



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

İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**AL-Cr-Mn ÖTEKTİK ALAŞIMI ÜZERİNE Ni VE Si İLAVESİNİN
MİKROYAPI, MEKANİK VE TERMoeLEKTRİKSEL
ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ferhat HÜYÜKLÜ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Yusuf KAYGISIZ

İKİNCİ DANIŞMAN

Doç. Dr. Cem Burak YILDIZ

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 212367409 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Ferhat HÜYÜKLÜ tarafından hazırlanan “**AL-Cr-Mn ÖTEKTİK ALAŞIMI ÜZERİNE Nİ VE Sİ İLAVESİNİN 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: Prof. Dr. Semra DURMUŞ ACER

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

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

.....

Üye: Doç. Dr. Mehmet Fuat GÜLHAN

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. Fazlıye 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

Ferhat HÜYÜKLÜ

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 ve ikinci danışman hocam Doç. Dr. Cem Burak YILDIZ'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.

Ferhat HÜYÜKLÜ

AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİSİ.....	3
2.1. Alüminyum Alaşımları	3
2.1.1 Seriler ve bileşenleri	3
2.1.2 Mekanik özellikler	4
2.1.3 Korozyon direnci	4
2.1.4 Isıl işlem uygulanabilirlik	4
2.1.5 Termal özellikler.....	4
2.1.6 Uygulama alanları.....	5
2.2. Alüminyum Alaşımlarının Katılaşması	5
2.2.1 Katılaşma sürecinin tanımı ve önemi	5
2.2.2 Katılaşma mekanizmaları	6
2.2.3 Katılaşma türleri ve mikroyapıya etkisi.....	7
2.2.4 Katkı maddelerinin katılaşmaya etkisi.....	8
2.3. Katkılama	9
2.3.1 Katkılama amaçları	9
2.3.2 Katkı maddelerinin etkileri	9
2.3.3 Katkılama süreci	10
2.4. Sertlik	10
2.4.1 Sertlik tanımı ve temel kavramlar.....	10
2.4.2 Sertlik test yöntemleri	11
2.4.3 Sertlik değerinin alüminyum alaşımlarına etkisi	13
2.4.4 Sertlik ve mekanik özellikler arasındaki ilişki.....	13
2.5. Çekme Dayanım.....	14
2.5.1 Çekme dayanımı testi	15
2.5.2 Çekme dayanımını etkileyen faktörler.....	16
2.5.3 Çekme dayanımının alüminyum alaşımlarındaki önemi	16
2.6. Termoelektriksel Özellikler	17
2.6.1 Termoelektriksel özelliklerin önemli parametreleri	17
2.6.2 Termoelektriksel özelliklerin alüminyum alaşımlarına etkisi	18
2.6.3 Termoelektriksel özelliklerin uygulamaları.....	18
2.7. Termofiziksel Özellikler	18
2.7.1 Termofiziksel özelliklerin parametreleri	18
2.7.2 Termofiziksel özelliklerin alüminyum alaşımlarına etkisi	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. DeneySEL Sistem	20
3.1.1 Numune kalıplarının hazırlanması.....	20
3.1.2 Alaşımın hazırlanması	22
3.1.3 Katılaştırma işlemi.....	22
3.2. Metalografik İşlemler.....	23

3.2.1 Numunelerin kesilmesi ve kalıplanması	24
3.2.2 Numunelerin zımparalama ve parlatılması	25
3.3. SEM Görüntülerinin Alınması	26
3.4. EDX Ölçümlerinin Alınması.....	27
3.5. Haritalama İşleminin Yapılması	27
3.6. Mikrosertlik Değerlerinin Ölçülmesi	27
3.7. Çekme-Dayanım Değerlerinin Ölçülmesi.....	27
3.8. Termoelektriksel Özelliklerin Belirlenmesi	28
3.8.1 Erime sıcaklığı, füzyon entalpisi (ΔH) ve ısı kapasitesinin (Cpl) hesaplanması	28
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	31
4.1. Gözlenen Mikroyapılar	31
4.1.1 Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni alaşım sistemi	31
4.1.2 Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si alaşım sistemi.....	33
4.1.3 Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşım sistemi	37
4.2. Alaşım Sistemlerinin Sertlik Değerleri	40
4.3. Alaşım Sistemlerinin Çekme Dayanımı Değerleri.....	41
4.4. Erime Sıcaklığı (T_m) (K), Füzyon Entalpisi (ΔH) (J/g) ve Isı Kapasitesi (Cpl) (J/gK) Tayini.	42
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	52

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AL-CR-MN ÖTEKTİK ALAŞIMI ÜZERİNE Nİ VE Sİ İLAVESİNİN MİKROYAPI, MEKANİK VE TERMOELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

Ferhat HÜYÜKLÜ

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Yusuf KAYGISIZ

İkinci Danışman: Doç. Dr. Cem Burak YILDIZ

ÖZET

Bu çalışmada, alüminyum esaslı dörtlü ve beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si, Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni ve Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si-%0.5Ni alaşımlarının mekanik ve termofiziksel/elektriksel özellikleri araştırılmıştır. Alaşımlar yüksek saflıkta elementler kullanılarak döküm fırınında yönlü katılaştırma yoluyla üretilmiştir. Bu alaşımların mikroyapı görüntüleri FEI-Quanta FEG 250 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak elde edildi. Ayrıca Enerji Dağılımı Spektrometresi (EDS) ile faz bileşimleri tanımlanmış ve görüntü haritalaması yapılmıştır. Sertlik ölçümleri, 10 saniyelik bir sürede 100 gramlık bir yük uygulayarak Future Tech FM700 model Vickers sertlik test cihazı ile ölçülmüştür. Çekme mukavemet testleri, 3.5 mm çapında ve 60 mm uzunluğunda silindirik numuneler üzerinde Shimadzu Universal Tester ile ortam sıcaklığında 1 mm/dk gerinim hızında gerçekleştirildi. Ayrıca alaşımların termofiziksel/elektriksel özellikleri Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu kapsamda, sıvı-katı faz geçişinin kinetiğini karakterize etmede önemli olan erime sıcaklığı, füzyon entalpisi ve ısı kapasitesindeki değişiklikler incelenmiştir. Si ve Ni ilavesiyle malzemenin sertlik değeri artmıştır. Öte yandan Si+Ni ilavesiyle sertlik değerinde artış olmamıştır. Çekme dayanımı açısından Si ve Ni ilavesiyle malzemelerin çekme dayanımında önemli bir artış olmuş, ancak Si+Ni ilavesiyle çekme dayanımı azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ötektik Alaşım, Mikroyapı, Mekanik Özellikler, Isı Kapasitesi.

Aralık, 2024; 52 sayfa

M.Sc. THESIS

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY EFFECT OF NI AND SI ADDITIONS ON AL-CR-MN EUTECTIC ALLOY ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL AND THERMOELECTRICAL PROPERTIES

Ferhat HÜYÜKLÜ

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

Supervisor: Doç. Dr. Yusuf KAYGISIZ

Second Supervisor: Doç. Dr. Cem Burak YILDIZ

ABSTRACT

In this study, the mechanical and thermophysical/electrical properties of aluminum based quaternary and quinary Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si, Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni and Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si-%0.5Ni alloys were investigated. The alloys were produced by directional solidification in a foundry furnace using high purity elements. Microstructure images of these alloys were obtained using FEI-Quanta FEG 250 model Scanning Electron Microscope (SEM). In addition, phase compositions were defined by Energy Dispersive Spectrometry (EDS), and image mapping was performed. Hardness measurements were taken by Future Tech FM700 model Vickers hardness tester by applying a 100-gram load for a period of 10 seconds. Tensile strength tests were performed on cylindrical samples with a diameter of 3.5 mm and a length of 60 mm at ambient temperature using Shimadzu Universal Tester at a strain rate of 1 mm/min. In addition, thermophysical/electrical properties of the alloys were calculated using the Differential Thermal Analysis (DTA) method. In this context, changes in melting temperature, fusion enthalpy and heat capacity, which are important in characterizing the kinetics of the liquid-solid phase transition, were investigated. The hardness value of the material increased with the addition of Si and Ni. On the other hand, there was no increase in the hardness value with the addition of Si+Ni. In terms of tensile strength, there was a significant increase in the tensile strength of the materials with the addition of Si and Ni, but the tensile strength decreased with the addition of Si+Ni.

Keywords: Eutectic Alloy, Microstructure, Mechanical Properties, Heat Capacity

December, 2024; 52 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Brinell sertlik ölçüm testi. (Colling D.A., 1995)	11
Şekil 2.2. (a) Vickers sertlik ölçüm metodunun şematik gösterimi, (Askeland D.R, 1990) (b) Batan ucun numune yüzeyinde bıraktığı izin fotoğrafı.	13
Şekil 2.3. Çekme-uzama diagramı. (Hall, 1951) (Petch, 1953)	14
Şekil 3.1. Grafitten yapılmış numune kalıplar	21
Şekil 3.2. Numune kalıbının şematik gösterimi (Kaygısız, 2014)	21
Şekil 3.3. Al-Cr-Mn ötektik faz diyagramı	22
Şekil 3.4. Alaşım hazırlanmasında kullanılan terazi.....	23
Şekil 3.5. a) Vakumlu ergitme fırını, b) döküm fırını.....	24
Şekil 3.6. Kalıplama işleminin aşamaları.....	25
Şekil 3.7. Zımpara kâğıtlarının fotoğrafı	25
Şekil 3.8. Taramalı elektron mikroskopunun (SEM) fotoğrafı.....	26
Şekil 3.9. Saf alüminyum için elde edilmiş DTA-Sıcaklık eğrisi.....	30
Şekil 4.1. Al-Cr-Mn-%0.5Ni alaşımına ait döküm fazına ait SEM görüntüleri; a) Enine kesit, b) (a)'nın yüksek büyütmede alınmış görüntüsü, c) Boyuna kesit, d) (c)'nin yüksek büyütmede alınmış görüntüsü	32
Şekil 4.2. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşımının SEM görüntüsü ve EDS sonuçları, (a) enine kesit, (b) matris fazın EDS sonucu (Spot 1). (c) gri fazın EDS sonucu (Spot 2), (d) açık gri fazın EDS sonucu (Spot 3).....	33
Şekil 4.3. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşımının haritalama görüntüsü.....	34
Şekil 4.4. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si alaşımına ait döküm fazına ait SEM görüntüleri; a) Enine kesit, b) (a)'nın yüksek büyütmede alınmış görüntüsü, c) Boyuna kesit, d) (c)'nin yüksek büyütmede alınmış görüntüsü.	35
Şekil 4.5. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si alaşımının SEM görüntüsü ve EDS sonuçları, (a) enine kesit, (b) matris fazın EDS sonucu (Spot 1). (c) gri fazın EDS sonucu (Spot 2), (d) çubuk benzeri gri fazın EDS sonucu (Spot 3), (e) siyah fazın EDS sonucu (Spot 4).	36
Şekil 4.6. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si alaşımının haritalama görüntüsü.....	37
Şekil 4.7. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşımına ait döküm fazına ait SEM görüntüleri; a) Enine kesit, b) (a)'nın yüksek büyütmede alınmış görüntüsü, c) Boyuna kesit, d) (c)'nin yüksek büyütmede alınmış görüntüsü.	38
Şekil 4.8. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşımının SEM görüntüleri ve EDS sonuçları, (a) Boyuna kesit, (b) Matris fazının EDS sonucu (Spot 1). (c) Beyaz dairesel fazın EDS sonucu (Spot 2), (d) Beyaz fazın EDS sonucu (Spot 3).....	39
Şekil 4.9. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşımının haritalama görüntüsü..	40
Şekil 4.10. Ötektik Al-%0.3Cr-%2.0Mn (ağ) alaşımına Ni ve Si ilavesi sonrası Sertlik değerleri.	41
Şekil 4.11. Ötektik Al-%0.3Cr-%2.0Mn (ağ) alaşımına Ni ve Si ilavesi sonrası Çekme dayanım-uzama eğrileri.	42
Şekil 4.12. Al-%0.3Cr-%2.0Mn- %0.5Ni(ağ) alaşımına ait DTA-Sıcaklık eğrisi ...	43
Şekil 4.13. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşımına ait DTA-Sıcaklık eğrisi	44
Şekil 4.14. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si(ağ) alaşımına ait DTA-Sıcaklık eğrisi.	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 4. 1. Ni ve Si ilaveli dörütlü ve beşli alaşımların erime sıcaklığı, Füzyon entalpi ve özgül ısı kapasite değeri.....	45
---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları, düşük yoğunlukları, yüksek mukavemet-ağırlık oranları ve korozyona karşı dirençleri ile endüstride geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu alaşımlar, özellikle otomotiv, havacılık, elektronik ve enerji sektörlerinde tercih edilmektedir. Alüminyum esaslı alaşımlar, hem yapısal bileşenlerde hem de fonksiyonel uygulamalarda kullanılmakta, mekanik ve termoelektriksel özellikler gibi kritik performans göstergeleri ile öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu alaşımların mikro yapısı, mekanik özellikleri ve termal performansını iyileştirmek amacıyla çeşitli elementler ile alaşımlandırma işlemi yapılmaktadır. Bu çalışmanın odak noktası olan Al-Cr-Mn ötektik alaşımı, yüksek sıcaklık dayanımı, iyi termal kararlılık ve uygun mekanik özellikleri ile dikkat çeken bir alaşımdır.

Ötektik alaşımlar, iki veya daha fazla bileşenin belirli bir oranda birleşerek katılaşması sonucu ortaya çıkan ve kendine has faz diyagramına sahip alaşımlar olup, genellikle düşük sıcaklıklarda katılaşarak özel faz yapıları oluştururlar (Davis, 2016). Bu alaşımlar, özellikle ince taneli yapı ve düzgün faz dağılımı sayesinde yüksek sertlik ve dayanıklılık sunar. Al-Cr-Mn ötektik alaşımı, endüstriyel olarak önemli bir alaşım olup, katkı maddeleri ile modifiye edilerek mekanik ve termoelektriksel özellikler açısından daha ileri performans gösterebilir.

Alaşımlara yapılan element ilaveleri, alaşımın içyapısında faz değişikliklerine ve bu fazların morfolojilerinde farklılıklara yol açar. Bu çalışmada, Al-Cr-Mn ötektik alaşımına nikel (Ni) ve silisyum (Si) elementlerinin ilavesi sonucu oluşan mikroyapısal ve mekanik değişiklikler ile termoelektriksel özellikler incelenmiştir. Ni, genellikle sertliği ve çekme dayanımını artırması ile bilinirken, Si alaşımı ise termoelektriksel performansın artırılmasına yönelik önemli katkılar sağlar (Chang ve Lee, 2018). Bu iki elementin sinerjik etkisi, özellikle yüksek sıcaklık uygulamaları için termoelektrik jeneratörler, otomotiv motorları ve enerji dönüştürme cihazları gibi uygulamalarda önem kazanmaktadır.

Ni ve Si ilavelerinin etkisini anlamak, alaşımın mikroyapısındaki faz yapılarının incelenmesi ile başlar. Ötektik alaşımlarda mikroyapı, alaşımın katılaşma koşullarına ve elementlerin faz diyagramına göre şekillenir. Bu çalışmada, Ni ve Si ilavelerinin

Al-Cr-Mn ötektik alaşımasının mikroyapısında ne gibi değişikliklere neden olduğunu incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılım X-ışını spektroskopisi (EDX) kullanılarak detaylı mikro yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, alaşımın mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla mikrosertlik ve çekme dayanımı testleri yapılmıştır.

Al-Cr-Mn ötektik alaşımasının termal özellikleri de çalışmada önemli bir yer tutmaktadır. Alaşıma Ni ve Si eklenmesi, alaşımın termal özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir. Termoelektriksel cihazlar, ısıyı elektrik enerjisine dönüştürme potansiyeli ile sürdürülebilir enerji üretimi açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, Ni ve Si ilavelerinin alaşımın erime sıcaklığı, füzyon entalpisi (ΔH) ve ısı kapasitesi (Cpl) üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Davis, 2016). Bu özelliklerin incelenmesi, alaşımın termoelektriksel verimliliğini artırarak endüstriyel uygulamalarda kullanımını genişletebilir.

Literatürde, Al-Cr-Mn alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte, Ni ve Si ilavelerinin birlikte incelendiği çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle, bu çalışma literatüre önemli bir katkı sağlayacak niteliktedir. Özellikle alaşımın çekme dayanımı ve mikrosertlik gibi mekanik özelliklerinin yanı sıra, termoelektriksel özelliklerinin de ele alınması, farklı uygulamalar için geniş kapsamlı bir performans değerlendirmesi sunacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışmada Al-Cr-Mn ötektik alaşımına Ni ve Si elementlerinin ilave edilmesi sonucu mikroyapıdaki değişimler, mekanik özelliklerdeki iyileşmeler ve termoelektriksel performanstaki artışlar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen bulgular, bu alaşımın gelecekte yüksek performans gerektiren mühendislik uygulamalarında kullanım potansiyelini artıracaktır.

2. LİTERATÜR BİLGİSİ

2.1. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum, dünya üzerinde en çok kullanılan metallerden biri olup, hafifliği, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve mükemmel korozyon direnci gibi özellikleri ile öne çıkmaktadır. Alüminyum alaşımları, esas olarak iki ana gruba ayrılmaktadır: ısıtılabilir (seriler 2xxx, 6xxx ve 7xxx) ve ısıtılabilir tutulamayan (seriler 1xxx, 3xxx, 4xxx ve 5xxx) alaşımlar. Bu grupların her biri, farklı uygulamalar için özel olarak formüle edilmiştir ve belirli özelliklere sahiptir (Davis, 2016).

2.1.1 Seriler ve bileşenleri

1xxx Serisi: %99 ve üzerinde alüminyum içeren bu alaşımlar, yüksek elektriksel iletkenlik ve korozyon direnci ile bilinir. Genellikle elektrik ve inşaat sektöründe kullanılır.

2xxx Serisi: Bakır (Cu) esaslı alaşımlar olup, yüksek çekme dayanımına sahiptir. Genellikle havacılık endüstrisinde, özellikle yapısal elemanlar için kullanılır. Bununla birlikte, korozyon direnci daha düşüktür ve genellikle yüzey kaplamaları gerektirir.

3xxx Serisi: Manganez (Mn) ile alaşımlandırılmış alüminyum, iyi şekil verilebilirlik ve orta dayanım sunar. Genellikle içecek kutuları, mutfak eşyaları ve yapı uygulamalarında kullanılır.

4xxx Serisi: Silikon (Si) ile alaşımlandırılan bu gruptaki alaşımlar, düşük erime sıcaklıkları ve iyi akışkanlık özellikleri ile bilinir. Genellikle kaynak ve döküm uygulamalarında tercih edilir.

5xxx Serisi: Magnezyum (Mg) ile alaşımlandırılmış bu gruptaki alüminyumlar, iyi korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik özelliklerine sahiptir. Deniz yapıları ve otomotiv uygulamaları gibi zorlu ortamlarda kullanılır.

6xxx Serisi: Silikon ve magnezyum karışımı ile oluşan bu alaşımlar, iyi mekanik özelliklere ve işlenebilirliğe sahiptir. İnşaat ve otomotiv sektörlerinde geniş bir uygulama yelpazesi bulur.

7xxx Serisi: Çinko (Zn) ile alaşımlandırılan bu gruptaki alaşımlar, çok yüksek dayanım sunar ve genellikle askeri ve havacılık uygulamalarında kullanılır. Ancak, korozyon direnci düşüktür, bu nedenle genellikle kaplama gerektirir.

2.1.2 Mekanik özellikler

Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri, alaşım bileşimi ve işlem koşullarına bağlı olarak değişir. Bu alaşımlar, hafif olmalarına rağmen, iyi çekme dayanımı ve sertlik gösterirler. Alüminyum alaşımlarında sertlik, genellikle yüzey sertleştirme yöntemleri ile artırılır (Brown, 2019). Ayrıca, alaşımın sıcaklık ve stres altında gösterdiği deformasyon davranışı da önemli bir özelliktir. Özellikle ısıtma işlemi uygulanan alaşımlar, yüksek sıcaklıklarda bile stabilite gösterirler.

2.1.3 Korozyon direnci

Alüminyum, doğal olarak oluşan oksit tabakası sayesinde korozyona karşı dirençlidir. Bununla birlikte, farklı alaşım elementleri eklenerek bu direncin artırılması mümkündür. Örneğin, Mg içeren alaşımlar genellikle daha yüksek korozyon direnci sergiler. Korozyon direncinin artırılması, özellikle deniz ve kimyasal ortamlar gibi zorlu uygulamalarda kritik öneme sahiptir (Smith, 2020).

2.1.4 Isıl işlem uygulanabilirlik

Isıl işlemler, alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılır. Bu işlemler, alüminyum alaşımlarının mikro yapısında belirli fazların oluşumuna neden olarak, sertlik ve çekme dayanımını artırır. Örneğin, çözündürme ve yaşlandırma işlemleri, özellikle 2xxx ve 7xxx serisi alaşımlarda dayanımın artırılmasında etkilidir (Thompson, 2017). Mikro yapıda oluşan ince taneli yapı ve precipitat (katı çözeltilisi) fazları, mekanik özelliklerin iyileştirilmesine katkı sağlar.

2.1.5 Termal özellikler

Alüminyum alaşımlarının termal özellikleri, enerji transferi ve ısıtma-soğutma uygulamaları için önemli bir faktördür. Özellikle termoelektrik uygulamalarda, alaşımın ısı iletkenliği, düşük sıcaklıkta daha iyi performans gösteren alaşımların

geliştirilmesine olanak tanır. Silikon ve nikel ilaveleri gibi katkı maddeleri, alaşımın termoelektrik özelliklerini geliştirebilir (Chang ve Lee, 2018).

2.1.6 Uygulama alanları

Alüminyum alaşımlarının geniş bir uygulama yelpazesi vardır. Otomotiv endüstrisi, havacılık, yapı malzemeleri, deniz yapıları ve tüketici ürünleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alaşımlar, hafiflikleri sayesinde enerji tasarrufuna yardımcı olurken, yüksek dayanıklılıkları ile de uzun ömürlü ürünler sunar.

Sonuç olarak, alüminyum alaşımları, çeşitli bileşenleri ve işlemleri ile zengin bir yelpazeye sahip olup, birçok endüstride önemli bir rol oynamaktadır. Bu alaşımların mikro yapısının ve mekanik özelliklerinin detaylı incelenmesi, gelecekteki uygulamalar ve geliştirmeler için büyük önem taşımaktadır.

2.2. Alüminyum Alaşımlarının Katılaşması

2.2.1 Katılaşma sürecinin tanımı ve önemi

Katılaşma, sıvı haldeki bir metalin, soğuma ile katı hale dönüşmesi sürecidir. Bu süreç, malzemenin mikroyapısını ve nihai mekanik özelliklerini belirleyerek, malzemenin işlenebilirliği, şekil alabilirliği ve dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Alüminyum alaşımları gibi metallerde katılaşma, üretim süreçlerinin kontrol edilmesi açısından kritik bir aşamadır. Katılaşmanın doğru bir şekilde yönetilmesi, özellikle endüstriyel döküm uygulamalarında, malzemenin hem üretim aşamasındaki verimliliğini artırır hem de nihai ürünün kalite özelliklerini iyileştirir. Bu nedenle, katılaşma süreci alüminyum alaşımlarının tasarımında önemli bir rol oynar (Kurz ve Fisher, 1998; Campbell, 2015).

Alüminyum alaşımlarında katılaşma, özellikle hafiflik, dayanım, korozyon direnci ve yüksek sıcaklık stabilitesi gibi özelliklerin optimize edilmesinde etkilidir. Alüminyumun düşük yoğunluğu ve iyi işlenebilirliği, onu otomotiv, havacılık ve inşaat endüstrileri gibi çeşitli alanlarda çok değerli bir malzeme yapmaktadır. Ancak bu avantajlar, doğru katılaşma sürecinin kontrol edilmesine bağlıdır. Katılaşma sırasında sıvı metalin sıcaklık dağılımı, soğuma hızları ve alaşımın bileşenleri, nihai

ürünün kalitesini doğrudan etkileyebilir. Bu nedenle, her aşama dikkatle izlenmeli ve optimize edilmelidir (Verhoeven, 2007).

2.2.2 Katılaşma mekanizmaları

Katılaşma süreci, iki ana aşamadan oluşur: nükleasyon (çekirdeklenme) ve büyüme. Bu süreçlerin her biri, alüminyum alaşımının mikroyapısının biçimlenmesinde önemli bir rol oynar. Bu iki aşama, birbirini takip eder ve her birinin özellikleri, son ürünün mekanik özelliklerine ve yüzey kalitesine yansır.

Nükleasyon (Çekirdeklenme): Katılaşma sürecinin ilk aşaması olan çekirdeklenme, sıvı metalin içindeki katı fazların ilk kez oluşmaya başladığı andır. Bu olay, sıvı metalin bir bölgesinde sıcaklık düşüşü nedeniyle oluşan ilk katı çekirdeklerin yayılmaya başlamasıyla gerçekleşir. Bu çekirdekler, çevresindeki sıvı faza kıyasla daha düşük enerji seviyelerine sahip olduğundan, büyümeye başlar ve sonunda katı fazın oluşumunu başlatır. Nükleasyon, iki şekilde gerçekleşebilir: homojen ve heterojen.

- *Homojen Nükleasyon:* Bu tip nükleasyon, sıvı metalde rasgele bir şekilde, dışarıdan herhangi bir etmen olmadan kendiliğinden meydana gelir. Ancak bu süreç, yüksek enerji bariyerleri gerektirdiği için genellikle zordur ve alüminyum alaşımlarında nadiren görülür (Kurz ve Fisher, 1998).

- *Heterojen Nükleasyon:* Sıvı fazda yabancı katı yüzeylerin varlığı durumunda meydana gelir. Bu yabancı yüzeyler, örneğin kalıp yüzeyleri veya eklenen katkı maddeleri, çekirdeklenme için daha düşük enerji gereksinimleri sağlar. Bu süreç alüminyum alaşımlarında çok yaygın olup, katılaşma sürecini daha hızlı ve kontrollü hale getirir (Campbell, 2015). Heterojen nükleasyon sayesinde, alaşımda istenilen özelliklere sahip mikroyapılar daha hızlı bir şekilde oluşur.

Büyüme: Nükleasyon aşamasından sonra, katılaşan metalin kristallerinin büyümesi başlar. Bu aşama, metallerdeki mikroyapıyı belirleyen önemli bir süreçtir. Katı fazın büyümesi sırasında, sıvı fazdan sürekli olarak katı hale geçiş devam eder. Bu büyüme işlemi, genellikle iki farklı şekilde gerçekleşir: dendritik büyüme ve eş eksenli büyüme.

-*Dendritik Büyüme:* Hızlı soğuma koşullarında, katı faz kristalleri ağaç dalına benzeyen dallanmış yapılar oluşturur. Bu yapı, mekanik özellikler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir; çünkü dendritik yapılar, özellikle çekme dayanımı ve sertlik açısından daha avantajlıdır. Ancak, dendritik yapılar da daha kırılgan olabilir (Campbell, 2015).

- *Eş Eksenli Büyüme:* Yavaş soğuma koşullarında, kristaller daha düzenli ve uzun eksenli yapılar oluşturur. Eş eksenli kristaller, dökümde daha homojen bir mikroyapı sağlar ve malzemenin mekanik özelliklerini dengeleyebilir. Bu tür büyüme genellikle daha yavaş soğuma hızlarında meydana gelir ve daha az çatlama riski taşır (Kurz ve Fisher, 1998).

2.2.3 Katılaşma türleri ve mikroyapıya etkisi

Alüminyum alaşımlarındaki katılaşma türleri, alaşımın kimyasal bileşimi, soğuma hızları ve çevresel koşullar gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Katılaşma türü, mikroyapının nasıl şekilleneceğini belirler ve malzemenin mekanik özellikleri üzerinde doğrudan etkiye sahiptir.

Eş Eksenli Katılaşma: Eş eksenli katılaşma, genellikle hızlı soğuma koşullarında meydana gelir. Bu tür katılaşma, kristallerin daha düzgün, homojen ve küçük taneli yapılar oluşturmaya neden olur. Bu, alüminyum alaşımlarında yüksek mekanik dayanım, çekme dayanımı ve daha az çatlama riski sağlar. Eş eksenli yapılar, özellikle dökümde tercih edilen bir mikroyapıdır, çünkü düzgün bir mikro yapıya sahip olmaları, malzemenin daha az iç gerilim oluşturmaya ve işlenebilirliğinin artmasına yardımcı olur (Campbell, 2015).

Sütunlu Katılaşma: Sütunlu katılaşma, yavaş soğuma hızlarıyla karakterizedir. Bu süreçte, kristaller uzun ve paralel yapılar oluşturur. Sütunlu yapılar, alüminyum alaşımlarında mekanik özellikleri zayıflatabilir, çünkü bu yapılar, özellikle içsel gerilimler ve çatlamlar için daha fazla eğilim gösterebilir. Ancak, bu tür katılaşma, termal şok koşullarında yüksek dayanım gösteren alaşımlar için tercih edilebilir (Kurz ve Fisher, 1998).

Ötektik ve Ötektoid Katılaşma: Alüminyum alaşımlarında, ötektik ve ötektoid katılaşma türleri, alüminyumun mikro yapısının belirlenmesinde kritik rol oynar. Bu tür katılaşmalar, sıvı fazdan katı faza geçişte farklı mekanizmaların etkisini gösterir.

- *Ötektik Katılaşma:* Ötektik katılaşma, sıvı fazdan iki farklı katı fazın eş zamanlı olarak ayrışmasıdır. Alüminyum-Silisyum (Al-Si) alaşımları, bu tür katılaşmanın en bilinen örneklerinden biridir. Ötektik alaşımlar, dökümde homojen mikro yapılar sağlar ve bu da malzemenin daha iyi mekanik özellikler göstermesine olanak tanır (Kurz ve Fisher, 1998).

-*Ötektoid Katılaşma:* Ötektoid katılaşma, bir katı fazın daha düşük sıcaklıklarda başka bir katı faza dönüşmesiyle gerçekleşir. Bu tür bir katılaşma, alüminyum alaşımlarının dayanım ve sertlik gibi özelliklerini artırmak için kullanılabilir. Alüminyum alaşımlarında, ötektoid katılaşma özellikle yüksek sıcaklık dayanımına sahip alaşımlar için önemlidir (Campbell, 2015).

2.2.4 Katkı maddelerinin katılaşmaya etkisi

Alüminyum alaşımlarında, kullanılan katkı maddeleri, katılaşma sürecini ve mikroyapıyı doğrudan etkiler. Bu maddeler, sıvı fazda çözünür ve soğuma sırasında farklı kristal yapılarının oluşmasına yol açar. Silisyum (Si) ve nikel (Ni) gibi elementler, katılaşma sürecine müdahale ederek, alaşımın mikroyapısının homojenliğini ve malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirir

- *Silisyum (Si):* Silisyum, alüminyum alaşımlarının katılaşma davranışlarını düzenler ve ötektik yapıları stabilize eder. Bu, alüminyum alaşımlarının sertliğini artırırken, aynı zamanda termal genleşme katsayısını düşürür, bu da sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklı hale gelmelerini sağlar (Verhoeven, 2007).

- *Nikel (Ni):* Nikel, alüminyum alaşımlarının yüksek sıcaklık dayanımını artırır ve aynı zamanda korozyon direncini iyileştirir. Bu özellikleri, alüminyum alaşımlarını özellikle otomotiv ve havacılık uygulamaları için ideal hale getirir. Ayrıca, nikel katkısı, alaşımın mikroyapısını düzenleyerek, çekme dayanımı ve sertlik gibi mekanik özellikleri iyileştirir (Campbell, 2015).

2.3. Katkılama

Alaşıım üretiminde katkılama, malzeme özelliklerini iyileştirmek için belirli elementlerin alaşıma eklenmesi sürecidir. Katkı maddeleri, alaşıımın mikro yapısını, mekanik özelliklerini, korozyon direncini ve işlenebilirliğini etkiler. Alüminyum alaşıımlarında sıkça kullanılan katkı elementleri arasında silikon (Si), bakır (Cu), manganez (Mn), çinko (Zn) ve nikel (Ni) yer alır.

2.3.1 Katkılama amaçları

Katkı maddeleri, genellikle aşağıdaki amaçlarla kullanılır:

Mekanik Özelliklerin İyileştirilmesi: Katkı elementleri, alaşıımın sertliğini ve çekme dayanımını artırabilir. Örneğin, bakır eklenmesi, alüminyumun dayanımını artırırken, diğer elementlerle yapılan kombinasyonlar, özellikle ötektik alaşıımlarda bu etkiyi daha da güçlendirebilir (Davis, 2016).

İşlenebilirliğin Artırılması: Bazı katkı maddeleri, alaşıımın işlenebilirliğini artırarak, şekillendirme ve işleme süreçlerini kolaylaştırabilir. Silikon, alüminyum alaşıımlarında akışkanlığı artırarak döküm işlemleri sırasında kritik bir rol oynar (Chang ve Lee, 2018).

Korozyon Direncinin Artırılması: Özel katkılar, alaşıımın korozyon direncini artırabilir. Özellikle manganez ve çinko gibi elementler, koruyucu tabakaların oluşumunu teşvik ederek alaşıımın ömrünü uzatır (Brown, 2019).

2.3.2 Katkı maddelerinin etkileri

Her bir katkı maddesinin etkisi, alaşıımın türüne ve kullanılan oranına bağlıdır:

Silikon (Si): Alüminyum alaşıımlarında en yaygın katkı maddelerinden biridir. Silikon, döküm sırasında akışkanlığı artırır ve daha düzgün bir yüzey kalitesi sağlar (Smith, 2020).

Bakır (Cu): Genellikle alüminyum-cam (Al-Cu) alaşıımlarında kullanılır. Bakır, alaşıımın mekanik özelliklerini iyileştirirken, aşınma direncini de artırır (Davis, 2016).

Mangan (Mn): Mangan, korozyon direncini artırmakla kalmaz, aynı zamanda mekanik özellikleri de iyileştirir. Özellikle Al-Mn alaşımlarında bu özellikler belirgindir (Thompson, 2017).

2.3.3 Katkılama süreci

Katkılama süreci, alaşımın hazırlanması sırasında belirli bir sıcaklıkta ve koşulda gerçekleştirilir. Katkı maddeleri, genellikle sıvı metalin içine eklenir ve ardından karıştırılarak homojen bir bileşim elde edilir. Bu süreç, alaşımın mikro yapısında istenen özelliklerin sağlanmasını garanti eder (Brown, 2019).

Sonuç olarak, katkılama, alüminyum alaşımlarının özelliklerini optimize etmek için kritik bir aşamadır. Doğru katkı maddelerinin seçilmesi, nihai ürünün performansını doğrudan etkileyebilir.

2.4. Sertlik

2.4.1 Sertlik tanımı ve temel kavramlar

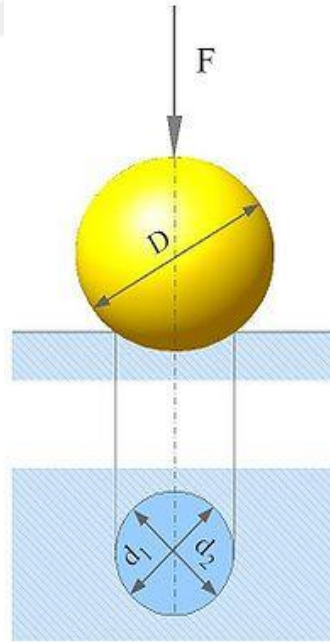
Sertlik, bir malzemenin şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Bu, malzemenin mikro yapısındaki atomlar arasındaki bağların kuvveti ile doğrudan ilişkilidir. Sertlik, özellikle metallerin ve alaşımlarının çeşitli mekanik özelliklerini değerlendirmek için kritik bir parametre olarak kabul edilir. Metalik malzemeler, kullanım alanlarına göre farklı sertlik değerleri ile seçilebilir. Sertlik, metalin dayanıklılığını, aşınma direncini ve deformasyon direncini belirler, bu da endüstriyel uygulamalarda malzeme seçiminde temel rol oynar (Bain ve Paxton, 1968; Callister, 2017).

Alüminyum alaşımlarında sertlik, özellikle otomotiv, havacılık ve yapı sektörlerinde çok önemli bir parametre olarak karşımıza çıkar. Bu alaşımlar genellikle düşük yoğunlukları ve iyi işlenebilirlikleri nedeniyle tercih edilse de, belirli uygulamalar için sertlik değerlerinin artırılması gerekebilir. Sertlik, alaşımdaki çözünmüş elementlerin, alaşımın mikroyapısı ve işlenme yöntemlerine bağlı olarak büyük ölçüde değişir.

2.4.2 Sertlik test yöntemleri

Sertlik testleri, bir malzemenin mekanik özelliklerini değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Sertlik testi, genellikle bir indenter (sert bir cisim) ile malzeme yüzeyine uygulanan kuvvet ile yapılır. İndenterin malzeme yüzeyine girmesi, malzemenin sertliği hakkında bilgi verir. Bu testlerin her biri, malzemenin farklı özelliklerini ve mikro yapısını değerlendirir. Alüminyum alaşımlarının sertliğini belirlemek için dört ana test yöntemi kullanılır: Brinell, Rockwell, Knoop ve Vickers sertlik testleri. Her birinin avantajları ve uygulama alanları farklıdır.

1.Brinell Sertlik Testi: Brinell testi, genellikle daha büyük ve homojen yapıda olan metaller için uygundur. Bu testte, bir çelik top, belirli bir kuvvetle malzemenin yüzeyine itilerek çukur oluşturur. Çukurun çapı ölçülerek sertlik değeri hesaplanır. Brinell testinin avantajı, özellikle daha kaba yapıli alaşımların sertliğini ölçmede başarılı olmasıdır. Ancak bu testin en büyük dezavantajı, testin uygulandığı yüzeyin düzgün olmasını gerektirmesidir (Bain ve Paxton, 1968).Şekil 2.1’de Brinell sertlik testinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Brinell sertlik ölçüm testi (Colling,1995).

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

$$H_K = \frac{\text{Uygulanan Yük}(kgf)}{\text{İz alanı}(mm^2)} \quad (2.1)$$

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

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

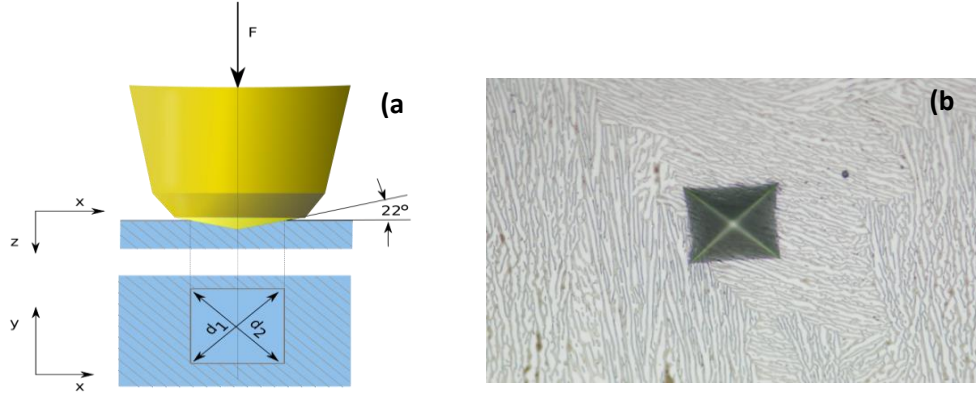
2.Rockwell Sertlik Testi: Rockwell testi, hızlı ve pratik sonuçlar verir. Bu test, genellikle alüminyum alaşımlarının sertliğini ölçmek için yaygın olarak tercih edilir. Rockwell testinde, bir top veya koni şeklindeki indenter, malzeme yüzeyine belirli bir kuvvetle itilerek daldırılır. Sonuç, indenterin ne kadar daldığını ölçen bir skala ile belirlenir. Rockwell sertlik testi, özellikle otomotiv ve uçak endüstrisinde yaygın olarak kullanılır, çünkü hızlı ve doğru sonuçlar verir (Callister, 2017).

3.Knoop Sertlik Testi: Knoop testi, ince filmler veya küçük alanlar için uygundur. Knoop testinde, elmas piramit şeklindeki bir indenter, malzeme yüzeyine belirli bir kuvvetle itilerek çukur oluşturur. Çukurun uzunluğu ölçülerek sertlik değeri belirlenir. Bu test, çok küçük alanlarda sertlik ölçümü yapmak için kullanılır, bu nedenle hassas ölçümler gerektiren uygulamalar için idealdir (Kirkpatrick ve Maringer, 2009). Knoop sertliği HK veya KHN ile gösterilir ve aşağıdaki formülle ifade edilir;

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

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

4.Vickers Sertlik Testi: Vickers testi, özellikle alüminyum alaşımlarında yaygın olarak kullanılır ve çok hassas sonuçlar verir. Vickers testi, elmas piramit şeklindeki bir indenter ile yapılır ve test sırasında indenter, malzeme yüzeyine belirli bir kuvvetle itilerek çukur oluşturur (Şekil 2.2). Bu çukurun iki çapı ölçülerek sertlik değeri hesaplanır. Vickers testi, küçük ve ince malzemelerde sertlik ölçümü yapmak için en uygun test yöntemidir (Callister, 2017).



Şekil 2. 2. (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.

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

F ; uygulanan yük, g ; yer çekim ivmesi, d ($d^2=d_1 \cdot d_2$); izin alanıdır.

2.4.3 Sertlik değerinin alüminyum alaşımlarına etkisi

Sertlik, alüminyum alaşımlarının fiziksel özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Alüminyum alaşımlarına eklenen çeşitli elementler, alaşımın sertlik değerini doğrudan etkiler. Örneğin, alüminyum silisyum alaşımlarında silisyum miktarının artması, alaşımın sertliğini artırırken, işlenebilirliğini azaltabilir. Nikel, manganez ve diğer elementler de benzer şekilde sertlik üzerinde etki yapar (Bain ve Paxton, 1968). Ancak bu, malzemenin işlenebilirliğini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, alüminyum alaşımlarının sertlik değerleri, alaşımın bileşimi ve işlem koşullarıyla birlikte dikkatle optimize edilmelidir.

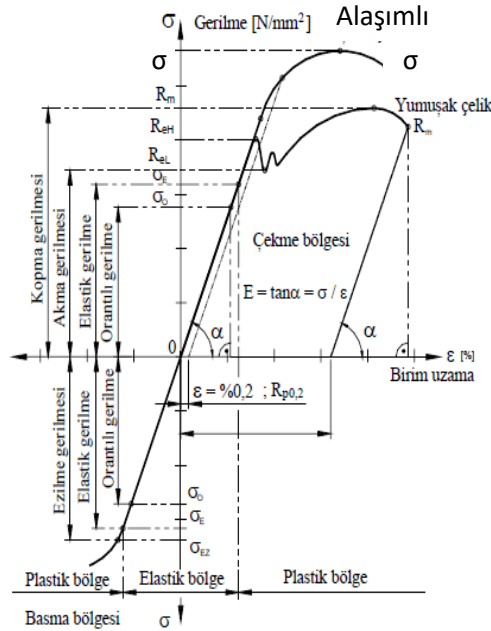
2.4.4 Sertlik ve mekanik özellikler arasındaki ilişki

Sertlik, bir malzemenin diğer mekanik özellikleriyle, özellikle çekme dayanımı ve gerilme ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek sertlik değerine sahip bir alaşım, genellikle yüksek çekme dayanımına sahip olur. Bununla birlikte, alaşımların sertlik değeri arttıkça, genellikle işlenebilirlikleri ve şekil alabilirlikleri azalır. Bu nedenle, bir

alaşımın sertlik değeri ile diğer mekanik özellikleri arasında bir denge kurulması gerekmektedir.

2.5. Çekme Dayanım

Çekme dayanımı, bir malzemenin, çekme kuvveti altında kopmadan dayanabileceği maksimum gerilim miktarını ifade eder (Şekil 2.3). Bir malzemenin çekme dayanımı, genellikle gerilme-şekil değiştirme eğrisindeki maksimum noktada bulunan gerilme değeri ile belirlenir. Çekme dayanımı, metal malzemelerin dayanıklılığını belirleyen temel faktörlerden biridir. Bu özellik, özellikle alüminyum alaşımlarının otomotiv ve havacılık gibi endüstrilerdeki uygulamalarında kritik bir rol oynar (Callister, 2017).



Şekil 2. 3. Çekme-uzama diagramı (Hall, 1951; Petch, 1953).

Çekme dayanımı, malzemenin plastik deformasyona uğramadan önceki maksimum gerilme kapasitesini belirler ve bu da malzemenin kopma noktasına kadar ne kadar dayanabileceğini gösterir. Bu özellik, aynı zamanda bir malzemenin ne kadar esnek olduğunu da belirler. Çekme dayanımının yanı sıra, alüminyum alaşımlarının gerilme oranı ve akma dayanımı da malzeme mühendisliği açısından önemlidir.

2.5.1 Çekme dayanımı testi

Çekme testi, bir malzemenin çekme dayanımını belirlemek için yapılan standart testtir. Çekme testi sırasında, malzeme örneği bir çekme test cihazına yerleştirilir ve belirli bir hızla çekilir. Çekme sırasında, malzeme başlangıçta elastik davranır ve sonra plastik bölgeye geçer. Bu süreç, malzemenin akma noktasına ve kopma noktasına kadar takip edilir.

Çekme testi, genellikle bir gerilme-şekil değiştirme eğrisi oluşturulmasını sağlar. Bu eğri, malzemenin elastik bölgedeki gerilme değerini, plastik bölgedeki deformasyonunu ve maksimum çekme dayanımını gösterir. Eğrideki maksimum noktada, malzeme çekme dayanımına ulaşır ve bu noktadan sonra malzeme kopar. Bu test, malzemenin çekme dayanımını, elastik modülünü ve uzama oranını belirlemek için kullanılır (Bhat ve Bhat, 2012).

Çekme-dayanımı σ ,

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

eşitliği ile hesaplanır ve birimi N/mm² veya MPa dır. Burada, F çekme kuvveti, A ise malzemenin deformasyona uğramadan önceki kesit alanıdır. Deformasyon (uzama) miktarı ε ,

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

eşitliği ile hesaplanır. Burada, ΔL 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.

2.5.2 Çekme dayanımını etkileyen faktörler

Çekme dayanımını etkileyen başlıca faktörler arasında alaşımın bileşimi, ısıl işlem koşulları ve malzemenin kristal yapısı yer alır. Alüminyum alaşımlarında, çekme dayanımını artırmak için çeşitli elementler eklenebilir.

1. Alaşımlar ve Katkı Maddeleri: Alüminyum alaşımlarına eklenen silisyum, nikel ve manganez gibi elementler, alaşımın çekme dayanımını artırabilir. Bu elementler, malzemenin mikro yapısını değiştirebilir ve kristal yapıdaki düzensizlikleri ortadan kaldırabilir. Silisyum özellikle alaşımın sertliğini artıran ve yüksek sıcaklıklara dayanabilen bir elementtir (Bhat ve Bhat, 2012).

2. Isıl İşlem: Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlemler, çekme dayanımını artırabilir. Özellikle, tavlama, sertleştirme ve soğuk şekillendirme gibi ısıl işlemler, malzemenin kristal yapısını ve mikro yapısını değiştirerek çekme dayanımını artırır. Isıl işlem, ayrıca malzemenin gerilme dayanımını ve akma noktası gibi önemli parametreleri de iyileştirebilir (Kurz ve Fisher, 1998).

3. Kristal Yapı ve Dendritik Yapılar: Alüminyum alaşımlarında, kristal yapı ve dendritik yapılar, çekme dayanımını önemli ölçüde etkiler. Dendritik yapılar, özellikle hızlı soğuma koşullarında oluşur ve bu yapılar, alaşımın daha yüksek çekme dayanımına sahip olmasına yardımcı olabilir (Campbell, 2015).

2.5.3 Çekme dayanımının alüminyum alaşımlarındaki önemi

Alüminyum alaşımlarının çekme dayanımı, özellikle otomotiv ve havacılık endüstrilerinde çok önemli bir parametredir. Yüksek çekme dayanımına sahip alaşımlar, daha dayanıklı ve güvenli yapılar oluşturulmasına olanak tanır. Bununla birlikte, çekme dayanımını artırmak için yapılan işlemler, genellikle işlenebilirlik üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Bu nedenle, alüminyum alaşımlarının tasarımında çekme dayanımının artırılması, işlenebilirlik ve maliyetler ile bir denge içinde yapılmalıdır.

2.6. Termoelektriksel Özellikler

Termoelektriksel özellikler, malzemelerin ısı enerjisini elektrik enerjisine veya tersine çevirmesi ile ilgilidir. Bu özellikler, genellikle Seebeck etkisi, Peltier etkisi ve Thomson etkisi ile açıklanır. Seebeck etkisi, bir sıcaklık farkı uygulandığında elektriksel potansiyel farkı oluşmasını sağlar ve bu etki, enerji dönüşümünün temelini oluşturur (Jiang, vd., 2020).

Termoelektriksel malzemeler, özellikle termoelektrik jeneratörler (TEG) ve termoelektrik soğutucular gibi cihazlarda kullanılmaktadır. Termoelektrik jeneratörler, düşük sıcaklık farkları ile elektrik üretirken, termoelektrik soğutucular, ısıyı etkili bir şekilde transfer ederek cihazların soğutulmasına olanak tanır (Zhou, vd., 2015).

2.6.1 Termoelektriksel özelliklerin önemli parametreleri

Termoelektriksel verimliliği belirleyen başlıca parametreler, Seebeck katsayısı (α), elektriksel iletkenlik (σ), termal iletkenlik (κ) ve termal güç faktörü (ZT)'dir (Bauernfeind, vd., 2018).

Seebeck Katsayısı (α): Seebeck katsayısı, bir sıcaklık farkının elektriksel gerilime dönüşme yeteneğini tanımlar. Bu özellik, termoelektriksel malzemelerin temel performans parametrelerinden biridir ve yüksek Seebeck katsayısı, malzemenin elektrik üretme kapasitesini artırır (Gurvitch ve Moore, 1985).

Elektriksel İletkenlik (σ): Elektriksel iletkenlik, malzemenin elektrik akımını iletme yeteneğidir. Bu özellik, özellikle termoelektrik malzemelerde yük taşıyıcı yoğunluğu ve taşıyıcı mobilitesi ile ilişkilidir. Yüksek elektriksel iletkenlik, termoelektrik verimliliği açısından önemlidir (Koehler ve Moore, 1990).

Termal İletkenlik (κ): Termal iletkenlik, bir malzemenin ısıyı iletme kapasitesini belirler. Düşük termal iletkenlik, termoelektrik malzemelerin yüksek verimli olmasını sağlar çünkü ısı kayıplarını minimize eder ve sıcaklık farkı sayesinde daha fazla elektrik üretimi sağlar (Chavez, vd., 2019).

Termal Güç Faktörü (ZT): ZT, termoelektrik verimliliğin genel bir ölçüsüdür. Yüksek ZT, yüksek Seebeck katsayısı ve düşük elektriksel iletkenlik ile düşük termal iletkenliğin birleşimini ifade eder. Termoelektrik malzemelerde ZT'nin artırılması, daha verimli enerji dönüşümüne olanak tanır (Dresselhaus vd., 2017).

2.6.2 Termoelektriksel özelliklerin alüminyum alaşımlarına etkisi

Alüminyum alaşımlarındaki termoelektriksel özellikler, genellikle alaşımların mikro yapısı, bileşimi ve içerdiği elementlere bağlı olarak değişir. Ni ve Si gibi katkı maddeleri, alüminyum alaşımlarının termoelektriksel verimliliğini artırabilir. Bu elementler, Seebeck katsayısını yükselterek, alüminyum alaşımlarının enerji dönüşüm kapasitesini geliştirir (Baur ve Satyam, 2013).

2.6.3 Termoelektriksel özelliklerin uygulamaları

Termoelektriksel malzemeler, genellikle enerji geri kazanımı, soğutma sistemleri ve sıcaklık düzenleme uygulamalarında kullanılır. Alüminyum alaşımlarındaki termoelektriksel özelliklerin geliştirilmesi, özellikle yenilenebilir enerji sistemleri ve elektronik soğutma gibi uygulamalarda yüksek verimlilik sağlar (Shakouri, 2011).

2.7. Termofiziksel Özellikler

Termofiziksel özellikler, bir malzemenin ısı davranışını ve çevresel koşullara tepki verme yeteneğini ifade eder. Bu özellikler, ısı genleşme, erime noktası, ısı kapasitesi ve füzyon entalpisi gibi parametrelerden oluşur. Alüminyum alaşımlarındaki termofiziksel özellikler, özellikle döküm ve ısı işlemler sırasında önemli bir rol oynar. Malzemenin termofiziksel özellikleri, ona bağlı olan uygulamalarda dayanıklılığı ve performansı doğrudan etkiler (Kalpakjian ve Schmid, 2014).

2.7.1 Termofiziksel özelliklerin parametreleri

Isıl Genleşme: Isıl genleşme, bir malzemenin sıcaklık değişimi ile boyutlarının değişme oranını ifade eder. Alüminyum alaşımlarının düşük ısı genleşme katsayısı, özellikle yapısal bütünlüğü korumak açısından önemlidir. Bu özellik, ısı işleme süreçlerinde malzemenin stabilitesini artırır (Campbell, 2011).

Erime Noktası: Erime noktası, malzemenin katı halden sıvı hale geçiş yaptığı sıcaklık değerini belirler. Alüminyum alaşımlarındaki erime noktası, alaşımın bileşiminde bulunan elementlere ve malzemenin kimyasal yapısına bağlı olarak değişir. Bu özellik, döküm ve ergitme süreçlerinde önemli bir faktördür (Callister, 2017).

Isı Kapasitesi (C_p): Isı kapasitesi, bir malzemenin sıcaklık değişimine karşı gösterdiği tepkiyi tanımlar. Alüminyum alaşımlarındaki yüksek ısı kapasitesi, malzemenin sıcaklık dalgalanmalarına karşı direnç göstermesine yardımcı olur (Ritchie vd., 2013).

Füzyon Entalpisi (ΔH): Füzyon entalpisi, bir malzemenin sıvı hale geçişi sırasında serbest kalan ısı miktarını ifade eder. Alüminyum alaşımlarındaki füzyon entalpisi, malzemenin erime sürecini ve enerji depolama kapasitesini belirler (Hirth ve Lothe, 2018).

2.7.2 Termofiziksel özelliklerin alüminyum alaşımlarına etkisi

Alüminyum alaşımlarındaki termofiziksel özellikler, özellikle döküm işlemleri ve ısı işlemler sırasında malzemenin şekil değiştirme kapasitesini, dayanıklılığını ve verimliliğini etkiler. Yüksek ısı kapasitesine sahip alüminyum alaşımları, sıcaklık dalgalanmalarına karşı dayanıklı olur ve daha verimli enerji yönetimi sağlar (Liu vd., 2015).

Termofiziksel özelliklerin uygulamaları: Alüminyum alaşımlarının termofiziksel özellikleri, havacılık, otomotiv ve enerji sistemleri gibi sektörlerde kritik öneme sahiptir. Erime noktası ve ısı genleşme özellikleri, yapısal dayanıklılığı ve performansı artırırken, ısı kapasitesi ve füzyon entalpisi, sıcaklık yönetimi ve enerji verimliliği açısından optimize edilmelidir (Jones ve Childers, 2016).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Üçlü ötektik Al-%0.3Cr-%2.0Mn alaşımına %0.5Ni, %0.5Si ve %0.5Ni+%0.5Si katkılama yapılarak dördü Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni (ağ), Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si (ağ) alaşımları ve beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-0.5Si (ağ) alaşım sistemleri, yüksek saflıkta alüminyum, krom, manganez, silikon ve nikel elementleri kullanılarak döküm fırınında yönlü katılaştırma yoluyla üretilmiştir. Sonrasında bu dördü ve beşli alaşım sistemlerinin mikroyapı değişimlerinin, buna bağlı olarak değişim göstermesi beklenen sertlik ve çekme dayanım değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca termofiziksel/elektriksel özelliklerden katı sıvı faz geçiş sıcaklığı olan erime sıcaklığı, bir mol katıyı sıvıya dönüştürmek için gereken enerji miktarını ifade eden füzyon entalpisi ve bir cismin sıcaklığında birim değişiklik yaratmak için cisme verilmesi gereken ısı miktarı olan ısı kapasitesi değerleri hesaplanmıştır.

Aşağıda deney sistemi ve ölçüm yöntemleri aşama aşama anlatılmıştır.

3.1. Deneyel Sistem

Deney sisteminin ilk aşaması olan malzeme üretimi, numune dökümünün yapılacağı grafik kalıpların hazırlanması aşamasından başlayıp döküm işlemi sonuna kadar olan prosesi ifade eden süreç bu kısımda anlatılacaktır.

3.1.1 Numune kalıplarının hazırlanması

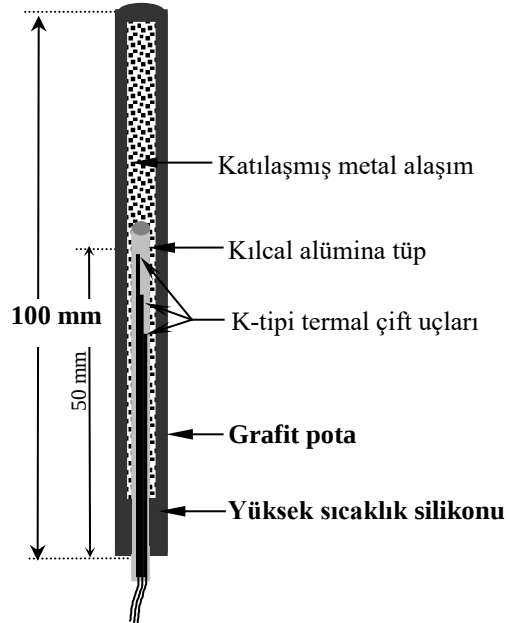
Grafit, erime ve kaynama noktasının yüksek olması, korozyona ve termal şoka karşı dirençli olmaları, tasarım ve mühendislikte hassas toleransta kolay işlenebilir özellikte olmaları ve yüksek termal iletkenliği nedeniyle metal eritme içeren uygulamalarda tercih edilen bir malzeme yapmıştır. Bu çalışmada, 1400 °C'ye kadar dayanabilen, ısı iletkenliği yüksek, korozyon direnci güçlü ve kolay şekillendirilebilen Morgan grafit kullanılmıştır. 500 mm uzunluğunda ve 6.4 mm çapında olarak alınmış grafit çubuklar, 100 mm uzunluğunda kesilmişler ve sonrasında 3.5 mm matkap ucu kullanılarak torna tezgâhında 80 mm olacak şekilde delinerek kalıplar elde edilmiştir. Aynı döküm şartlarında birden fazla döküm yapabilmek amacıyla Şekil 3.1.'de görüldüğü üzere 40 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda grafit malzeme kullanılarak kalıp tutucu tasarlanmıştır ve böylece aynı

anda birden fazla dökümün yapılması sağlanmıştır. Döküm sırasında katılaşma parametrelerini takip edebilmek amacıyla kapılardan birinin içine termal çift yerleştirilmiştir. Termal çiftlerin yerleştirilmesi için ise dış çapı 1.2 mm ve iç çapı 0.8 mm olan alümina tüpler kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Grafitten yapılmış numune kalıplar.

İçerisine alümina ve termal çiftlerin yerleştirildiği numune kalıbının şematik gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir. Alümina yerleştirilecek numune kalıplarına, kapalı olan alt tarafından 1.2 mm lik matkap ucu ile delik açılmış ve oradan alümina numune içerisine 50 mm girecek şekilde yerleştirilmiştir.

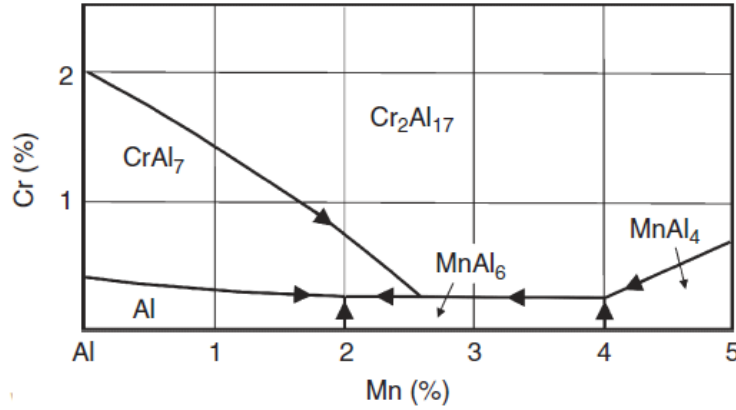


Şekil 3.2. Numune kalıbının şematik gösterimi (Kaygısız, 2014).

Hem kalıp tutucunun etrafı hem de alüminanın etrafı 1200 °C'ye dayanıklı silikonlar ile sızmayı önleyecek şekilde kapatılmıştır.

3.1.2 Alaşımın hazırlanması

Üzerine katkılama yapacağımız ötektik Al-Cr-Mn alaşımın bileşim kompozisyonunu belirlemede kullandığımız faz diyagramı Şekil 3.3' de verilmiştir. Bu faz diyagramına (Zolotarevsky, 2007; Zhang, 2007) göre ötektik noktaya ait bileşimin kompozisyonu ağırlıkça (ağ) Al-%0.3 Cr-%2.0 Mn dir. Bu çalışmada ötektik üçlü alaşım üzerine, %0.5Ni, %0.5Si ve %0.5Ni+%0.5Si katkılama yapılarak dörtlü Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni (ağ), Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si (ağ) alaşımları ve beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-0.5Si (ağ) alaşım sistemleri oluşturulmuştur.



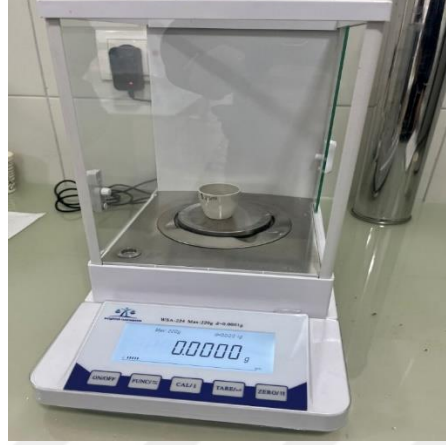
Şekil 3.3. Al-Cr-Mn ötektik faz diyagramı.

Alaşım hazırlanmada kullanılan alüminyumun saflığı %99.9, kromun saflığı %99.99, manganın saflığı %99.98, silisyumun saflığı %99.99 ve nikelin saflığı %99.8 dir. Faz diyagramına göre belirlenmiş ve hesaplanmış metaller Şekil 3.4'te verilen 0.1 mg'a duyarlı WSA-224 tipi hassas terazi ile tartılmıştır.

3.1.3 Katılaştırma işlemi

Yüksek saflıktaki Al, Cr, Mn, Ni ve Si elementleri, hassas terazi kullanılarak ölçülüp, 750 °C'de önceden ısıtılmış vakumlu bir fırında (Şekil 3.5a) 100 gr'lık bir ergiyik elde edilmiştir. Vakumlu ergitme fırını içerisine önceden yerleştirilmiş grafit potaya ilk olarak erime sıcaklığı düşük olan alüminyum eklenmiştir. Alüminyumun tamamen eridiğinden emin olunduktan sonra erime krom eklenmiş ve kromun alüminyum

içerisinde erimesi tamamlandıktan sonra mangan ilave edilmiştir. Manganın potada erimesi sonrası katkılama elementlerinden nikel ağırlıkça %0.5 oranında nikel ilave edilmiş ve homojen bir karışım oluşabilmesi için grafit çubuk kullanılarak birkaç kez eriyik karıştırılmıştır.



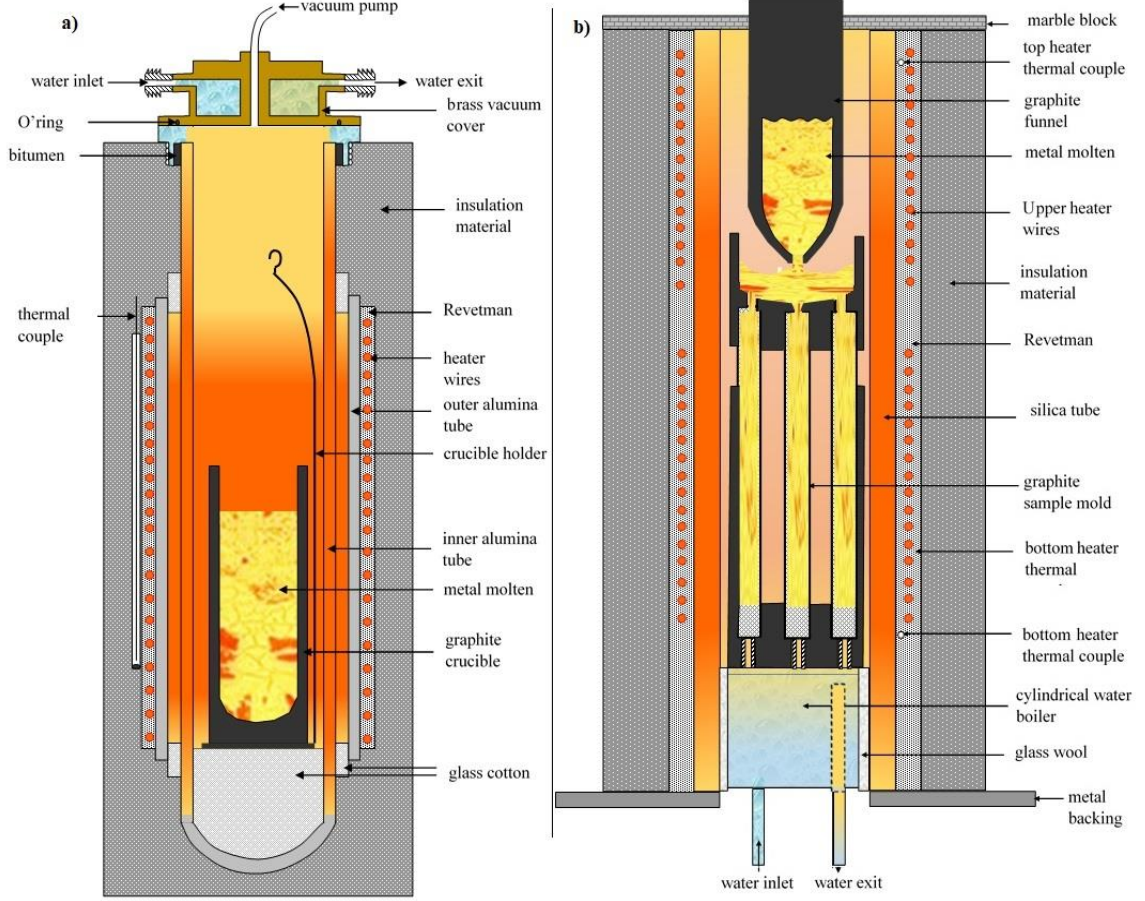
Şekil 3.4. Alaşım hazırlanmasında kullanılan terazi.

Sonrasında bu homojen karışımın kalıplara dökülme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada, 700 °C'ye ısıtılmış döküm fırınına (Şekil 3.5b) önceden yerleştirilen 80 uzunluğunda ve 3.5 mm iç çapında delinmiş grafit kalıplara dökülmüştür. Sonrasında döküm fırını kapatılarak alaşımın katılaşması sağlanmıştır. Katılaşmanın alttan üste doğru olması istendiği için, döküm fırınının altındaki soğutma ünitesinden su geçirilmiş ve yönlü katılaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yönlü katılaştırma işlemi ile katılaşma sürecinde oluşabilecek boşluklar ve safsızlıkların numunenin iç kısımlarında birikmesi önlenmiştir. Her bir alaşım sistemi için süreç tekrarlanmıştır.

3.2. Metalografik İşlemler

Üçlü ötektik Al-Cr-Mn alaşımı üzerine %0.5 oranında Ni, Si ve Ni+Si ilavesi ile oluşturulmuş dörtlü Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni (ağ), Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si (ağ) alaşımları ve beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-0.5Si (ağ) alaşım mikroyapı morfolojilerindeki değişimlerini incelenmek için, öncelikle numuneler kesilerek kapılama yapılmış ve sonrasında da zımparalama ve parlatma işlemine tabii tutulmuştur. Bu işlemler bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Zımparalama ve parlatma işlemleri sonrası mikroyapı görüntülemesi yapılmış, mikroyapıda gözlemlenen fazların bileşimlerinin belirlenmesi için EDS analizleri alınmış ve ve son

olarakta görüntü haritalaması (maaping) yapılmıştır. Bu aşamaları gerçekleştirmek için numuneler üzerinde kesme, kalıplama, zımparalama ve parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. a) Vakumlu ergitme fırını, b) döküm fırını.

3.2.1 Numunelerin kesilmesi ve kalıplanması

Dörtlü ve beşli alaşım sistemlerine ait döküm numunelerinin mikroyapı analizlerini gerçekleştirmek için, numunelerin orta kısmından 5mm ve 10 mm olacak şekilde iki parça kesilmiştir. Bu parçalardan kısa olan Şekil 3.6’da görüldüğü üzere plastik kalıp içerisine düşey yönde uzun olan parça ise yatay yönde yerleştirilmiştir. Üzerine epoksi-resin karışımı dökülerek soğuk kalıplama yöntemiyle kalıplama işlemi gerçekleştirilmiştir. 8 saatlik bekleme sürecinin ardından sertleşen kalıplar, çevresindeki plastikten ayrılarak örnekler zımparalama işlemine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3. 6. Kalıplama işleminin aşamaları.

3.2.2 Numunelerin zımparalama ve parlatılması

Kalıplama işlemi sonrasında her bir alaşım sistemi için zımparalama ve parlatma aşamalarına geçilmiştir. Bu aşamada kullanılan silisyum karbür (SiC) zımparalama kâğıtlarının resimleri Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Zımpara kâğıtlarının fotoğrafı.

Numuneler ilk olarak iri taneli 120 gridlik zımpara kâğıdıyla zımparalanmaya başlanmış sonrasında daha ince taneli zımpara kâğıtları ile zımparalama işlemine devam edilmiş ve en son olarak 4000 gridlik zımparalama işlemine tabii tutulmuşlardır. Zımparalama işlemi, numunelerin her biri 10-15 dakika süreyle uygulanmış son aşama olan 4000 gridlik zımparalama işlemi 15-20 olarak

uygulanmıştır. Zımparalama işleminden sonra, numuneler daha yüksek bir parlaklık elde etmek için elmas pastalar ve 0.5 mikronluk keçelerle 15 dakika boyunca parlatılmıştır. Bu işlem, numunelerin düzgün bir yüzey yapısına kavuşmasını sağlamış ve mikroyapı incelemeleri için uygun hale getirilmiştir.

3.3. SEM Görüntülerinin Alınması

Numune hazırlama işlemi tamamlandıktan sonra mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Bu adımda, elde edilen örneklerdeki yapısal farklılıklar,, Şekil 3.8'de gösterilen QUANTA FEG 250 tam otomatik taramalı elektron mikroskobu kullanılarak analiz edilmiştir. Bu mikroskop, 40 kV hızlandırma voltajına sahip olup, Secondary-Backscattered elektron detektörüyle donatılmış ve $\times(5-300\ 000)$ kat oranında büyütme özelliği taşımaktadır.



Şekil 3. 8.Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) fotoğrafı.

3.4. EDX Ölçümlerinin Alınması

X-ışını analizi, ışın-madde etkileşimi sonucunda oluşan özgün X-ışınları ve yansıyan ışınların hem kantitatif hem de kalitatif incelemelerinde kullanılır. QUANTA FEG 250 model tam otomatik taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile entegre edilmiş olan Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) aracılığıyla, örneklerin mikroyapısındaki fazların kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla bölgesel ve yüzey bazlı EDS incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, fazların elementel içeriği hakkında niteliksel ve niceliksel veriler sağlamaktadır.

3.5. Haritalama İşleminin Yapılması

Haritalama işlemi, SEM görüntülerinin ve EDX ölçümlerinin alındığı QUANTA FEG 250 model taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen veriler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, farklı fazların ve bu fazlar içindeki elementlerin dağılımı görsel olarak gösterilmiş ve yorumlanmıştır.

3.6. Mikrosertlik Değerlerinin Ölçülmesi

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni (ağ), Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si (ağ) ve Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-0.5Si (ağ) alaşım sistemlerine ait numelerin sertlik değerleri, Future Tech FM-700 model tam otomatik Vickers mikrosertlik cihazı gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde 100 gramlık yük 10 saniye boyunca uygulanmıştır. Her bir numunenin hem enine hem de boyuna kesitlerinden birden fazla ölçüm alınarak hata oranı düşürülmüştür.

3.7. Çekme-Dayanım Değerlerinin Ölçülmesi

Çekme-dayanım ölçümleri ASTM E4 standardına uygun Shimadzu Universal Tester cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme ölçümlerinde 60 mm uzunluğunda ve 4 mm çapında numunler kullanılarak oda sıcaklığında ve 1 mm/dakika sabit çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

3.8. Termoelektriksel Özelliklerin Belirlenmesi

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni (ağ), Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si (ağ) ve Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-0.5Si (ağ) alaşımlarının termofiziksel ve elektriksel özellikler üzerindeki etkisi, Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yöntemiyle incelenmiştir. Bu çalışmada, sıvıdan katıya geçişin kinetiğini belirlemek için, erime sıcaklığı, füzyon füzyon entalpisi ve ısı kapasitesindeki değişiklikler analiz edilmiştir.

3.8.1 Erime sıcaklığı, füzyon entalpisi (ΔH) ve ısı kapasitesinin (C_p) hesaplanması

Metallerin ve alaşımların faz değişimlerini anlamak için termal analiz yöntemleri kritik bir öneme sahiptir. Bu süreç, faz dönüşümleri ve entalpi değişimlerini (ısı alımı ya da salınımı) gözlemleyerek yapılır. Özellikle entalpi değişimlerini temel alarak faz geçişlerini belirlemek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri Diferansiyel Termal Analiz (DTA) tekniğidir. Bu yöntemde, bir test numunesi ve inert bir referans numunesi, aynı koşullar altında ısıtılıp soğutulur ve iki numune arasındaki sıcaklık farkı kaydedilir (Boettinger, 2007). Daha sonra bu fark, sıcaklık veya zaman fonksiyonu olarak çizilir. Eğer numune ısı salınımı yapıyorsa, bir faz değişikliği sırasında, test numunesinin sıcaklığı referans numunesine göre geçici olarak yükselir ve ekzotermik bir zirveye yol açar. Aksine, ısı emilimi ile gerçekleşen bir geçiş, test numunesinin sıcaklığını referans numunesinden daha düşük yapar ve endotermik bir zirve oluşturur (Boettinger, 2007)

Reaksiyon ısısı veya faz geçişi olarak bilinen Füzyon entalpisi, (ΔH), DTA-Sıcaklık eğrisinden elde edilen pikin alanına ve analiz edilen numunenin kütlesine dayanarak hesaplanabilir (Wendlandt, 1986). Hesaplama aşağıdaki gibi yapılır:

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

Burada, m analiz edilen metal numunenin kütlesini, ΔH reaksiyon ısısını, K kalibrasyon sabitini ve A pikin alanını ifade etmektedir. DTA analizinde numune tutucusunun fiziksel yapısı ile termal iletkenlik özellikleri, kalibrasyon sabitinin değerini etkileyebilir. Kalibrasyon sabiti, genellikle bilinen faz geçiş sıcaklıklarına sahip maddelerin kalibre edilmesiyle bulunur. (Wendlandt, 1986). Numunenin

geometrisine bağı olarak K sabiti Şekil 3.9'da görülen %99.99 saflıkta alüminyumun 10°C/dak ısıtma hızında elde edilen DTA eğrisinden elde edilmiştir (Kaygısız, 2014).

Numuneye verilen birim zamandaki sıcaklık ve ölçüm için kullanılan numune kütlesi, DTA-Sıcaklık eğrisindeki pik sıcaklığını sıcaklığını etkileyebilirken, füzyon entalpisi (ΔH) ve faz geçiş başlangıç sıcaklığı olan T_{onset} bu faktörlerden etkilenmez.

Denklem 3.1 den,

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

elde edilir.

Yüksek saflıktaki alüminyum için füzyon entalpi (ΔH) değeri 397 (Gaskell, 1973; Mills, 2002) olarak literatürde verilmiştir. Nununenin geometrik farklılıklarına bağı olan K katsayısı 10.900 olarak hesaplanmıştır. K kalibrasyon katsayısının birimi J/mV °C'dir.

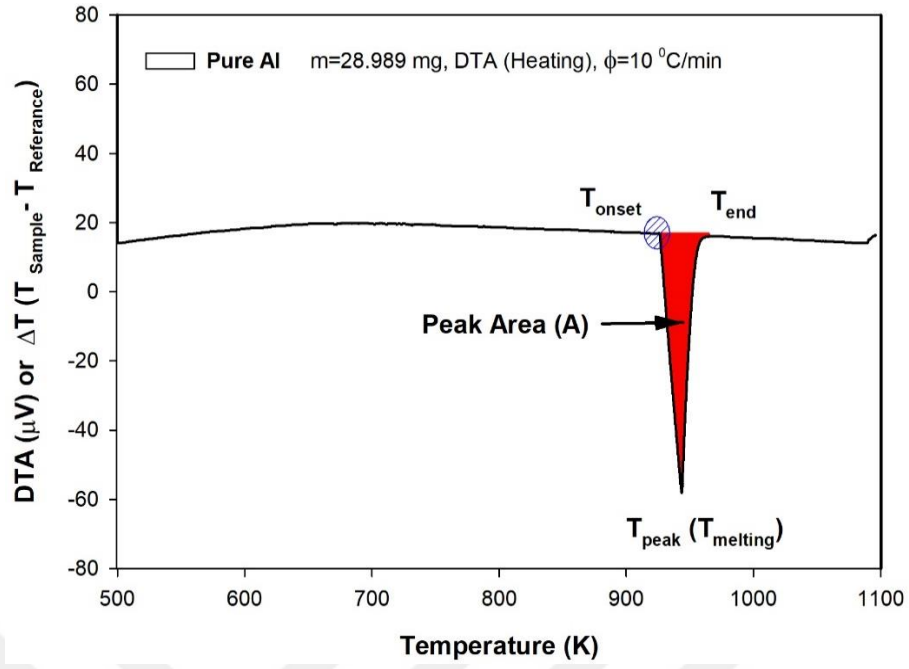
Benzer şekilde, bir cismin sıcaklığında birim değişiklik yaratmak için ona verilmesi gereken ısı miktarı olarak tanımlanan ve katı ile sıvı fazlar arasındaki özgül ısı farkı olarak bilinen ısı kapasitesi değeri (C_{pl}) aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

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

Burada; ΔH reaksiyon ısısını, T_m erime sıcaklığını temsil etmektedir. ΔH ile ifade edilen reaksiyon ısısı DTA-Sıcaklık eğrisinde gözlemlenen pikin alanı hesaplanıp denklem 3.2'de formülde yerine yerleştirilerek elde edilmiştir. Denklem 3.2'deki ΔH ifadesi denklem 3.3'te yerine yazılırsa,

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

ifadesi elde edilir.



Şekil 3.9. Saf alüminyum için elde edilmiş DTA-Sıcaklık eğrisi.

Alüminyum bazlı dörtlü ve beşli alaşım numunelerinin termofiziksel özellikleri, 30–800°C sıcaklık aralıklarında, 10°C/dak olacak şekilde sabit ısıtma hızında ve atmosferik basınç altında yüksek sıcaklıklara çıkabilen Exstar TG/DTA 7300 Tipi cihazda Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yöntemiyle belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu tez çalışmasında, alüminyum esaslı dörtlü Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni (ağ) ve Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si (ağ) alaşım sistemleri ile beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si (ağ) alaşım sistemi araştırılmıştır. Dörtlü ve beşli alaşımlar oluşturulurken ergitme ve yönlü katılaştırma fırınları kullanılmıştır. Öncelikle, yönlü katılaştırılan bu alaşım sistemlerinin mikroyapı morfolojileri incelenmiş ve fazlar analiz edilmiştir. Sonrasında alaşım sistemlerindeki faz değişimlerinin malzemenin mekanik ve termofiziksel/elektriksel özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda, dörtlü ve beşli alaşım sistemlerinden elde edilen numuneler üzerinde sertlik ve çekme dayanımı testleri gerçekleştirilmiş; ayrıca sıvı-katı faz geçişinin kinetiğini belirlemede kritik öneme sahip olan erime sıcaklığı, füzyon entalpisi ve ısı kapasitesi gibi termofiziksel ve elektriksel özellikler ölçülerek hesaplanmıştır.

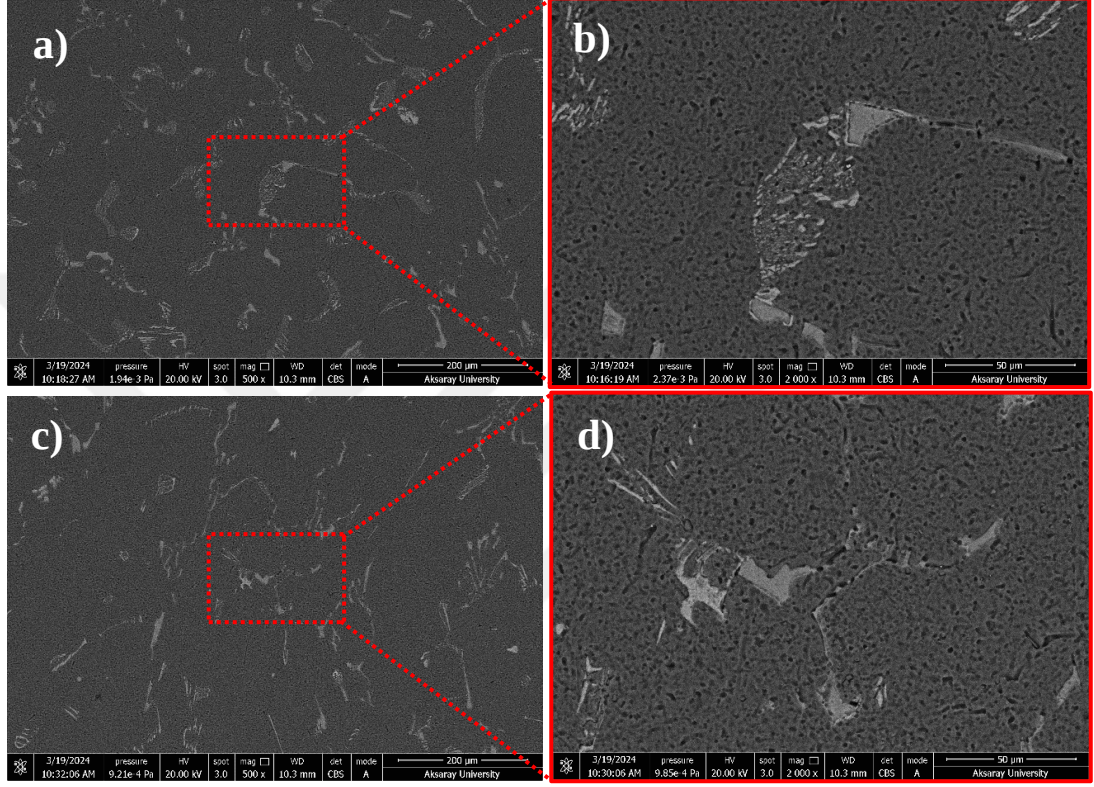
4.1. Gözlenen Mikroyapılar

Alüminyum esaslı Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) ve Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) ve Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si(ağ) alaşım sistemleri oluşturulurken yüksek saflıkta alüminyum (%99.9), krom (%99.99), mangan (%99.98), nikel (%99.9) ve silisyum (%99.99) elementleri kullanılmıştır.

4.1.1 Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni alaşım sistemi

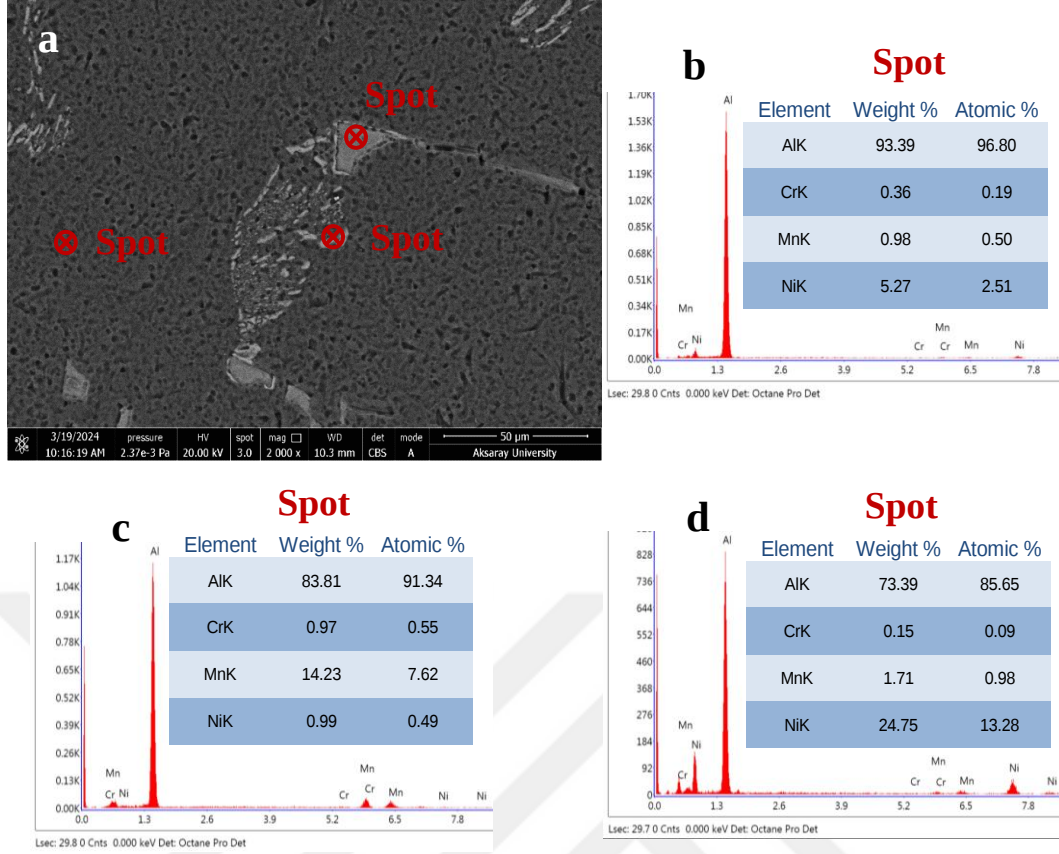
Alüminyum esaslı Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşımına ait mikroyapı görüntüleri, Şekil 4.1’de SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) ile elde edilmiştir. Görüntüler incelendiğinde, koyu renkli Al matris fazı içinde gri ve açık gri tonlarında fazların varlığı dikkat çekmektedir. Bu fazların kimyasal bileşimlerini belirlemek amacıyla, EDS (Enerji Dağılımı X-Işını Spektroskopisi) analizi ve element haritalama teknikleri kullanılarak detaylı bir inceleme yapılmıştır. Bu yöntemler, mikroyapıdaki fazların bileşenleri hakkında daha derinlemesine bilgi edinmeyi sağlamıştır. Şekil 4.2. de verilen EDS analizlerine bakıldığında, Spot 1 olarak verilen noktadan alınan ölçümlerde matris fazın Al fazı, Spot 2 olarak verilen noktadaki gri fazın Al₆Mn fazı ve Spot 3 olarak verilen açık gri ince fazın Al₃Ni fazı olduğu belirlenmiştir. Al matris faz içerisinde Cr’nin çözünürlüğü (%0,6 ağ) yok denecek kadar azdır. Buna karşın matris faz içerisindeki Ni çözünürlüğü yaklaşık olarak %5,27 (ağ) dir. Matris faz

içerisinde Mn'nin çözünürlüğü ise %0,98 (ağ) dir. Spot 2 ile verilen gri Al₆Mn fazında Mn oran % 14,23 (ağ) dır. Bu faz içerisinde Ni ve Cr çözünürlüğü düşüktür. Al₆Mn fazı içerisinde Cr ve Ni çözünürlüğü sırasıyla %0,97 ve %0,99 (ağ) dur. Spot 3 ile verilen açık gri ince yapıdaki Al₃Ni fazı içerisinde Mn çözünürlüğü %1,71 (ağ) dir. Bu faz içerisinde Cr çözünürlüğü yok denecek kadar azdır.



Şekil 4.1. Al-Cr-Mn-%0.5Ni alaşımına ait döküm fazına ait SEM görüntüleri; a) Enine kesit, b) (a)'nın yüksek büyütmede alınmış görüntüsü, c) Boyuna kesit, d) (c)'nin yüksek büyütmede alınmış görüntüsü.

Alüminyum esaslı Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşım sistemindeki fazların teşhisi için ayrıca SEM görüntüleri üzerinden elementel haritalama işlemi yapılmış ve görüntüler Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3'e bakıldığında, Cr'nin yapının tamamında homojen olarak çözündüğünü söyleyebiliriz. Mn'nin Al₆Mn faz bölgesinde yoğunlaştığını ve aynı zamanda yapı içerisindeki diğer fazlarda da az miktarda homojen çözündüğünü söyleyebiliriz. Bununla birlikte Al₆Mn ve Al₃Ni faz bölgelerini görebiliriz.



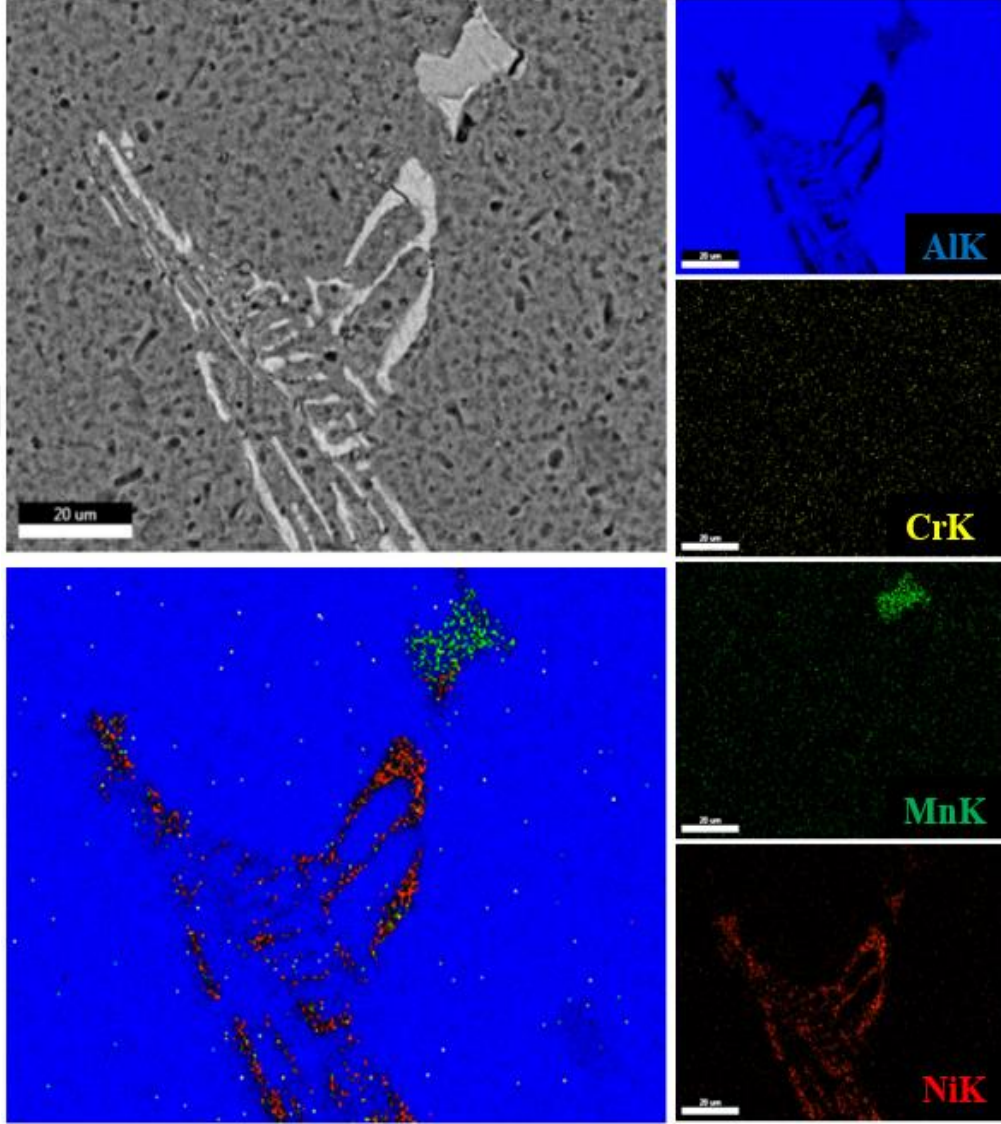
Şekil 4.2. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşıımının SEM görüntüsü ve EDS sonuçları, (a) enine kesit, (b) matris fazın EDS sonucu (Spot 1), (c) gri fazın EDS sonucu (Spot 2), (d) açık gri fazın EDS sonucu (Spot 3).

4.1.2 Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si alaşıım sistemi

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşıım sistemlerine ait mikroyapı görüntüleri, Şekil 4.4'te SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) ile elde edilmiştir. Görüntülerde, koyu renkli Al matris fazı içinde gri faz ile çubuksu açık gri fazların dengeli bir şekilde dağıldığı gözlemlenmektedir.

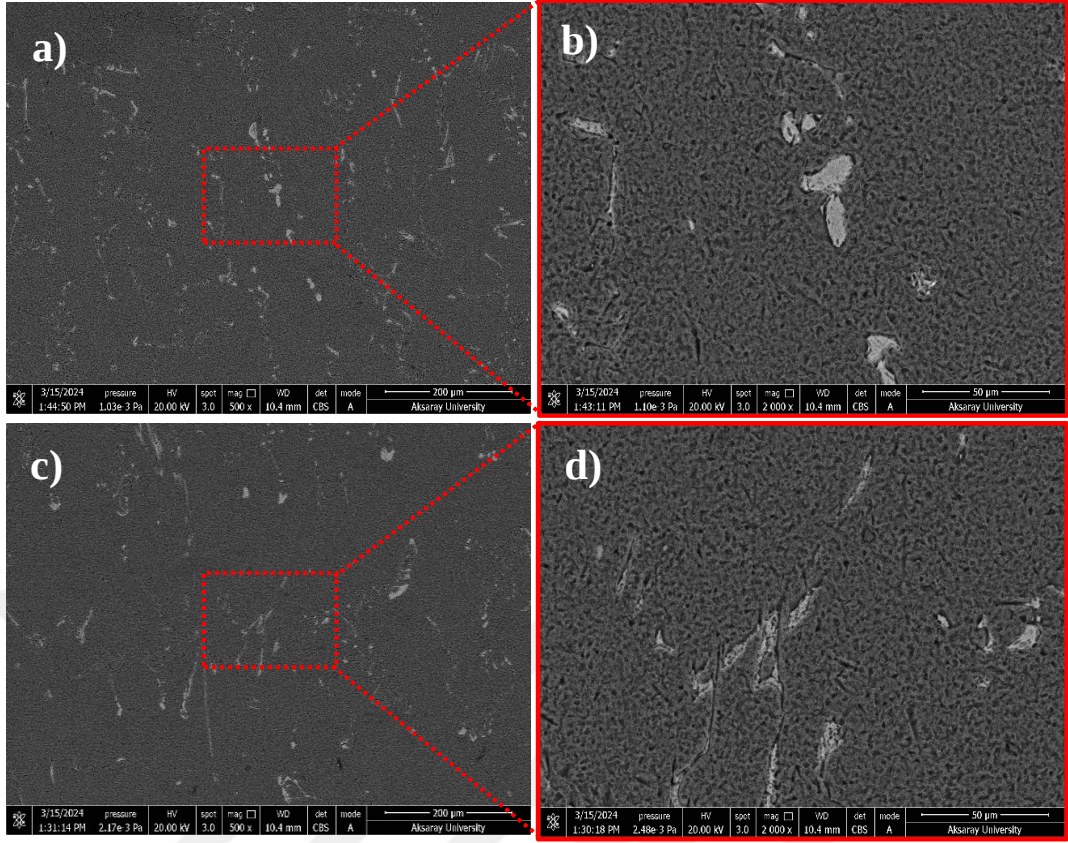
Bu fazların kimyasal bileşimlerini daha ayrıntılı bir şekilde belirlemek amacıyla, EDS (Enerji Dağılımı X-Işını Spektroskopisi) nokta ve alan analizleri yapılmış ve SEM görüntüleri üzerinden element haritalama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5. de verilen EDS analizlerine bakıldığında, Spot 1 olarak verilen noktadan alınan ölçümlerde matris fazın Al fazı, Spot 2 olarak verilen noktadaki gri fazın Al₁₂Mn fazı ve Spot 3 olarak verilen açık gri çubuksu fazın α -Al(CrMn)Si fazı olduğu

belirlenmiştir. Al matris faz içerisinde Cr, Mn ve Si'nin çözünürlükleri sırasıyla %0.40, %0.32 ve %1.21 (ağ) dir. Spot 2 ile verilen gri Al₁₂Mn fazında Mn oran % 7,34 (ağ) dür.



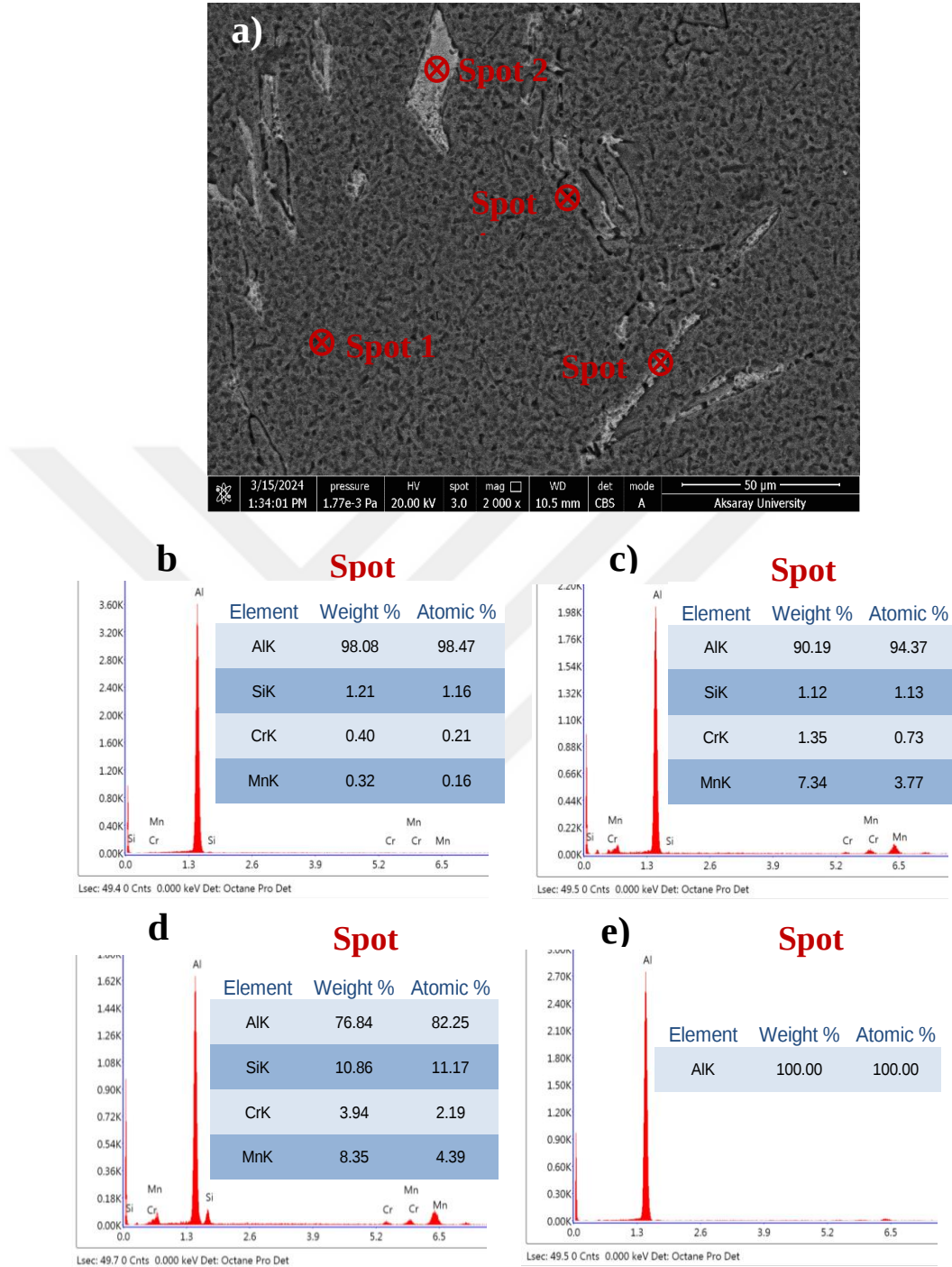
Şekil 4.3.Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşımının haritalama görüntüsü.

Bu faz içerisinde Cr ve Si'nin çözünürlüğü sırasıyla %1.35 ve %1.21 (ağ) dir. Spot 3 ile verilen açık gri çubuksu yapıdaki α -Al(CrMn)Si fazı içerisinde yüksek Si ve Mn çözünürlüğü vardır. Bu faz içerisinde Si, Mn ve Cr çözünürlüğü, sırasıyla %10.86, %8.35 ve %3.94 (ağ) dür. Şekil 4.5'te ayrıca siyah kısımlardan da EDS analizi alınmış ve bu kısımlarda Al oranı %100(ağ) olarak ölçülmüştür.

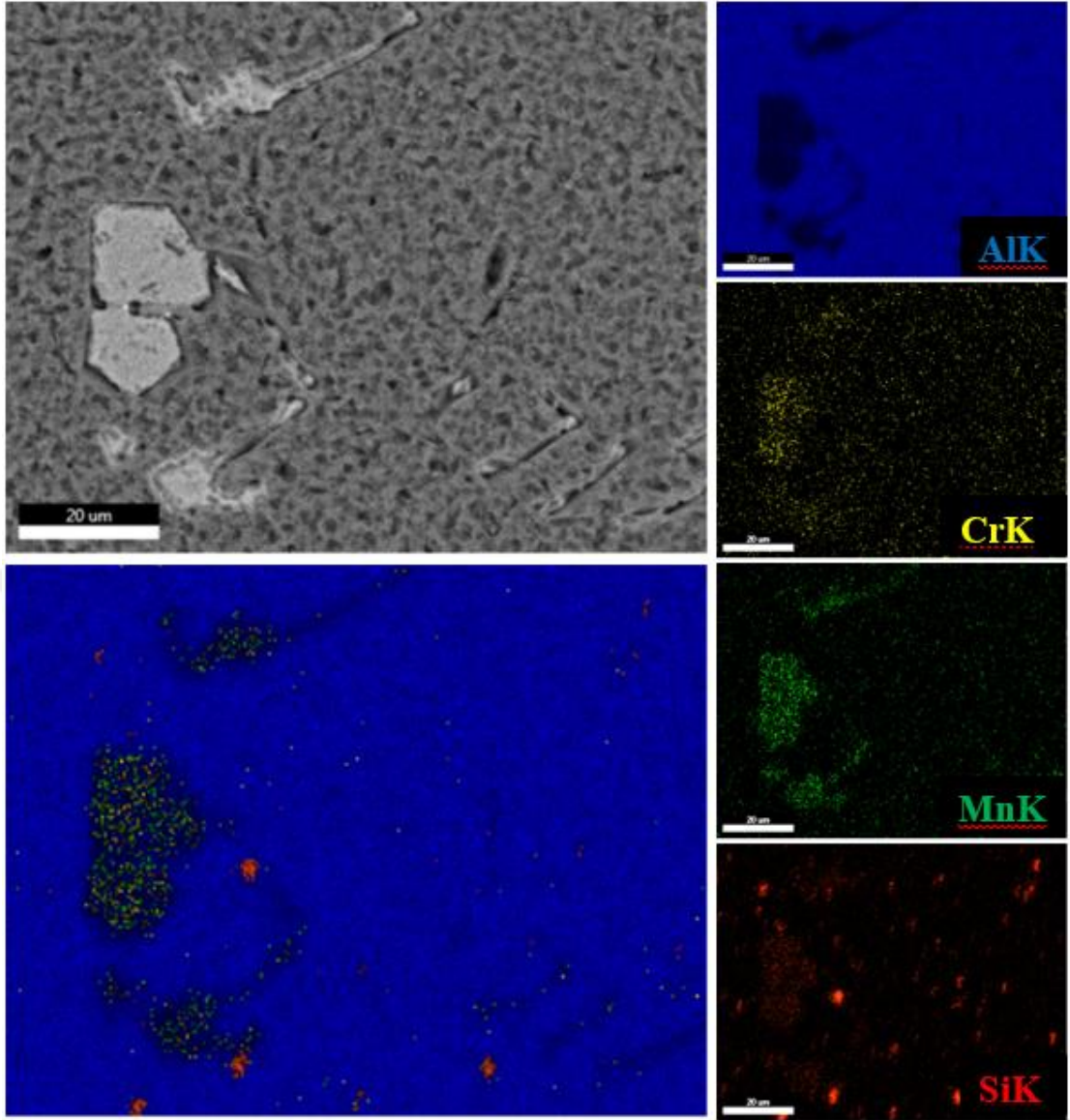


Şekil 4.4. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si alaşımına ait döküm fazına ait SEM görüntüleri; a) Enine kesit, b) (a)'nın yüksek büyütmede alınmış görüntüsü, c) Boyuna kesit, d) (c)'nin yüksek büyütmede alınmış görüntüsü.

Alüminyum esaslı Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşım sistemindeki fazların teşhisi için ayrıca SEM görüntüleri üzerinden elementel haritalama işlemi yapılmış ve görüntüler Şekil 4.6'te verilmiştir. Şekil 4.6'e bakıldığında, kırmızı olarak haritalandırılmış birincil Si parçacıkları yapı içerisinde geliş güzel dağılım gösterdiğini söyleyebiliriz. Bununla birlikte üçlü intermetalik α -Al(CrMn)Si fazı içerisinde öncelikle Mn olmak üzere Cr ve Si yoğunluklarını görebiliriz. Benzer şekilde Al matris fazı içerisinde Cr ve Mn nin homojen çözündüğünü söyleyebiliriz.



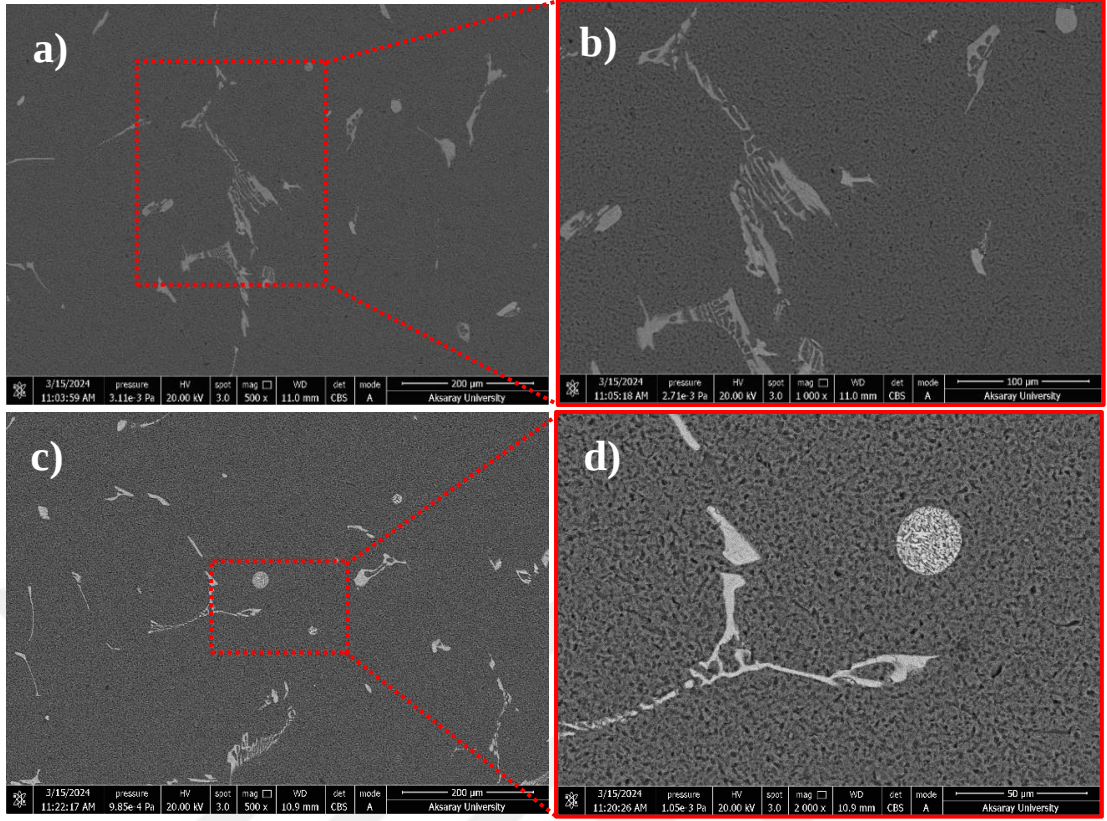
Şekil 4.5. Al-0.3Cr-2.0Mn-0.5Si alaışımının SEM görüntüsü ve EDS sonuçları, (a) enine kesit, (b) matris fazın EDS sonucu (Spot 1). (c) gri fazın EDS sonucu (Spot 2), (d) çubuk benzeri gri fazın EDS sonucu (Spot 3), (e) siyah fazın EDS sonucu (Spot 4).



Şekil 4. 6. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si alaşıımının haritalama görüntüsü.

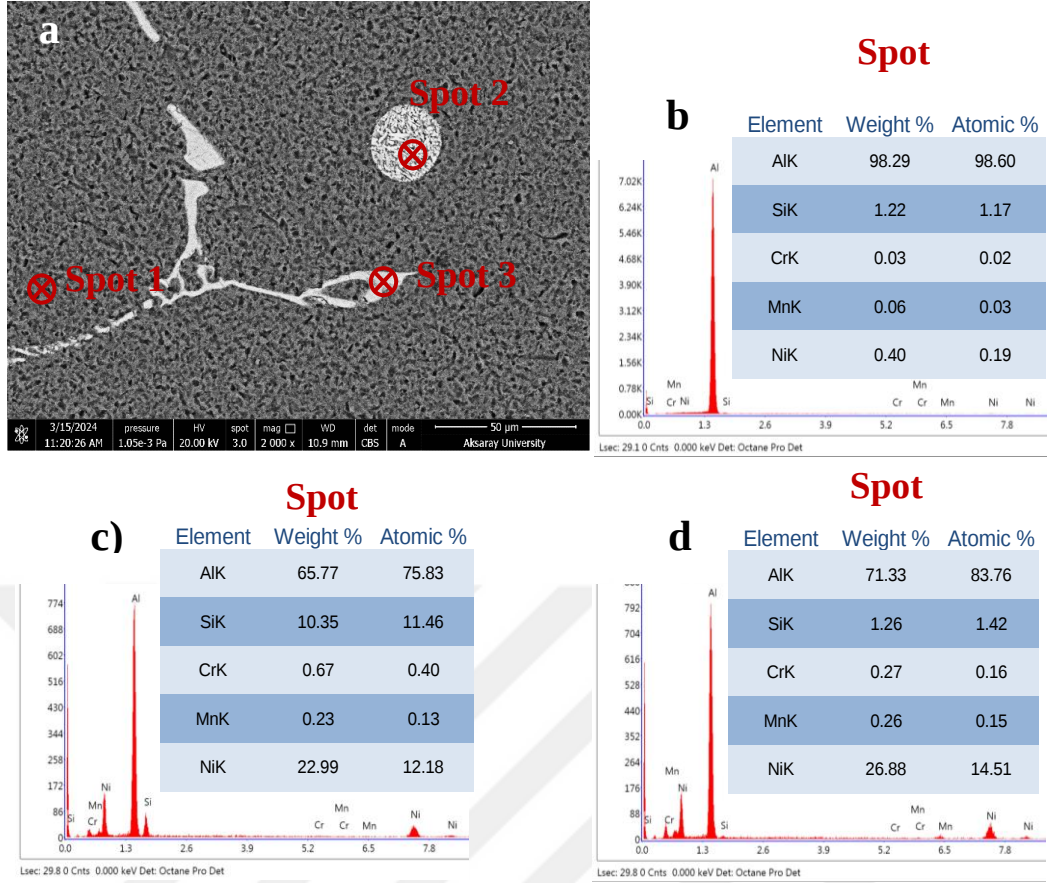
4.1.3 Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşıım sistemi

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si(ağ) alaşıım sistemlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş mikroyapı görüntüleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde, koyu renkli Al matris fazı içinde beyaz renkte bir faz ile dairesel yapıda açık gri fazların dengeli bir şekilde bulunduğu gözlemlenmektedir.



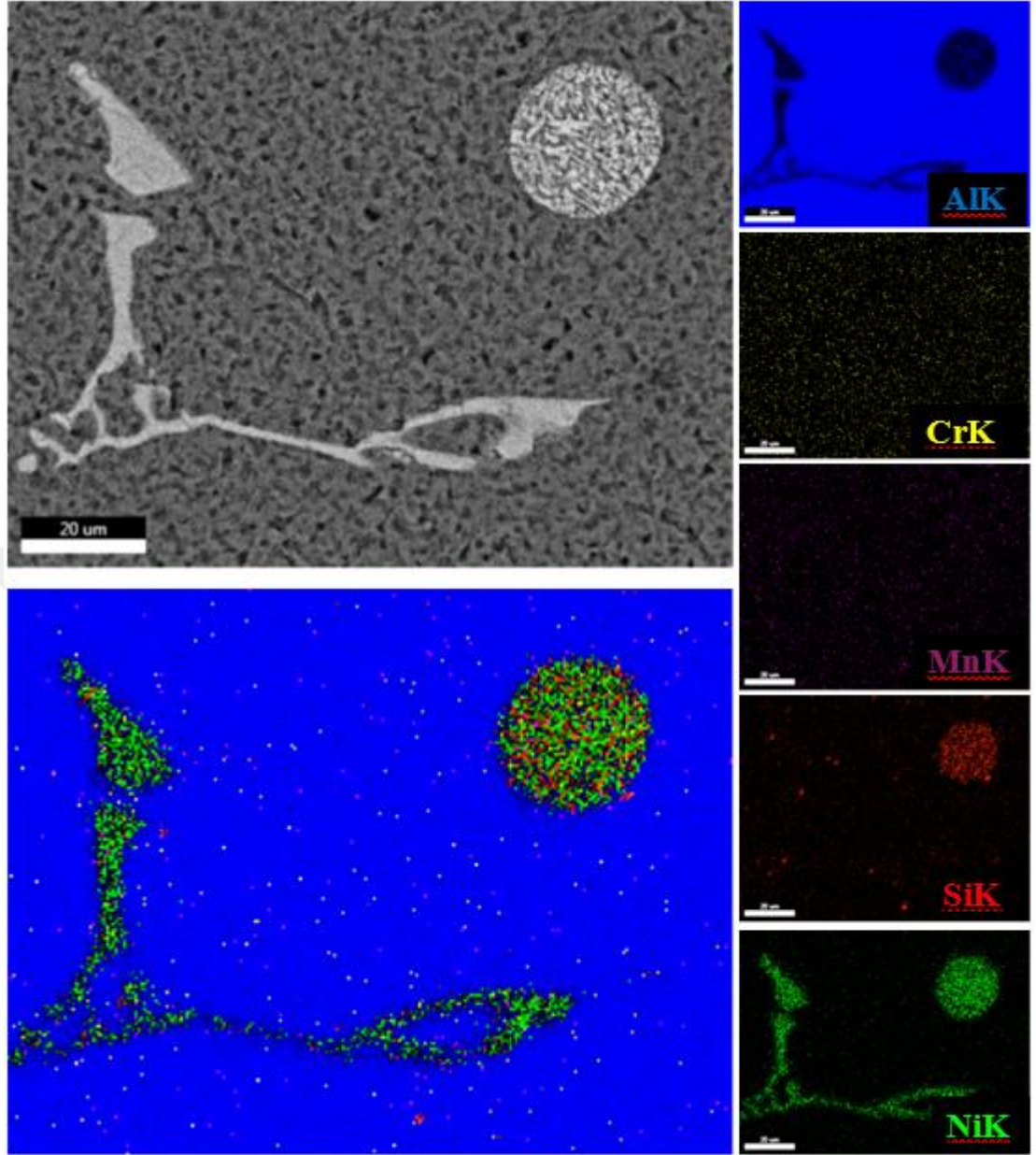
Şekil 4.7. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşımına ait döküm fazına ait SEM görüntüleri; a) Enine kesit, b) (a)'nın yüksek büyütmede alınmış görüntüsü, c) Boyuna kesit, d) (c)'nin yüksek büyütmede alınmış görüntüsü.

Bu fazların kimyasal bileşimlerini tespit etmek amacıyla, nokta ve alan EDS (Enerji Dağılımı X-Işını Spektroskopisi) analizi gerçekleştirilmiş ve SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) görüntüleri kullanılarak element haritalama işlemleri yapılmıştır. Şekil 4.8. de verilen EDS analizlerine bakıldığında, Spot 1 olarak verilen noktadan alınan ölçümlerde matris fazın Al fazı, Spot 2 olarak verilen noktadaki açık gri dairesel fazın Si açısından zengin bir faz olduğu ve Spot 3 olarak verilen beyaz ince fazın ise Al_3Ni fazı olduğu belirlenmiştir. Al matris faz içerisinde Cr ve Mn'nin çözünmediğini, Ni'nin ise çözünürlüğü yok denecek kadar az olduğunu söyleyebiliriz. Al matris fazı içerisinde çözünürlüğü en yüksek olan Si % 1.22 (ağ) oranında çözünmüştür. Mikroyapı içerisinde Si'nin yoğunlaştığı faz, Spot 2 ile verilen dairesel fazdır. Bu faz içerisinde Si'nin çözünme oranı %10.35 (ağ) dir. Aynı şekilde bu faz içerisinde %22.99 (ağ) oranında yüksek miktarda Ni çözünürlüğü mevcuttur. Spot 3'te verilen Al_3Ni fazı içerisinde düşük oranda Cr, Mn ve Si çözünürlüğü mevcuttur.



Şekil 4.8. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşımlarının SEM görüntüleri ve EDS sonuçları, (a) Boyuna kesit, (b) Matris fazının EDS sonucu (Spot 1). (c) Beyaz dairesel fazın EDS sonucu (Spot 2), (d) Beyaz fazın EDS sonucu (Spot 3).

Alüminyum esaslı Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si (ağ) alaşım sistemindeki fazların tespiti için ayrıca SEM görüntüleri üzerinden elementel haritalama işlemi yapılmış ve görüntüler Şekil 4.9’te verilmiştir. Şekil 4.9’e bakıldığında, Si parçacıklarının açık gri dairesel faz bölgesinde toplandığını söyleyebiliriz. Ni’nin Al_3Ni fazı ve Si açısından zengin fazların oluşumundan sorumlu olduğunu söyleyebiliriz. Bununla birlikte Cr ve Mn’nin Al fazı içerisinde homojen ve düşük oranlarda çözündüğünü görebiliriz.

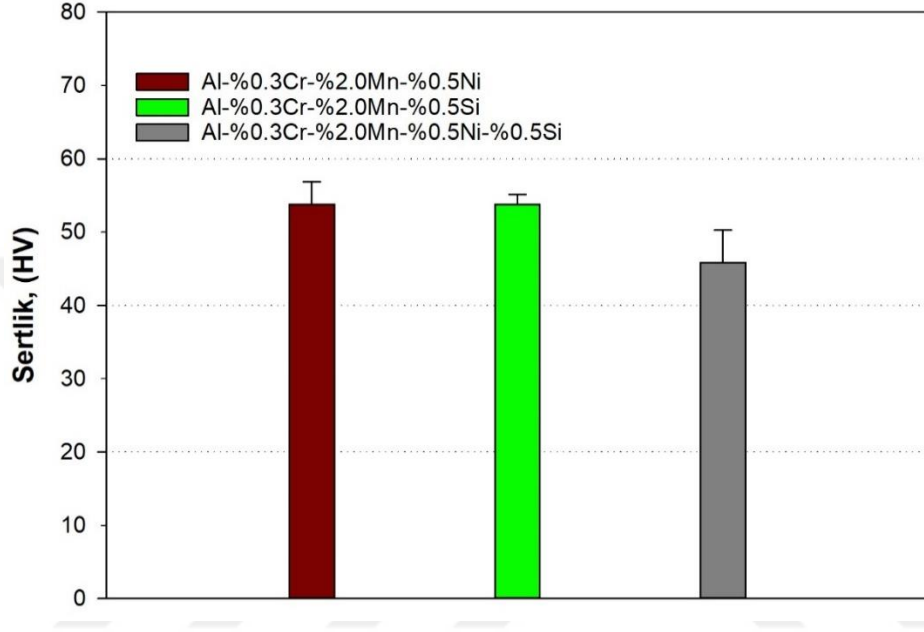


Şekil 4.9. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşımasının haritalama görüntüsü.

4.2. Alaşım Sistemlerinin Sertlik Değerleri

Al-%0.3Cr-%2.0Mn ötektik alaşım sistemi ile Ni ve Si ilaveli dördü ve beşli alaşım sistemlerinden elde edilen numunelerin çoklu ölçümleri sonucunda hesaplanan ortalama Vickers sertlik değerleri Şekil 4.10'da sunulmuştur. Şekil 4.10 incelendiğinde, ötektik Al-%0.3Cr-%2.0Mn alaşımasının sertlik değeri 46.56 ± 0.6 HV olarak tespit edilmiştir. Ni ilaveli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni alaşımasının sertlik değeri 53.8 ± 3.0 HV, Si ilaveli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si alaşımasının sertlik değeri ve 53.76 ± 1.3 HV olarak ölçülmüştür. Ni ve Si ilavesinin birlikte yapıldığı beşli Al-

%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşımının sertlik değeri 45.8 ± 4.4 HV olarak ölçölmüştür. şekil 4.10'a göre Ni ve Si ilavesinde alaşımın sertlik değeri ötektik alaşıma göre bir miktar arttığı, Ni ve Si ilavesinin birlikte yapıldığı alaşımda sertlik değeri tekrardan düşüş göstermiştir. Bunun sebebi, Ni ve Si ilavelerinde mikroyapıdaki fazların değişmesinden kaynaklanmaktadır.

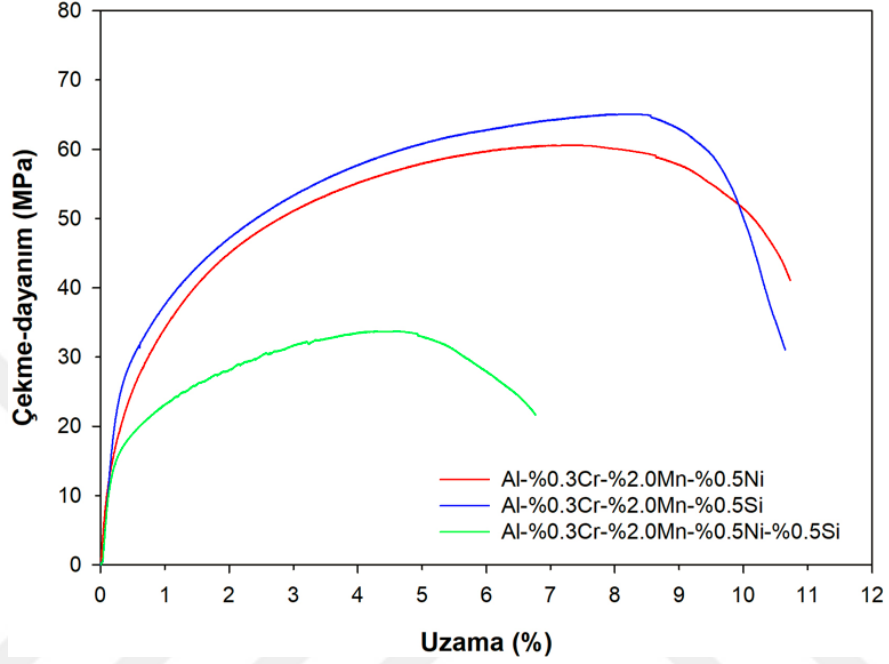


şekil 4. 10. Ötektik Al-%0.3Cr-%2.0Mn (ağ) alaşımına Ni ve Si ilavesi sonrası sertlik değerleri

4.3. Alaşım Sistemlerinin Çekme Dayanımı Değerleri

Al-%0.3Cr-%2.0Mn ötektik alaşım sistemi ile Ni ve Si ilaveli dörtlü ve beşli alaşım sistemlerine ait numunelerin çekme dayanımı ile yüzde uzama değerlerini gösteren grafikler şekil 4.11'de sunulmuştur. şekil 4.11.'e bakıldığında Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni alaşım numunesinin maksimum çekme-dayanımı 60.60 MPa olarak ölçölmüştür. Si ilaveli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si alaşım numunesinin maksimum çekme dayanım 64.30 MPa olarak ölçölmüştür. Ni ve Si ilavesinin birlikte yapıldığı beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaşımına ait maksimum çekme dayanım değeri 33.73 MPa olarak ölçölmüştür. Bu sonuçlara bakıldığında Ni ve Si ilavesi alaşımların çekme dayanım değerini arttırmıştır. Buna karşın Ni ve Si'nin birlikte ilave edildiği beşli alaşımın çekme dayanım değeri üçlü ötektik alaşımın sertlik değerinden daha düşüktür. Maksimum çekme dayanım değeri Si ilaveli alaşımda ölçölmüştür.

Benzer şekilde Şekil 4.11.'den Ni ve Si ilavesinin malzemenin sünekliği üzerine etkisini de görebiliriz. Ni ve Si ilavesinde alaşımların sünekliğinin önemli ölçüde arttığını söyleyebiliriz. Buna karşın beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si alaışımının sünekliği diğer alaşımlara kıyasla düşüş olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca, dört alaşım sistemi içinde, sünek malzemeler olduğunu söyleyebiliriz.



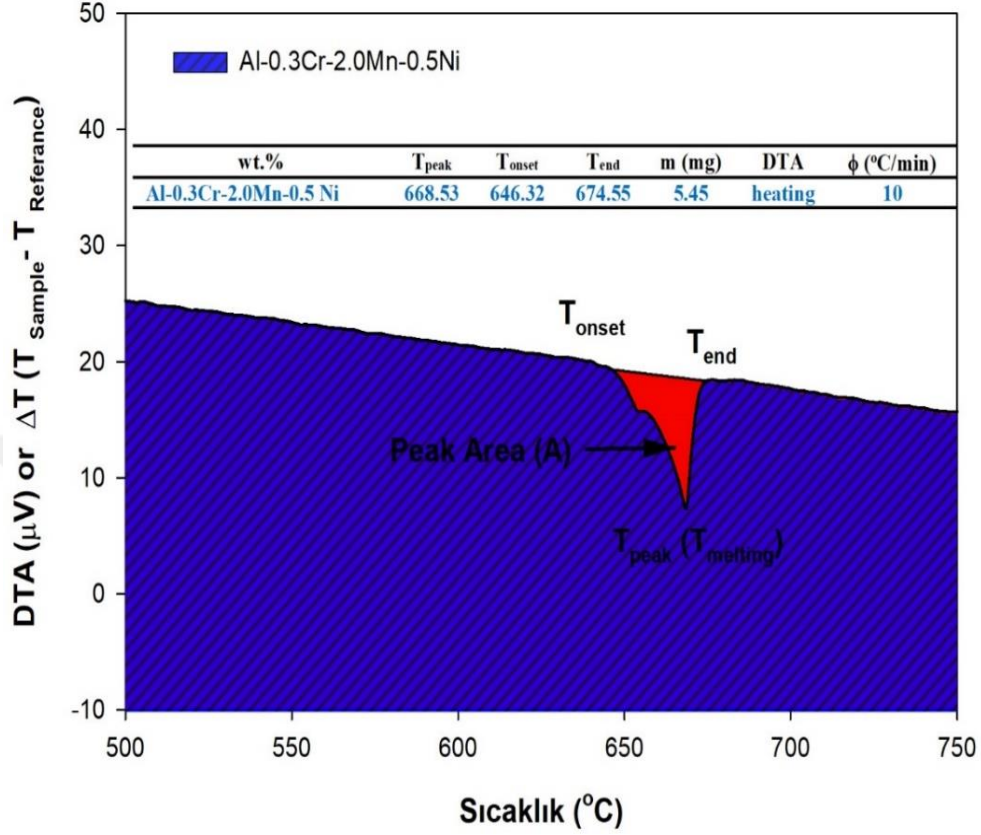
Şekil 4. 11. Ötektik Al-%0.3Cr-%2.0Mn (ağ) alaışımına Ni ve Si ilavesi sonrası Çekme dayanım-uzama eğrileri.

4.4. Erime Sıcaklığı (T_m) (K), Füzyon Entalpisi (ΔH) (J/g) ve Isı Kapasitesi (C_{pl}) (J/gK) Tayini.

Bu bölümde, dörtlü Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ), Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) ve beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si(ağ) alaşım sistemleri için ölçülmüş erime sıcaklıkları (T_m) (K), 30 °C'den 800 °C'ye kadar 10 °C/dak ısıtma hızında elde edilmiş DTA-Sıcaklık eğrisinden faydalanılarak hesaplanmış füzyon entalpisi (ΔH) (J/g) ve ısı kapasitesi (C_{pl}) (J/gK) değerleri verilmiştir.

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşım numunelerine ait DTA eğrileri Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.12'deki DTA-Sıcaklık eğrisindeki pikin uç noktası erime geçiş sıcaklığını (T_m) göstermektedir. Pikin ilk başlangıç noktası T_{onset} ile ifade ettiğimiz erimenin başladığı sıcaklığı ve pikin bitiş noktası olarak ifade ettiğimiz T_{end} ise erimenin tamamlandığı sıcaklığı göstermektedir. Şekil 4.12'de verilen DTA-Sıcaklık

grafiğinde, Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşım sistemine ait numune için erime sıcaklığını ifade eden pik değeri (T_m) 668.53 °C'dir.

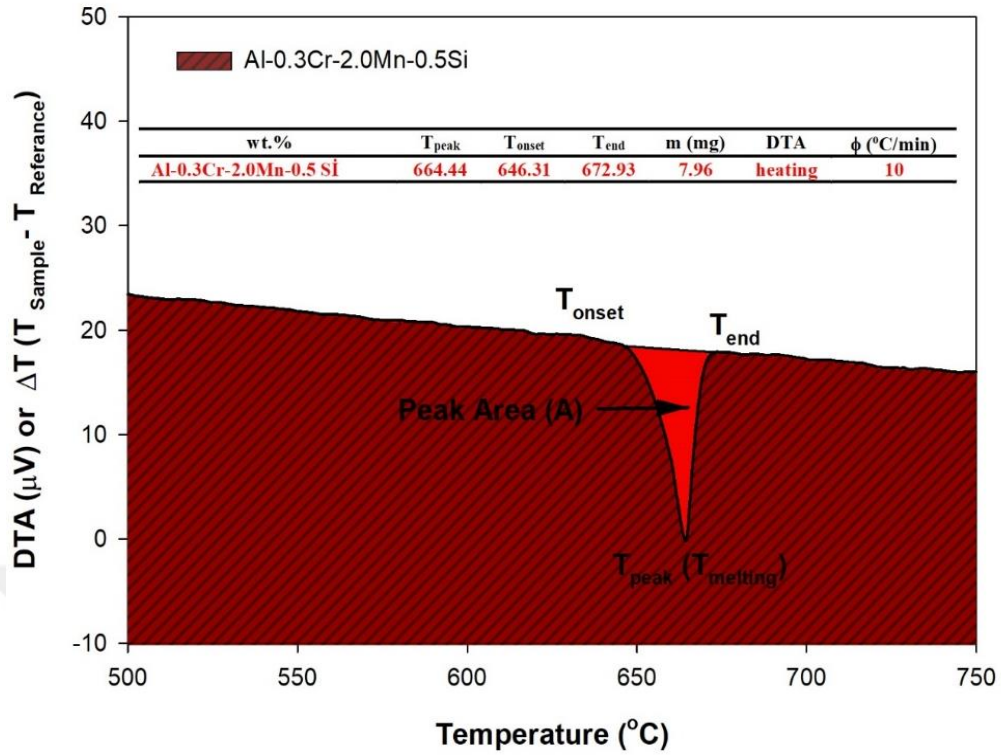


Şekil 4.12. Al-%0.3Cr-%2.0Mn- %0.5Ni(ağ) alaşımına ait DTA-Sıcaklık eğrisi.

Benzer şekilde, Şekil 4.12'den katı-sıvı faz geçiş başlangıç noktasını gösteren ve T_{onset} olarak ifade ettiğimiz erime başlangıç sıcaklığı 646.32 °C ve katı-sıvı faz geçişinin tamamlandığı noktayı ifade eden T_{end} ise 674.55 °C olarak belirlenmiştir.

Önemli termofiziksel özelliklerden biri olan ve sabit basınç altında, maddenin durumunu katıdan sıvıya değiştirmek için ısı verilmesiyle oluşan entalpi değişimini ifade eden füzyon entalpisi (ΔH), Şekil 4.12'de verilen DTA-Sıcaklık eğrisinde gözlemlenen pikin alanı ölçülerek hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablo 4.1'de verilen sonuçlara göre Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşım için ΔH değerleri 238.95 (J/g)'dır.

Katı-sıvı faz geçiş noktasını ifade eden T_m sıcaklığındaki ısı kapasitesi olan C_{pl} değeri 0,253 J/g.K. olarak hesaplanmıştır.

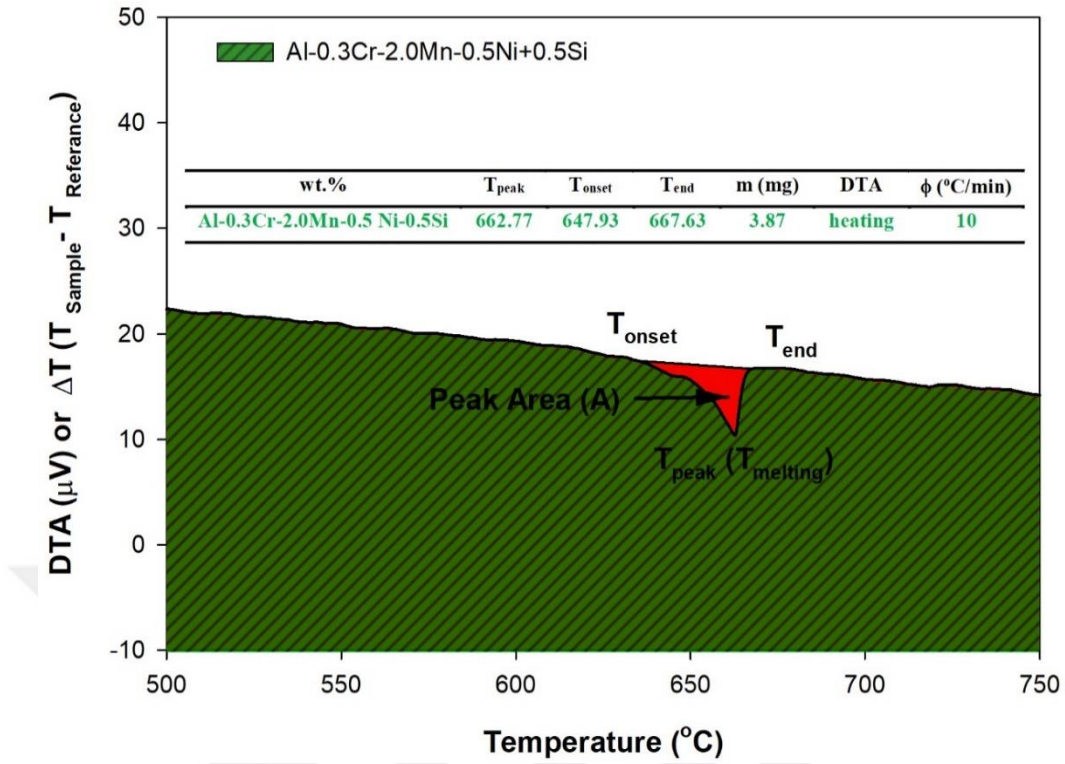


Şekil 4.13. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşımına ait DTA-Sıcaklık eğrisi.

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşım numunesine ait DTA-Sıcaklık eğrisi Şekil 4.13'de verilmiştir. Şekil 4.13'den, Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşım sistemine ait numune için erime pik sıcaklık (T_m) 664.44 °C, katı-sıvı faz geçiş başlangıç sıcaklığı (T_{onset}) 646.31 °C ve katı-sıvı faz geçişinin tamamlandığı bitiş sıcaklığı (T_{end}) 672.93 °C olduğu gözükmemektedir.

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşımı için füzyon entalpisi (ΔH) veya reaksiyon ısısı, Tablo 4.1'de verildiği üzere 232.13 (J/g) olarak hesaplanmıştır. Aynı alaşım için katı-sıvı geçiş noktasındaki (erime noktası (T_m)) özgül ısı kapasitesi, C_{pl} 0,247J/g.K. olarak hesaplanmıştır.

Hem Ni hem de Si ilave edilmiş beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si(ağ) alaşım numunelerine ait DTA eğrileri Şekil 4.14'de verilmiştir. Şekil 4.14'de görüldüğü gibi, bu alaşım numunesi için erime sıcaklığı (pik sıcaklık) (T_m) 662.77 °C, erime başlangıç sıcaklığı (T_{onset}) 647.93 °C ve erime bitiş sıcaklığı (T_{end}) 667.63 °C olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si(ağ) alaşımına ait DTA-Sıcaklık eğrisi.

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşımı için füzyon entalpisi (ΔH) veya reaksiyon ısısı, Tablo 4.1'de verildiği üzere 232.13 (J/g) olarak hesaplanmıştır. Aynı alaşım için katı-sıvı geçiş noktasındaki (*erime noktası* (T_m)) özgül ısı kapasitesi, C_{pl} 0,247 J/g.K. olarak hesaplanmıştır.

Benzer şekilde, Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si(ağ) alaşımı için Tablo 4.1'den, füzyon entalpisi (ΔH) 183.04 (J/g) ve katı-sıvı geçiş noktasındaki (*erime noktası* (T_m)) özgül ısı kapasitesi, C_{pl} 0,195 J/g.K. olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4. 1. Ni ve Si ilaveli dördü ve beşli alaşım sistemlerinin erime sıcaklığı, Füzyon entalpi ve özgül ısı kapasite değerleri.

Alaşım (%ağ.)	Füzyon Entalpisi (ΔH) (J/g)	Isı Kapasitesi (C_{pl}) (J/gK)	Erime Sıcaklığı (T_m) (K)
Al-0.3 Cr-2.0 Mn+0.5Ni	238,95	0,253	941,63
Al-0.3 Cr-2.0 Mn+0.5Si	232,13	0,247	937,54
Al-0.3Cr-2.0Mn+0.5Si+0.5Ni	183,04	0,195	935,87

Erime pik sıcaklıkları dikkate alındığında, Si ilavesi ve Ni+Si ilavesinde erime sıcaklıklarının bir miktar düştüğünü söyleyebiliriz. Ni + Si ilaveli alaşımlar için erime

pik sıcaklığı ile birlikte füzyon entalpisi (ΔH) ve özgül ısı kapasitesi (C_p) değerlerinde düştüğünü söyleyebiliriz.



5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Alüminyum ve alaşımları demirden sonra dünyada en çok kullanım alanına sahip malzemedir. Buna karşın saf alüminyumun mekanik dayanımı oldukça düşüktür. Alüminyum ve alaşımlarının mekanik özelliklerinin değiştirilmesi veya geliştirilmesi için uygulanan yöntemlerden birisi de katkılama elementlerinin alüminyum alaşımlarına ilave edilmesidir. Bu kapsamda Alüminyum, krom ve mangan elementleri ile oluşturulmuş üçlü ötektik alaşıma farklı oranlarda nikel ve silisyum ilave edilerek yeni dörtlü ve beşli alaşımlar oluşturulmuştur. Bu alaşımların mekanik ve termofiziksel özellikleri bu çalışma kapsamında araştırılmış ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Nikel ilave edilerek oluşturulmuş Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşım sisteminde, Al matris fazı içerisinde gri renkte görünen Al₆Mn fazı ve açık gri renkteki Al₃Ni fazların dengede olduğu gözükmemektedir.

Silisyum ilave edildiğinde mikroyapıdaki fazlar değişim göstermiş ve matris Al fazı ile gri Al₁₂Mn fazı ve açık gri çubuksu α -Al(CrMn)Si fazı dengelenmiştir.

Nikel ve silisyumun birlikte ilave edildiği durumda da beklendiği gibi mikroyapı değişimi gözlenmiştir. EDS analizlerine bakıldığında, matris fazın Al fazı, açık gri dairesel fazın Si açısından zengin bir faz olduğu ve beyaz ince fazın ise Al₃Ni fazı olduğu belirlenmiştir.

Bu mikroyapıdaki faz değişimlerinin etkisini gözlemlemek için alınmış sertlik ve çekme dayanımı sonuçlarına bakıldığında,

Ni ve Si ilavesinde alaşımın sertlik değeri ötektik alaşıma göre bir miktar arttığı, Ni ve Si ilavesinin birlikte yapıldığı alaşımda sertlik değeri tekrardan düşüş göstermiştir. Bunun sebebi, Ni ve Si ilavelerinde mikroyapıdaki fazların değişmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür.

Sertlik sonucuna paralel olarak, Ni ve Si ilavesi alaşımların çekme dayanım değerini arttırmıştır. Buna karşın Ni ve Si'nin birlikte ilave edildiği beşli alaşımın çekme

dayanım değeri üçlü ötektik alaşımların sertlik değerinden daha düşüktür. Maksimum çekme dayanım değeri Si ilaveli alaşımda ölçülmüştür.

Benzer şekilde, Ni ve Si ilavesinin malzemenin sünekliği üzerine etkisi vardır. Ni ve Si ilavesinde alaşımların sünekliğinin önemli ölçüde arttığını söyleyebiliriz.

Ni ve Si ilavesi ile oluşturulmuş dörtlü ve beşli alaşımların termofiziksel özellikleri benzer şekilde araştırılmıştır. Bu hesaplamalar ve ölçümler sonucunda,

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşım numune için erime sıcaklığı (pik sıcaklık) (T_m) 668.53 °C olarak bulunmuştur. Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşım numune için erime sıcaklığı (pik sıcaklık) (T_m) 664.44 °C olarak ve beşli Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si(ağ) alaşım numunesi için erime sıcaklığı ifade eden pik sıcaklık değeri (T_m) 662.77 °C bulunmuştur.

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni(ağ) alaşım için füzyon entalpisi (ΔH) değerleri 238.95 (J/g), katı-sıvı faz geçiş noktasındaki özgül ısı kapasitesini ifade eden C_{pl} değeri, 0,253 J/g.K. olarak hesaplanmıştır.

Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Si(ağ) alaşımı için füzyon entalpi (ΔH) değeri, 232.13 (J/g), özgül ısı kapasitesi, C_{pl} 0,247 J/g.K. olarak hesaplanmıştır.

Benzer şekilde, Al-%0.3Cr-%2.0Mn-%0.5Ni-%0.5Si(ağ) alaşımı için, füzyon entalpisi (ΔH) 183.04 (J/g) ve katı-sıvı geçiş noktasındaki (*erime noktası* (T_m)) özgül ısı kapasitesi, C_{pl} 0,195 J/g.K. olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, Ni ve Si ilavesinde alaşımların mikroyapı, mekanik ve termofiziksel özellikleri üzerinde belirgin değişimler elde edilmiştir.

Bu çalışma, mikroyapı değişimleri için uygun ısıl işlem prosesleri geliştirilerek, mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenebilir. Böylece yeni ve ihtiyaca uygun malzeme üretimi için uygun prosesler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Askeland, D.R., 1990. The Science and Engineering of Materials. London.
- Bauernfeind, H., Pottlacher, G. and Shehata, M., 2018. Thermoelectric Materials and Devices . Wiley, 298.
- Bain, E. C. and Paxton, H., 1968. The Metallography of Steel and Cast Irons(s.). McGraw-Hill, 45-50
- Brown, A., 2019. Advanced aluminum alloys and their properties, Journal of Material Science, 45-63.
- Callister, W. D., 2017. Materials Science and Engineering: An Introduction. Wiley, 102-115,172.
- Bhat, N. V. and Bhat, V. K., 2012. Mechanical Properties of Metals. Elsevier, 89-95.
- Campbell, J., 2011. Casting: The Complete Handbook. Butterworth-Heinemann, 255.
- Campbell, J., 2015. Castings: A Complete Handbook on How to Make the Castings. Butterworth-Heinemann, 55-93.
- Chang, W. and Lee, T., 2018. Effects of alloying elements in eutectic alloys. International Journal of Materials.
- Chavez, J., Liu, Q. and Feng, Z., 2019. Thermoelectrics and Energy Conversion: Principles and Applications. Springer, 214.
- Colling, D.A., 1995. Industrial Materials: Metals and alloys. Ohio.
- Davis, M., 2016. Eutectic Alloys: Theory and Application. Metallurgical Transactions.
- Gaskell, D., 1973. Introduction to Metallurgical Thermodynamics. McGraw-Hill.
- Gurvitch, M. and Moore, G., 1985. Semiconductor Thermoelectrics. Springer, 541.
- Hall, E., 1951. The deformation and ageing of mild steel. III discussion of results, Proc. Phys. Soc. Lond. Sect. B 64, 747-753.
- Hirth, J. P. and Lothe, J., 2018. Theory of Dislocations. Wiley, 205.
- Jiang, W., Li, X. and Zhang, Y., 2020. Advances in Thermoelectric Materials and Their Applications. Elsevier, 211.
- Jones, M. and Childers, C., 2016. Metallurgical Engineering Handbook. McGraw-Hill, 227.

- Kalpajian, S. and Schmid, S. R., 2014. Manufacturing Engineering and Technology. Pearson, 365.
- 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.
- Kirkpatrick, R. J. and Maringer, W., 2009. Principles of Metal Casting. McGraw-Hill, 87-90.
- Koehler, S. P. and Moore, M., 1990. Electronics and Materials. Springer, 115.
- Kurz, W. and Fisher, D. J., 1998. Fundamentals of Solidification. Trans Tech Publications, 12-32.
- Liu, Z., Wang, L. and Zhang, F., 2015. Materials Science and Engineering: Concepts and Applications. Wiley, 110.
- Mills, K., 2002. Recommended Values of Thermophysical Properties for Selected Commercial Alloys, National Physical Laboratory and ASM International, Woodhead Publishing Limited. England.
- Monmotgomery, D. C., 2018. Thermoelectric properties of heat-treated aluminum Alloys. Journal of Applied Physics, 468-481.
- Petch, N., 1953. The cleavage strength of polycrystals. J. Iron Steel. Inst. 174, 25-31.
- Ritchie, R. O., Buehler, M. J. and Gao, H., 2013. Mechanics of Materials: An Introduction. Springer, 98.
- Shakouri, A., 2011. Thermoelectric Materials and Devices. Wiley, 145.
- Smith, R., 2020. Aluminum alloys: An overview of their properties and applications. Journal of Material Science, 112-120.
- Thompson, J., 2017. Casting methods and their impact on alloy performance. Materials Science and Engineering, 112-130.
- Verhoeven, J. D., 2007. Refractory Materials. Springer, 121-134.
- Wesley William Wendlandt and L. W., 1986. Thermal Analysis - Chemical Analysis, 3rd Edition.
- William J. Boettinger and U. R.-W., 2007. DTA and Heat-flux DSC Measurements of Alloy Melting and Freezing. Elsevier Bilim Ltd.
- Zhang, L. and D. Y., 2007. Thermodynamic description of the Al-Fe-Ni system over the whole composition and temperature ranges: modeling coupled with key

experiment. Elsevier. Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry, 31, 529–540.

Zhou, X., Fu, J. and Chen, Y., 2015. Thermoelectric Power Generation. Elsevier

Zolotarevsky, V.S., Belov, N.A and Glazov, M.V., 2007. Casting aluminum alloys. pp:41,42, pp:77. Elsevier Ltd.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Ferhat HÜYÜKLÜ

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Selçuk Üniversitesi, Matematik Bölümü, 2003-2007

Yüksek Lisans : Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü / Matematik

Öğretmenliği (TEZSİZ), 2007-2008

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü /

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, 2022-2024

MESLEKİ DENEYİM

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

Matematik Öğretmenliği, Aksaray, 2010-2011

ÖDÜLLER

Aksaray Üniversitesi Rektörlüğü Teşekkür Belgesi, 2023

Türkiye İş Kurumu Genel Müdürlüğü Takdir Belgesi, 2020

ULUSLARARSI KONGREDE SUNDUĞU BİLDİRİ

HÜYÜKLÜ F., KAYGISIZ Y., YILDIZ C.B., 2024. Al-Cr-Mn ötektik alaşımı üzerine Ni ve Si ilavesinin mikroyapı, mekanik ve termoelektriksel özellikler üzerine etkisi, 6. Uluslararası Karadeniz Modern Bilimsel Araştırmalar Kongresi, Trabzon, Bildiriler Kitabı, Özet Kitabı, 312.