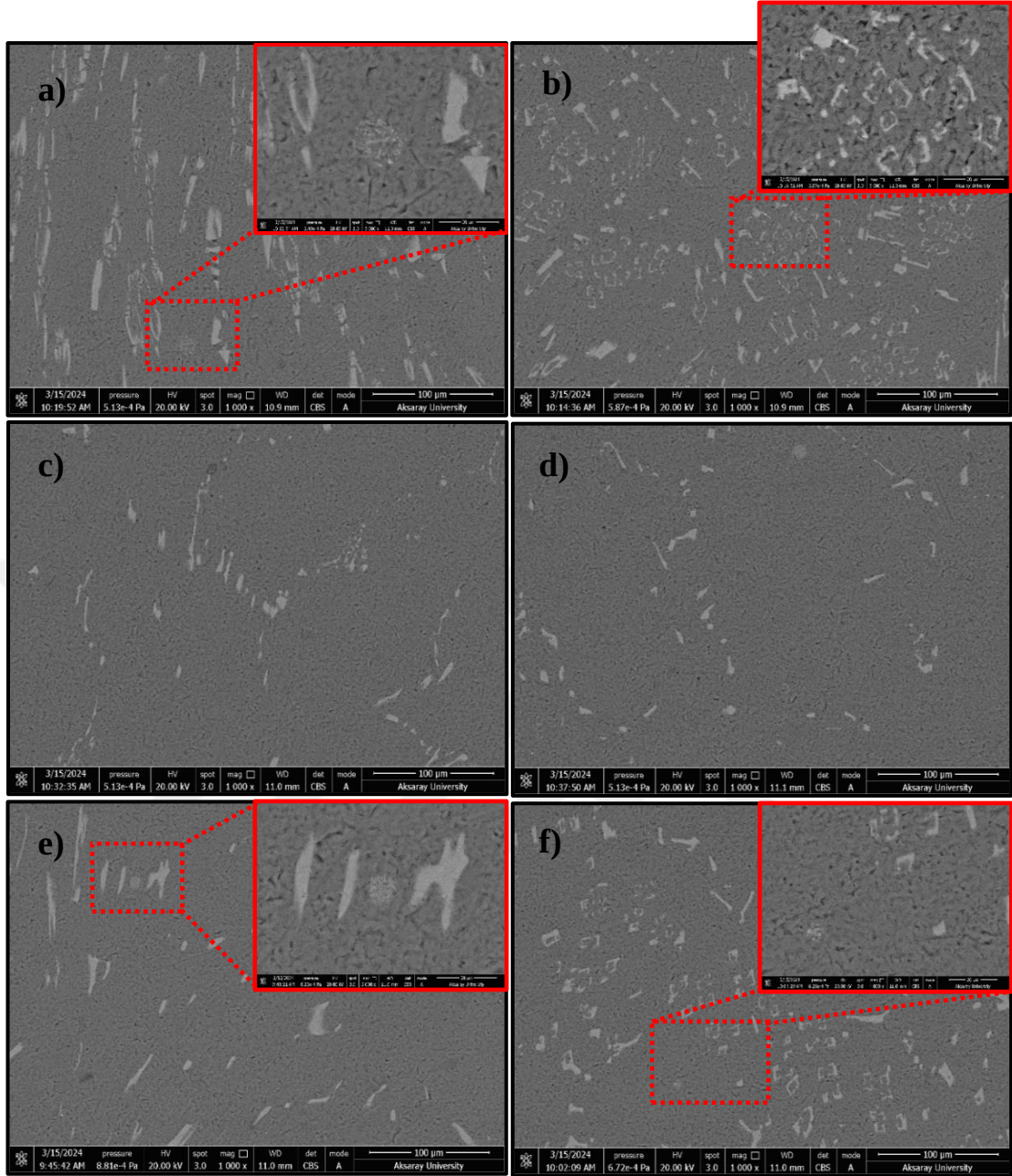
Bu tez çalışması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, yüksek saflıkta alüminyum, krom ve mangan elementleri kullanılarak Al-%0.3Cr-%2.0Mn (ağ) ötektik alaşım sistemi yönlü katılaştırma yöntemi ile elde edilmiştir. İkinci aşamada ise bu alaşım sistemine ısıtma işlemi uygulanmıştır. Sonrasında ısıtma işlemi uygulanmış ve ısıtma işlemi uygulanmamış numuneler üzerinden mikroyapı görüntülemesi, sertlik ölçümleri, çekme dayanımı ölçümleri ve termofiziksel/elektriksel özelliklerden, sıvı-katı faz geçişinin kinetiğini karakterize etmede önemli olan erime sıcaklığı, füzyon entalpisi ve ısı kapasitesindeki değişiklikler incelenmiştir.

##### 4.1. Gözlenen Mikroyapılar

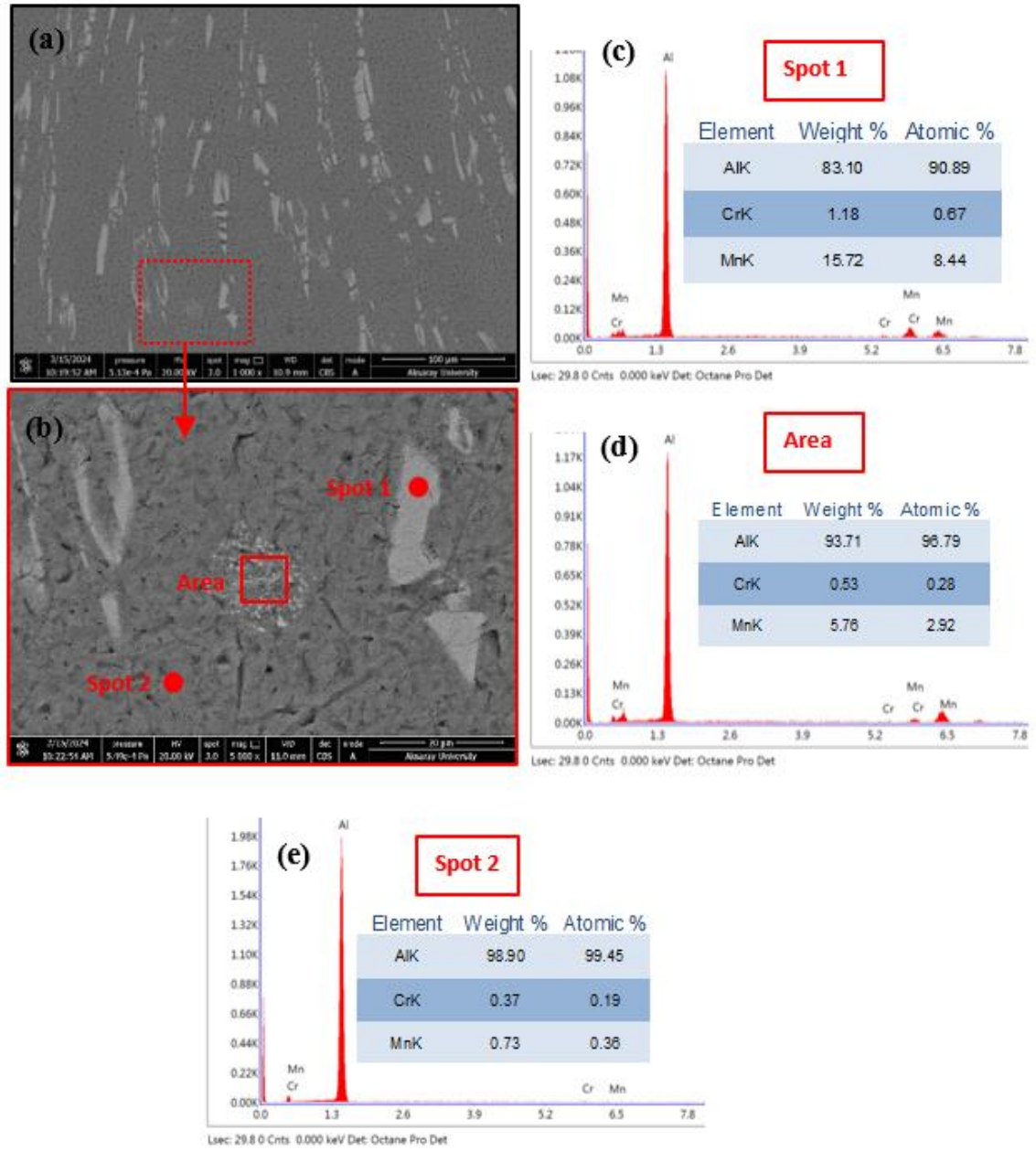
Yüksek saflıkta alüminyum (%99.9), krom (%99.99) ve mangan (%99.98) elementleri kullanılarak saf alüminyum içerisine ağırlıkça %0.3 Cr ve %2.0 Mn ilave edilerek oluşturulmuş Al-%0.3 Cr-%2.0 Mn ötektik alaşımına ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 4.1.'de verilmiştir. Şekil 4.1.'e bakıldığında koyu renkli Al matris fazı içerisinde gri fazın ve açık gri renkli dairesel fazın dengede olduğu gözükmemektedir. Bu fazların kimyasal bileşimlerinin belirlenmesi için nokta ve alan EDS analizi, XRD analizi ve SEM görüntüleri üzerinden elementer haritalama işlemleri yapılmıştır.

Şekil 4.2.'de Al-Cr-Mn ötektik alaşımının yüksek büyütmede alınmış SEM görüntüleri ve EDS analiz sonuçları verilmiştir. Alınan EDS sonuçlarına bakıldığında, spot 1 ile ifade edilen gri fazın  $Al_6Mn$  intermetalik fazı olduğu, spot 2 olarak verilen matris fazın Al fazı olduğu ve dairesel olarak verilen yüksek oranda Mn çözünmüş intermetalik fazında  $Al_{12}Mn$  fazı olduğu gözükmemektedir. Bu sonuçları doğrulamak için alınmış XRD sonuçları ve elementer haritalama görüntüleri sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.3.'te verilen XRD sonuçlarında Al,  $Al_6Mn$  ve  $Al_{12}Mn$  fazlarına ait karakteristik pikler gözlenmiştir.

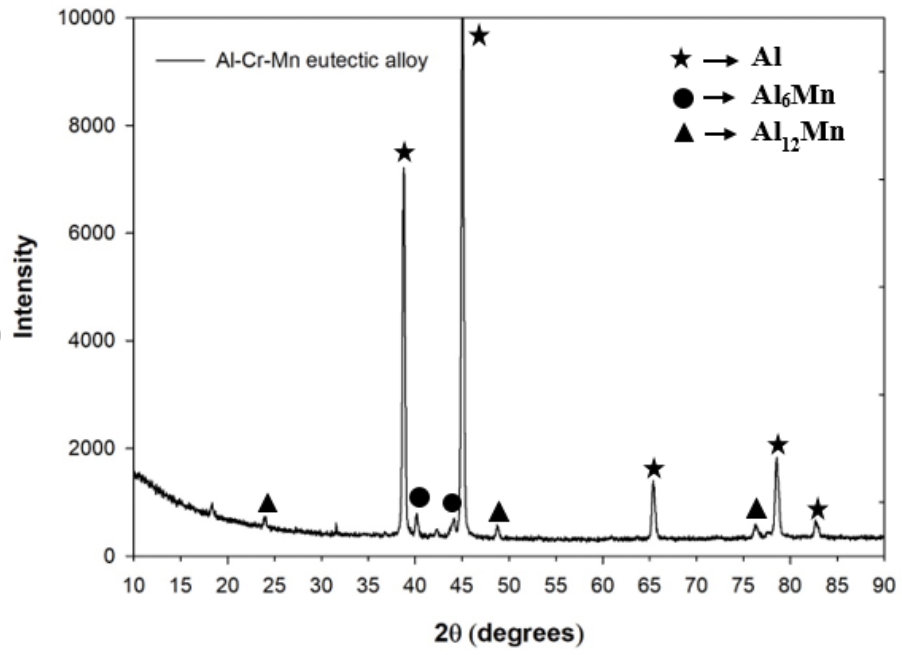
Şekil 4.2.'de verilen EDS sonuçlarına göre, Matris Al fazı içerisinde Mn ve Cr'nin az miktarda çözündüğünü söyleyebiliriz. Bununla birlikte  $Al_6Mn$  fazı içerisinde ağırlıkça %1.18 oranında Cr'nin çözündüğü gözükmemektedir.



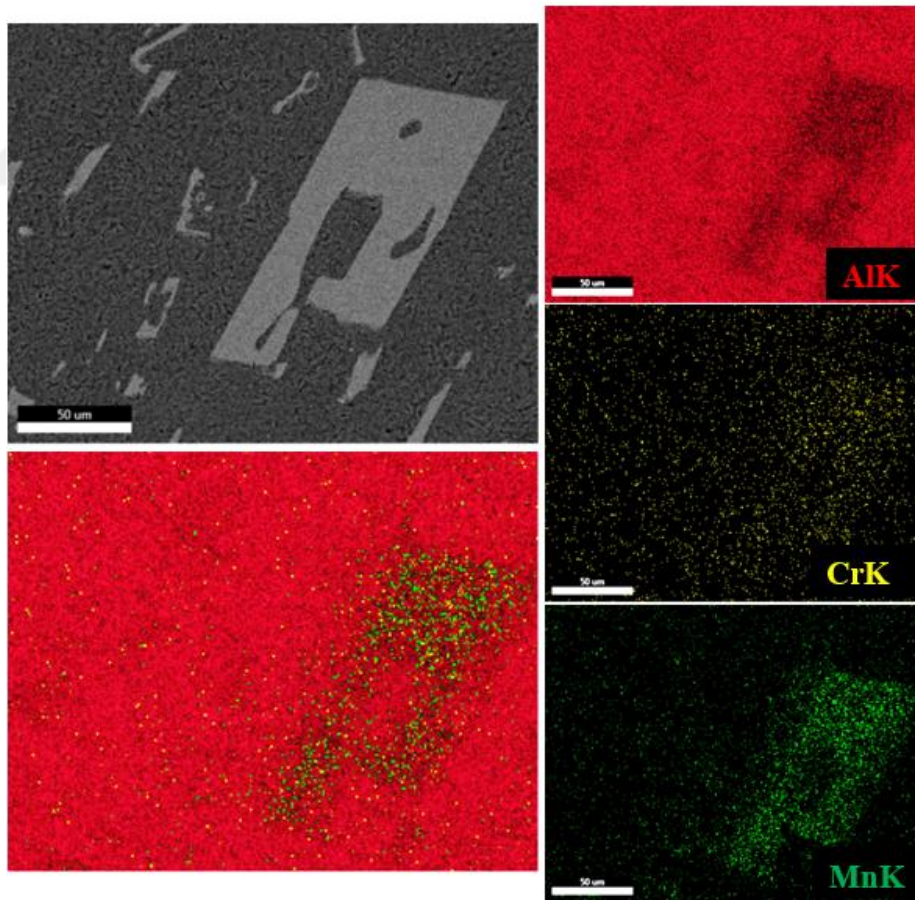
**Şekil 4.1.** Al-Cr-Mn ötektik alaşımasının mikroyapısına ait SEM görüntüleri; a) Isıl işlem uygulanmamış, boyuna kesit, b) Isıl işlem uygulanmamış, enine kesit, c) 350°C'de 3 saat ısıtıl işlem uygulanmış, boyuna kesit, d) 350°C'de 3 saat ısıtıl işlem uygulanmış, enine kesit, e) 350°C'de 18 saat ısıtıl işlem uygulanmış, boyuna kesit, f) 350°C'de 18 saat ısıtıl işlem uygulanmış, enine kesit.



**Şekil 4.2.** Al-Cr-Mn ötektik alaşımının SEM görüntüleri ve EDS sonuçları, (a) boyuna kesit (döküm), (b) yüksek büyütmede SEM görüntüsü (a), (c) gri fazın EDS sonucu (Spot 1), (d) alanın EDS sonucu, (e) matris fazının EDS sonucu (Spot 2).



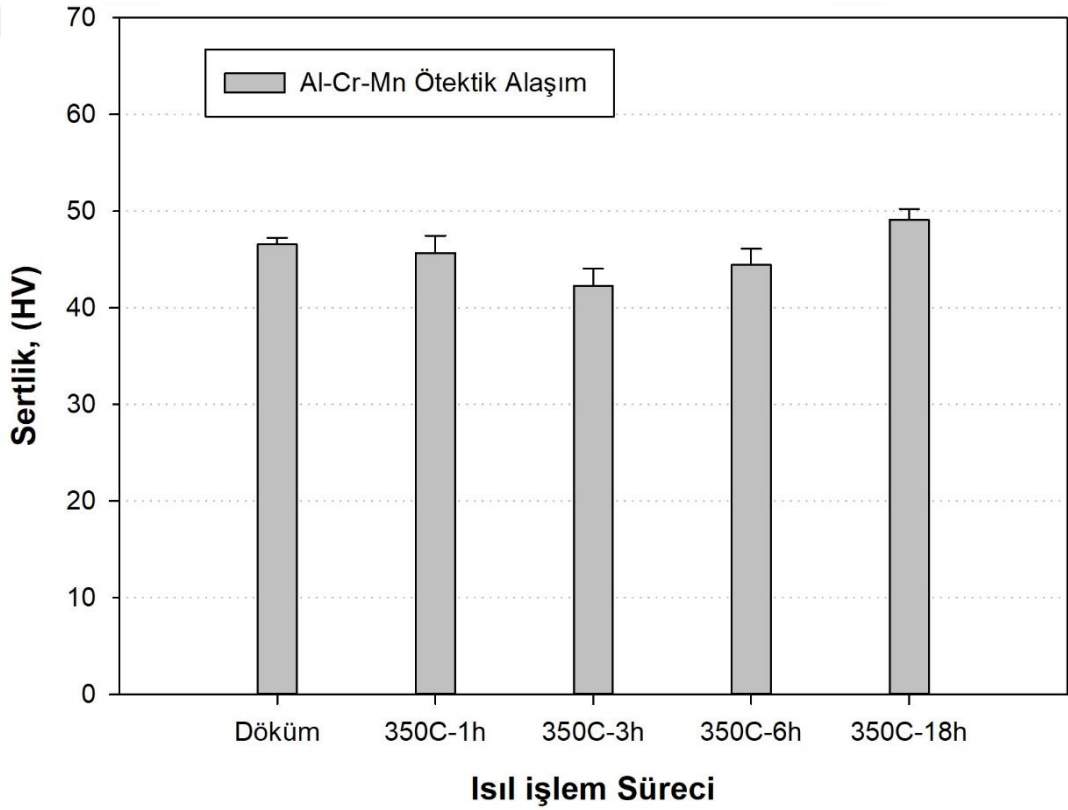
Şekil 4.3. Al-%0.3Cr-%2.0Mn (ağ) alaşımı için ısıt işlem uygulanmamış numunelerden elde edilen XRD desenleri.



Şekil 4.4. Isıt işlem uygulanmamış Al-Cr-Mn ötektik alaşımının haritalama görüntüsü.

#### 4.2. Isıl işlemin Sertlik Üzerine Etkisi

Al-Cr-Mn ötektik alaşım sistemine ait ısıl işlem görmemiş ve ısıl işlem görmüş numuneler üzerinden alınan çoklu ölçümler sonucu elde edilen Vicker sertlik değerleri ortalaması alınarak Şekil 4.5.'te verilmiştir. Şekil 4.5.'e bakıldığında ısıl işlem görmemiş numuneye ait sertlik değeri  $46.56 \pm 06$  HV olarak ölçülmüştür. 350°C'de arklı tutma sürelerinde gerçekleştirilen ısıl işlem sonrası numunelerin sertlik değerlerine bakıldığında, 1 ve 3 saatlik tutma sürelerinde numunelerin sertlik değerleri bir miktar düşmüş olmasına karşın tutma süresi arttırıldığında numuneye ait sertlik değerleri tekrardan artmıştır. Isıl işlem görmüş numuneler için en yüksek sertlik değeri 18 saatlik tutma süresinde elde edilmiş ve  $49.1 \pm 1.1$  HV olarak ölçülmüştür.



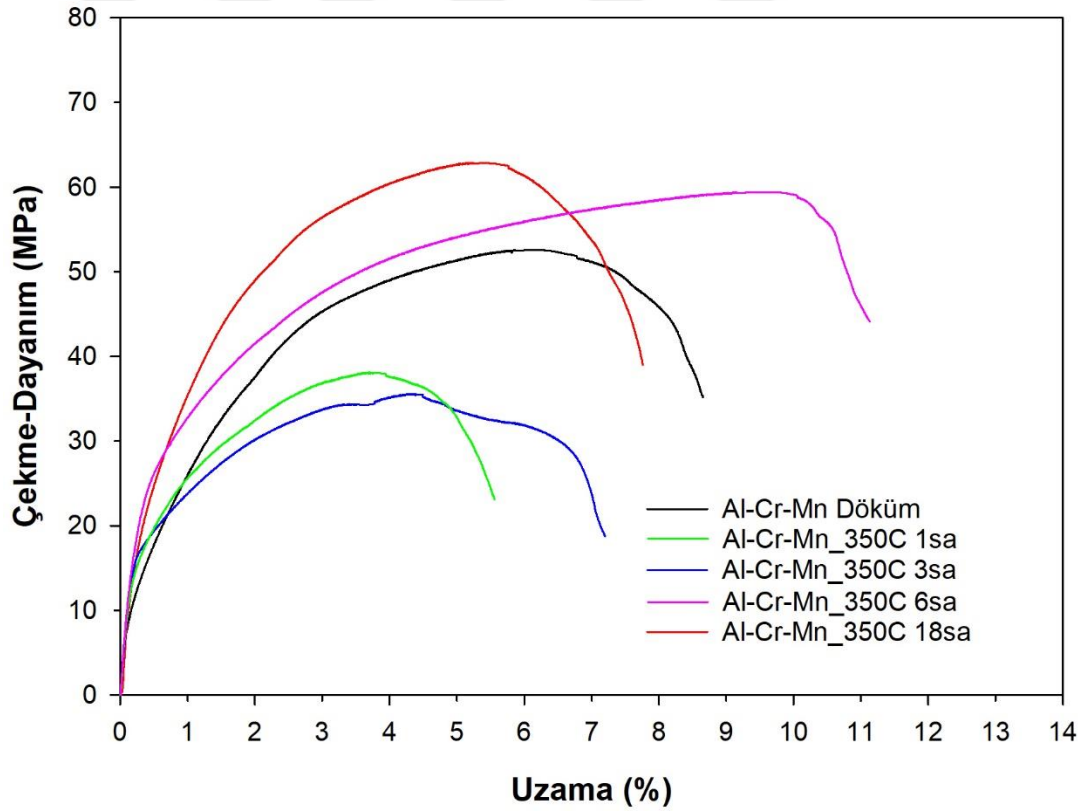
Şekil 4.5. Al-0.3Cr-2.0Mn (ağırlıkça%) ötektik alaşımı için farklı ısıl işlem sürecindeki sertlik değerleri

#### 4.3. Isıl işlemin Çekme Dayanımı Üzerine Etkisi

Al-Cr-Mn ötektik alaşım sistemine ait ısıl işlem görmemiş ve ısıl işlem görmüş numuneler üzerinden alınan Çekme dayanımı-Yüzde uzama grafikleri Şekil 4.6.'da verilmiştir. Şekil 4.6.'e bakıldığında ısıl işlem görmemiş döküm numunesinin

maksimum çekme-dayanımı 51.6 MPa olarak ölçülmüştür. 350°C’de farklı tutma sürelerinde uygulanan ısıl işlem sonrası çekme dayanımı önce azalmış ve tutma süresinin artmasıyla birlikte yeniden yükselmiştir. En düşük çekme dayanım değeri 350oC’de 3 saatlik tutma süresinde 35.45 MPa olarak ölçülmüş iken en yüksek çekme dayanımı 18 saatlik tutma süresinde 62.93 MPa olarak ölçülmüştür.

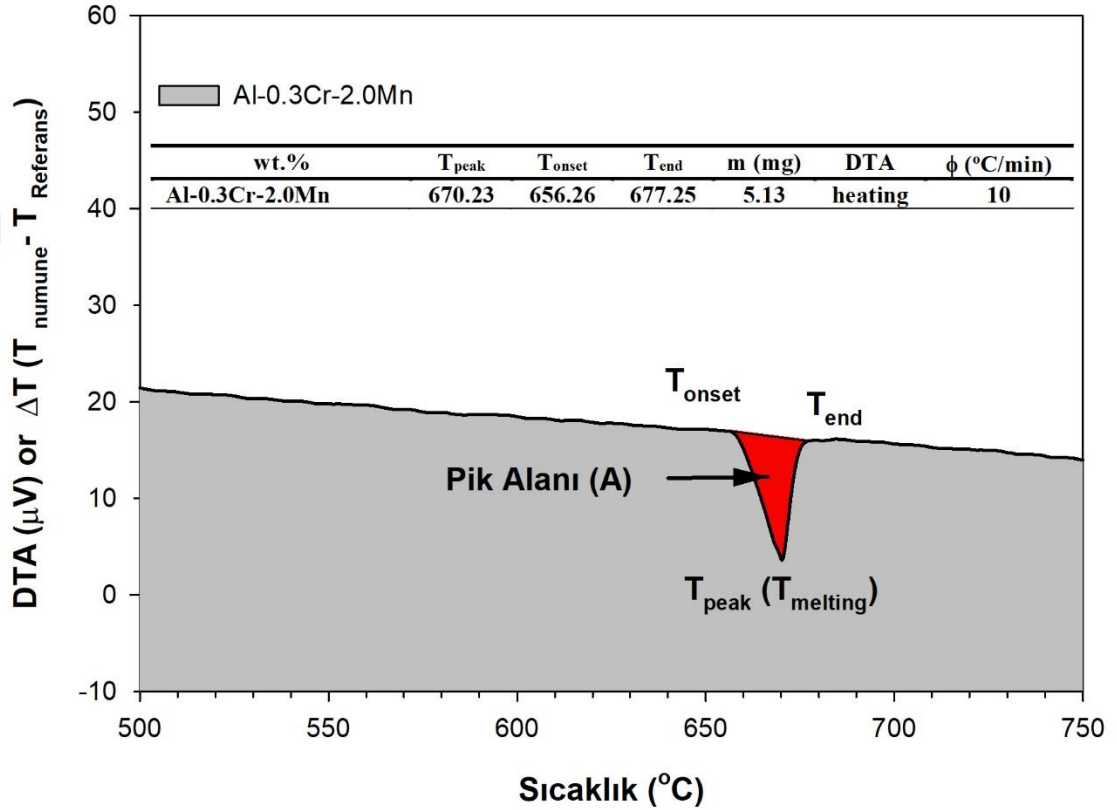
Benzer şekilde ısıl işlem prosesinin yüzde uzama oranları üzerine etkisine Şekil 4.6.’dan bakıldığında, döküm numunesine kıyasla ısıl işlem sürecinde numunelerin % uzaması önce azalmış sonrasında artmıştır. Isıl işlem görmemiş döküm numunesi için maksimum uzama %8.62 olarak ölçülmüştür. Isıl işlem sonrası mazlemenin 1 saatlik tutma süresi sonunda uzaması %5.53’e düşmüştür. Diğer bir ifadeyle döküm numunesine kıyasla daha gevrek bir malzeme halini almıştır. 6 saatlik tutma süresinde malzeme maksimum % uzamaya ulaşmış ve % uzama değeri %11.16 olmuştur.



**Şekil 4.6.** Al-0.3Cr-2.0Mn (ağırlıkça %) ötektik alaşımının farklı ısıl işlem süreçlerinde çekme dayanımı-uzama eğrileri.

#### 4.4 Erime Sıcaklığı ( $T_m$ ) (K), Füzyon Entalpisi ( $\Delta H$ ) (J/g) ve Isı Kapasitesi ( $C_{pl}$ ) (J/gK) Tayini.

Al-Cr-Mn ötektik alaşım sisteminin erime sıcaklığı ( $T_m$ ) (K), ergime entalpisi ( $\Delta H$ ) (J/g) ve ısı kapasitesi ( $C_{pl}$ ) (J/gK), 10 °C/dk ısıtma hızıyla 30 °C ile 800 °C arasında elde edilen DTA eğrilerinden hesaplanmıştır. Isıl işlem uygulanmamış numunelerin DTA eğrileri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Sabit ısıtma hızında (10°C/dak) Al-0.3Cr-2.0Mn (%ağ) ötektik alaşımının DTA ısıtma eğrisi.

Şekil 4.7'deki DTA-Sıcaklık eğrisindeki keskin tepeler ötektik erime noktasını ( $T_m$ ) göstermektedir. Keskin tepenin başlangıç noktası erime başlangıç sıcaklığını ( $T_{onset}$ ) ve bitiş noktası son erime sıcaklığını ( $T_{end}$ ) göstermektedir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi, ısıl işlem uygulanmamış numune için erime sıcaklığı (pik sıcaklık) ( $T_m$ ) 670.23 °C olarak bulunmuştur.

Erime başlangıç sıcaklığı ( $T_{onset}$ ) 656.26 °C olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde, erime bitiş sıcaklığı ( $T_{end}$ ) 677.25 °C olarak bulunmuştur.

Önemli termofiziksel özelliklerden biri olan füzyon entalpisi ( $\Delta H$ ) veya reaksiyon ısısı, DTA eğrisindeki pik alanı ölçülerek hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış numune için füzyon entalpisi ( $\Delta H$ ) değerleri 228.12 (J/g) olarak bulunmuştur.

Katı-sıvı geçiş noktasındaki (*erime noktası* ( $T_m$ )) özgül ısı kapasitesini ifade eden  $C_{pl}$  değeri, ısıl işlem uygulanmamış numune 0,242 J/g.K. olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4. 1.** Isıl işlem görmemiş Al-Cr-Mn ötektik alaşımının erime sıcaklığı, füzyon entalpisi ve spesifik ısı kapasitesi değerleri.

| Alaşım<br>(%ağ.) | Füzyon Entalpisi<br>( $\Delta H$ ) (J/g) | Isı Kapasitesi<br>( $C_{pl}$ ) (J/gK) | Erime Sıcaklığı<br>( $T_m$ ) (K) | Ref. |
|------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------|
| Al-0.3 Cr-2.0 Mn | 228,12                                   | 0,242                                 | 943,33                           | [PW] |
| Saf Cr           | 401.95                                   | 0.78                                  | 2130                             | *    |
| Saf Mn           | 267.50                                   | 0.838                                 | 1517                             | *    |

\* (Brandes, 1992; Smithells, 1992)

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Alüminyum esaslı alaşımların pek çok kullanım alanı bulunmakla birlikte özellikle havacılık ve taşıt sektöründe öncü durumdadır. Demirden sonra en çok kullanım alanı olan alüminyum ve alaşımlarının özelliklerinin araştırılması ve sonuçlarının bilinmesi son derece önemlidir.

Bu kapsamda bu çalışmada yüksek saflıkta alüminyum, krom ve mangan kullanılarak ötektik alaşım oluşturulmuştur. Bu ötektik alaşıma farklı tutma sürelerinde ısıtılma işlemi uygulanmış ve uygulanan ısıtılma işleminin, mekanik ve termal özellikleri araştırılmıştır. Bu araştırmanın bulguları aşağıda özetlenmiştir.

SEM ve EDS sonuçlarına göre, Alüminyum matris faz ile gri renkte  $Al_6Mn$  intermetalik fazı ve yüksek oranda Mn çözünmüş intermetalik  $Al_{12}Mn$  fazları dengededir.

350°C’de ısıtılma işlemi tabii tutulan ötektik alaşımın, değişen tutma sürelerinde sertlik değerlerinde değişimler gözlenmiştir. Bir ve üç saatlik tutma sürelerinde numunelerin sertlik değerleri ısıtılma işlemleri numuneye kıyasla bir miktar düşmüştür. Buna karşın tutma süresi arttırıldığında numuneye ait sertlik değerleri tekrardan artmıştır.

Isıl işlem uygulanmamış ve ısıtılma işlemi uygulanmış numuneler üzerinden alınmış çekme dayanımı ölçüm sonuçlarına göre, ısıtılma işlemi sonrası çekme dayanımı önce azalmış ve tutma süresinin artmasıyla birlikte yeniden yükselmiştir. En düşük çekme dayanım değeri 350°C’de 3 saatlik tutma süresinde 35.45 MPa olarak ölçülmüş iken en yüksek çekme dayanımı 18 saatlik tutma süresinde 62.93 MPa olarak ölçülmüştür.

Benzer şekilde ısıtılma işlemi prosesinin yüzde uzama oranları üzerine etkisine bakıldığında, döküm numunesine kıyasla ısıtılma işlemi sürecinde numunelerin % uzaması önce azalmış sonrasında artmıştır. Isıl işlem görmemiş döküm numunesi için maksimum uzama %8.62 olarak ölçülmüştür. Isıl işlem sonrası malzemenin 1 saatlik tutma süresi sonunda uzaması %5.53’e düşmüştür. Diğer bir ifadeyle döküm numunesine kıyasla daha gevrek bir malzeme halini almıştır. 6 saatlik tutma süresinde malzeme maksimum % uzamaya ulaşmış ve % uzama değeri %11.16 olmuştur.

Yine malzeme üretiminde önemli parametrelerden olan Erime sıcaklığı, Füzyon entalpisi özgül ısı kapasitesi değerleri hesaplanmıştır.

Isıl işlem uygulanmamış numune için erime sıcaklığı (pik sıcaklık) ( $T_m$ ) 670.23 °C olarak bulunmuştur.

Füzyon entalpisi ( $\Delta H$ ) veya reaksiyon ısısı 228.12 (J/g) olarak bulunmuştur.

Katı-sıvı geçiş noktasındaki (*erime noktası* ( $T_m$ )) özgül ısı kapasitesini ifade eden  $C_{pl}$  değeri, ısıl işlem uygulanmamış numune 0,242 J/g.K. olarak bulunmuştur.

Bulunan sonuçlar dikkate alındığında, ısıl işlem süresinin numunelerin mekanik ve termofiziksel özellikleri üzerine etkisi olduğu kaçınılmazdır. Daha uzun tutma sürelerinden mekanik özelliklerden sertlik ve çekme dayanım değerlerinin artması muhtemeldir. Benzer şekilde ısıl işlem süreçlerinin malzemenin korozyon dayanımı üzerine etkilerinin incelenmesi de uygun malzeme üretimi açısından önemli olduğu değerlendirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Aran, A., 1999. Metal döküm teknolojisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 107.
- Askeland, D.R., 1990. The science and engineering of materials, London.186-217.
- Askeland, D.R.,(Çev. Erdoğan, M.),1998. Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, Cilt 2.
- Aydın, H., 2008. Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiş yaşlandırılabilir alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin ve korozyon davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Birol, Y., 2012. Grain refining aluminium foundry alloys Proc. IIAC, p. 1-12.
- Brandes, E.A. and Gobo. B., 1992. Smithells metals reference book, Butterworth-Heinemann, Boston,2-3.
- Callister, W. D., 2018. Materials science and engineering:An Introduction. 7th Edition, John Wiley & Sons, Inc Hoboken.
- Chadwic, G.A., 1962. Decanted interfaces and growth forms, Acta Metallurgica 10, 1-12.
- Colling, D.A., 1995. Industrial materials, metals and alloys, Prentice - Hall Inc., Ohio.
- Çadırlı, E., Tecer, H., Şahin, M., Yılmaz, E., Kırındı, T. and Gündüz, M., 2015. Effect of heat treatments on the microhardness and tensile strength of Al-0.25 wt.% Zr alloy,Journal of Alloys and Compounds. 632, 229-237.
- De Wilde, J., 2005. Unconstrained growth along a ternary eutectic solidification path in Al-Cu-Ag: preparation of a MAXUS sounding rocket experiment,materials science and engineering: A, 413-414, 51.
- Demir, E., 2007. Alüminyum alaşımlarında ısıtım işlem etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir/ Anonim.
- Demirci, A.H., 2004. Mühendislik malzemeleri, Aktüel Yayınevi, İstanbul/Anonim.
- Easterling, K., 1990. Tomorrow's materials, ins. metals monograph, London.
- Gaskell, D., 1973. Introduction to metallurgical thermodynamics. McGraw-Hill,England.
- Hall, E., 1951. The deformation and ageing of mild steel. III discussion of results, Proc. Phys. Soc. Lond. Sect. B 64, 747-753.
- Han, G.,2019. Thermophysical properties of aged aluminum alloys. Acta Materialia, 401-404.

- Jordan, R.M. and Hunt, J.,1971. The Growth of Lamellar Eutectic Structure in the Pb-Sn and Al-CuAl. System, Metallurgical and Materials Transactions, 2, 3401.
- Kane, P.F. and Larrabee, G.B., 1970. Characterization of semiconductor materials. McGraw Hill Book Co., U.S.A., 4.
- Kaufman, J., 2000. Intruduction to aluminum alloys and tempers. ASM International.39-118
- Kayalı, E. S. ve Ensari, C., 1990. Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları. , İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi,İstanbul.2.Baskı.
- Kaygısız, Y., 2014. Doğrusal katılaştırılmış alüminyum esaslı ötektik çoklu alaşımlarda yapı parametreleri, mekanik ve elektriksel özelliklerinin katılaştırma hızına bağlılığının incelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Knoop, F., Peters, C. and Emerson, W., 1939. A sensitive pyramidal-diamond tool for indentation measurements. Journal of researc of the National Bureau of Standards, 23, 39-61h
- Mathers, G., 2002. The welding of aluminium and its alloys. Woodhead Publishing Ltd.38-46.
- Mills, K., 2002. Recommended values of thermophysical properties for selected commercial alloys, National Physical Laboratory and ASM International, Woodhead Publishing Limited. England.
- Montgomery, D. C., 2018. Thermoelectric Properties of Heat-Treated Aluminum Alloys. Journal of Applied Physics.468-481.
- Onaran, K., 1986. Malzeme Bilimi. Çağlayan Basımevi, İstanbul.
- Petch, N., 1953. The cleavage strength of polycrystals.J. Iron Steel. Inst.174, 25-31.
- Rometsch, P.A., Zhang,Y. and Estrin, Y., 2014. Heat treatment of 7xxx series aluminium alloys—Some recent developments,Nonferrous Metals Society of China.24. 2174-2178.
- Scheil, E., 1959. On Eutectic Crystallization, Geisserei Tech. Wiss. 24,1313.
- Smith, C.B. and Mishra, R.,1986. Friction stir processing for enhanced low temperature formability: a volume in the friction stir welding and processing book series.
- Smithells, C. J., 1992. General physical properties. Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, Cilt 2.
- Totten, G.E. and MacKenzie, D., 2003. Handbook of aluminum: physical metallurgy and processes of aluminum: Cilt 1.Marcel Dekker.

- Wang, F. and Zou, J.T., 2003. The influence of rare earth elements on microstructures and properties of 6061 aluminum alloy vacuum-brazed joints, *Journal of Alloys and Compounds*.
- Weissbach, W., 1993. *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*. (M. V. Selahaddin ANIK. Sabri ANIK, Çev.) Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Wesley William Wendlandt, L. W., 1986. *Thermal Analysis - Chemical Analysis*, 3rd Edition.
- William J Boettinger, U. R.W., 2007. *DTA and Heat-flux DSC Measurements of Alloy Melting and Freezing*. Elsevier Bilim Ltd.
- Yıldırım, H., 2006. *Alüminyum malzemenin otomotiv sektöründeki uygulamaları*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, L. and Du. Y., 2007. Thermodynamic description of the Al–Fe–Ni system over the whole composition and temperature ranges: modeling coupled with key experiment. *Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry*, 31, 529–540
- Zhang, X.H., Su, G.C., Ju, C.W., Wang, W.C. and Yan, W.L., 2010, Effect of modification treatment on the microstructure and mechanical properties of Al–0.35%Mg–7.0%Si cast alloy, *Materials and Design*, 31, 4408–4413
- Zolotarevsky, V.S., Belov, N.A. and Glazoff, M.V., 2007, *Casting Aluminum Alloys* pp:41,42,77. Elsevier Ltd.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** : Öznur KAHYAOĞLU

### EĞİTİM BİLGİLERİ

**Lisans** : Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fizik (İngilizce) Bölümü, 2000-2004

**Yüksek Lisans:** Aksaray Üniversitesi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, 2022-2024

### MESLEKİ DENEYİM

İş ve Meslek Danışmanlığı Aksaray Çalışma ve İş Kurumu İl Müdürlüğü 2012 –

Ücretli İngilizce Öğretmenliği, Ankara 2010-2011

Yönetici Asistanı, Makro Marketler A.Ş.Genel Müdür. 2009-2010

Ücretli İngilizce Öğretmenliği, Ankara 2004-2007

### ÖDÜLLER

Aksaray Üniversitesi Rektörlüğü Teşekkür Belgesi, 2023

Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Teşekkür Belgesi,2023

Aksaray Valiliği Başarı Belgesi, 2021

Türkiye İş Kurumu Genel Müdürlüğü Takdir Belgesi, 2020

Aksaray Valiliği Başarı Belgesi, 2018

Aksaray Çalışma ve İş Kurumu İl Müdürlüğü Teşekkür Belgesi, 2017

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı PIAAC projesi Tatil Ödülü, 2015

### ULUSLARARASI KONGREDE SUNDUĞU BİLDİRİ

KAHYAOĞLU, Ö. ve KAYGISIZ, Y., 2024. Al-Cr-Mn Ötektik alaşımı üzerine uygulanan ısıtılma süreçlerinin mikroyapı, mekanik ve termoelektriksel özellikler üzerine etkisi, 6. Uluslararası Akdeniz Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Roma-İtalya, Bildiriler Kitabı, Özet Kitabı, 350-351.