



**ÖTEKTİK ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMININ
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
TİTANYUM-BOR İLAVESİNİN ETKİSİ**

ALMİLA BAHADIR

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR**

**ÖTEKTİK ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMININ MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TİTANYUM-BOR
İLAVESİNİN ETKİSİ**

Almila BAHADIR

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR**

**KARABÜK
Ocak 2021**

Almila BAHADIR tarafından hazırlanan “ÖTEKTİK ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TİTANYUM-BOR İLAVESİNİN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 20/01/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Münir TAŞDEMİR (MÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Ali GÜNGÖR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alper İNCESU (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Almila BAHADIR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖTEKTİK ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TİTANYUM-BOR İLAVESİNİN ETKİSİ

Almila BAHADIR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Ocak 2021, 85 sayfa

Bu çalışmada uçak ve otomotiv sanayide yoğun olarak kullanılan Al-Si alaşımlarının mekanik özelliklerini ve aşınma direncini geliştirmek için ötektik Al-Si alaşımına üç farklı oranda Al-5Ti-1B master alaşımı tane inceltici olarak ilave edilmiştir. Alaşımlar döküm yöntemiyle üretildikten sonra homojenleştirme ısıl işlemine tabii tutulmuştur. Homojenleştirme ısıl işleminden sonra alaşımların kimyasal bileşimi optik emisyon spektrometresi ile belirlenmiştir. Ayrıca homojenleştirilmiş alaşımlara sıcak haddeleme işlemi uygulanmıştır. Homojenleştirilmiş ve sıcak haddelenmiş alaşımların mikroyapısı, mekanik özellikleri (oda sıcaklığında yapılan çekme testleriyle), sertlikleri ve aşınma dirençleri iki farklı yük altında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Tane inceltici oranına göre alaşımların mekanik özellikleri karşılaştırıldığında, genel olarak artan tane inceltici oranı ile çekme dayanımlarının, sertlik değerlerini ve aşınma dirençlerinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Alüminyum-silisyum, titanyum-bor, tane inceltme, mekanik özellikler, Al-5Ti-1B

Bilim Kodu : 91504

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF TITANIUM-BORON ADDITION ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM- SILICON ALLOY

Almila BAHADIR

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

January 2021, 85 pages

Al-5Ti-1B master alloy was added to the eutectic Al-Si alloy at three different ratios as a grain refiner to improve the mechanical properties and wear resistance of Al-Si alloys, which are used extensively in these aircraft and automotive industries. After producing the alloys by casting method, homogenization heat treatment was applied to the alloys. The chemical composition of the alloy after homogenization heat treatment was determined with optical emission spectrometry. In addition, hot rolling process was applied to the homogenized alloys. The microstructure, mechanical properties (room temperature tensile tests), hardness and wear resistance of the homogenized and hot rolled alloys were examined comparatively under two different loads.

When the mechanical properties of the alloys were compared according to the grain refiner ratio, it was seen that the tensile strength, hardness values and wear resistance increased with the increasing grain refiner ratio.

Key Word : Aluminum-silicon, titanium-boron, grain refining, mechanical properties, Al-5Ti-1B

Science Code : 91504

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Ali GÜNGÖR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerimin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Alper İNCESU'ya teşekkür ederim.

Sevgili annem Hafize, babam Yunus, kız kardeşim Aslı BAHADIR'a maddi ve manevi yardımlarını esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Tezimin tamamlanması için FYL-2019-2128 numaralı projeye destekte bulunan BAP komisyonuna Karabük Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	3
2.1. ALÜMİNYUM.....	3
2.1.1. Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	3
2.2. ALÜMİNYUM'UN ELDESİ	5
2.2.1. Alüminyum Eldesinde Kullanılan Kaynaklar.....	6
2.2.1.1. Boksit.....	6
2.2.1.2. Kriyolit.....	8
2.2.1.3. Nefelin.....	9
2.2.1.4. İkincil hammadde (Hurda):.....	10
2.3. ALÜMİNYUMUN KULLANIM ALANLARI	13
2.4. DÖKÜM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI	13
2.4.1. Alüminyum 1xxx Serisi.....	14
2.4.2. Alüminyum 2xxx Serisi.....	14
2.4.3. Alüminyum 3xxx Serisi.....	15
2.4.4. Alüminyum 4xxx Serisi.....	15

	<u>Sayfa</u>
2.4.5. Alüminyum 5xxx Serisi.....	15
2.4.6. Alüminyum 6xxx Serisi.....	16
2.4.7. Alüminyum 7xxx Serisi.....	16
2.4.8. Alüminyum 8xxx Serisi.....	16
2.5. ALÜMİNYUM DÖKÜM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ.....	16
2.6. Al-Si DÖKÜM ALAŞIMLARI.....	17
2.6.1. Al-Si İkili Alaşımı	18
2.6.1.1. Al-Si Denge Diyagramı	18
2.7. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ	20
2.7.1. Silisyum	20
2.7.2. Bakır	21
2.7.3. Magnezyum	21
2.7.4. Demir	21
2.7.5. Mangan	22
2.7.6. Nikel	22
2.7.7. Çinko	22
2.7.8. Kurşun.....	22
2.7.9. Titanyum.....	22
2.7.10. Fosfor.....	22
2.7.11. Stronsiyum.....	23
2.7.12. Sodyum.....	23
2.7.13. Lityum.....	23
2.8. ALÜMİNYUMA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER	24
2.8.1. Alüminyum Alaşımaları İçin Isıl İşlem (Temper/Kondisyon) Göstergeleri	24
2.8.2. Alüminyum Alaşımalarının Tavlanması	26
2.8.3. Gerilme Giderme Tavlama	27
2.8.4. Homojenleştirme.....	27
2.8.4. Yaşlandırma Isıl İşlemi.....	28
2.8.4.1. Çözeltiyeye Alma İşlemi	28
2.8.4.2. Su Verme İşlemi	29
2.8.4.3. Suni Yaşlandırma.....	29

	<u>Sayfa</u>
2.9. TANE İNCELTME	30
2.9.1. Tane İnceltici Olarak Titanyum Kullanımı.....	31
2.9.2. Tane İnceltici Olarak Bor Kullanımı	33
2.9.3. Tane İnceltici Olarak Titanyum ve Bor Kullanımı.....	34
2.10. TANE İNCELTME İŞLEMİNİN AVANTAJLARI.....	35
BÖLÜM 3	37
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
3.1. ALAŞIMLARIN ÜRETİMİ.....	37
3.2. OPTİK EMİSYON SPEKTROMETRE İLE KİMYASAL ANALİZ	39
3.3. XRD ANALİZLERİ.....	40
3.4. MİKROYAPI ANALİZLERİ.....	41
3.5. HOMOJENLEŞTİRME ISIL İŞLEMİ.....	41
3.6. HADDELEME	42
3.7. NUMUNE HAZIRLAMA	44
3.8. SERTLİK DENEYİ.....	46
3.9. ÇEKME TESTİ DENEYİ	47
3.10. AŞINMA TESTİ	47
BÖLÜM 4	49
DENEYSEL SONUÇLAR	49
4.1. OPTİK EMİSYON SPEKTROMETRE İLE KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI	49
4.2. XRD ANALİZLERİ SONUÇLARI.....	49
4.3. MİKROYAPI ANALİZLERİ SONUÇLARI.....	50
4.4. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI.....	65
4.5. ÇEKME TESTİ DENEYİ SONUÇLARI	67
4.6. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI	71
BÖLÜM 5	79
SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	81

	<u>Sayfa</u>
ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Alüminyum değer halkası	6
Şekil 2.2. Boksit	6
Şekil 2.3. Boksit renkleri.....	7
Şekil 2.4. Dünya boksit rezervleri.....	8
Şekil 2.5. Dünya boksit üretimi	8
Şekil 2.6. Kriyolit.....	9
Şekil 2.7. Nefelin.....	10
Şekil 2.8. Alüminyumda Geri Dönüşümün Artan Önemi.....	10
Şekil 2.9. Dünya birincil alüminyum üretimi.....	12
Şekil 2.10. Al-Si faz diyagramı.....	19
Şekil 2.11. a) Ötektik altı alaşımın mikro yapısı (<%12,6 Si), b) Ötektik alaşımın mikro yapısı (%12,6 Si), c) Ötektik üstü alaşımın mikro yapısı (>%12,6 Si)	19
Şekil 2.12. Yaşlandırma ısı işleme sıcaklık-zaman diyagramı	28
Şekil 2.13. 3004 alaşımlı dökümde tane yapısı (üstte tane inceltici eklenmemiş, altta 5Ti-B olarak 10 ppm seviyesinde B eklenmiş).....	30
Şekil 2.14. Al-Ti faz diyagramı	32
Şekil 2.15. TiAl ₃ bileşiği üzerinde peritektik reaksiyon ile Al çekirdeklenmesi	33
Şekil 2.16. TiAl ₃ bileşiği üzerinde peritektik reaksiyon ile Al çekirdeklenmesi	33
Şekil 2.17. A356 alaşımında 3 farklı tane incelticinin tane boyutuna etkisi	34
Şekil 2.18. A356 döküm alaşımının mikro yapısı.....	35
Şekil 2.19. A356 alaşımında soğuma hızı-ortalama porozite boyutu grafiği.....	36
Şekil 3.1. Yer çekimine karşı döküm	38
Şekil 3.2. Kokil kalıp	38
Şekil 3.3. Al-Si ₁₂ alaşımının farklı oranlarda Al-5Ti-1B ilavesi ile hazırlanmış numuneler.....	39
Şekil 3.4. GNR marka S3 MiniLAB 300 Optik emisyon spektrometresi.....	39
Şekil 3.5. Optik emisyon spektrometresiyle analiz edilen numuneler	40
Şekil 3.6. Rigaku Ultima IV Difraktometre	40
Şekil 3.7. CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM SEM Cihazı	41

Sayfa

Şekil 3.8. Isıl işlem fırını.....	42
Şekil 3.9. Sıcak hadde için ısıtılan numuneler.....	43
Şekil 3.10. Şekermak haddeleme cihazı.....	44
Şekil 3.11. Çekme numunesi.....	44
Şekil 3.12. Numuneleri hazırlanmakta kullanılan; a) Numune kesme cihazı ve b) Zımpara ve parlatma cihazı.....	45
Şekil 3.13. Q250 M Universal sertlik ölçüm cihazı.....	46
Şekil 3.14. BESMAK üniversal çekme ve basma test cihazı.....	47
Şekil 3.15. UTS Tribometer aşınma test cihazı.....	48
Şekil 4.1. Alaşımların XRD grafikleri.	50
Şekil 4.2. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası 2000X SEM görüntüsü.	50
Şekil 4.3. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan haddeleme öncesi noktasal analizi.	51
Şekil 4.4. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan çizgisel analizi.	52
Şekil 4.5. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi.	53
Şekil 4.6. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Al).	53
Şekil 4.7. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Si).	54
Şekil 4.8. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Ti).	54
Şekil 4.9. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (B).	55
Şekil 4.10. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası 2000X SEM görüntüsü.	56
Şekil 4.11. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan haddeleme öncesi noktasal analizi.	56
Şekil 4.12. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan çizgisel analizi.	57
Şekil 4.13. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi.	58
Şekil 4.14. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Al).	58
Şekil 4.15. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Si).	59
Şekil 4.16. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Ti).	59
Şekil 4.17. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (B).	60
Şekil 4.18. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımların a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası 2000X SEM görüntüsü.	60
Şekil 4.19. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan haddeleme öncesi noktasal analizi.	61
Şekil 4.20. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan çizgisel analizi.	62
Şekil 4.21. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi.	63

Şekil 4.22. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Al).	63
Şekil 4.23. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Si).	64
Şekil 4.24. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Ti).	64
Şekil 4.25. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (B).	65
Şekil 4.26. Al-5Ti-1B içeren alaşımlardaki haddeleme öncesi ve sonrası sertlik değişimleri.	66
Şekil 4.27. Al-5Ti-1B içeren alaşımlardaki haddeleme öncesi ve sonrası sertlik değişimleri.	66
Şekil 4.30. Çekme testi sonucunda alaşımların kopma uzamasındaki değişim.	70
Şekil 4.31. Haddeleme öncesi ve sonrası 5 N yük altında aşınma kayıpları (mm ³). .	72
Şekil 4.32. Haddeleme öncesi ve sonrası 15 N yük altında aşınma kayıpları (mm ³). .	72
Şekil 4.33. Haddeleme öncesi ve sonrası 5 N yük altında Archard's aşınma katsayıları sonuçları.	73
Şekil 4.34. Haddeleme öncesi ve sonrası 15 N yük altında Archard's aşınma katsayıları sonuçları.	74
Şekil 4.35. Haddeleme öncesi ve sonrası 5 N yük altında ortalama sürtünme kuvveti sonuçları.	74
Şekil 4.36. Haddeleme öncesi ve sonrası 15 N yük altında ortalama sürtünme kuvveti sonuçları.	75
Şekil 4. 37. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 5N yük altında aşınma sonrası a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası SEM görüntüsü. .	75
Şekil 4.38. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 15N yük altında aşınma sonrası a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası SEM görüntüsü. .	76
Şekil 4.39. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 5N yük altında aşınma sonrası a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası SEM görüntüsü.	76
Şekil 4.40. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 15N yük altında aşınma sonrası a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası SEM görüntüsü. .	77
Şekil 4.41. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 5N yük altında aşınma sonrası a) haddeleme öncesi, b) haddeleme sonrası SEM görüntüsü.	77
Şekil 4.42. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 15N yük altında aşınma sonrası a) haddeleme öncesi b) haddeleme sonrası SEM görüntüsü.	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Yıllara ve ürünlere göre Türkiye alüminyum üretimi (Ton).....	12
Çizelge 2.2. Döküm alüminyum alaşımlarının tecimsel sınıflandırması	14
Çizelge 2.3. Yaygın olarak kullanılan alaşımlardaki Si içeriği.....	20
Çizelge 2.4. Alaşım elementlerinin etkileri.....	23
Çizelge 3.1. ETİAL-140 temel alaşımın kimyasal analizi	37
Çizelge 3.2. Hadde numunelerinin paso sonuçlarında aldıkları değerler.....	43
Çizelge 4.1. Alaşımların kimyasal bileşimi (ağ. %).....	49
Çizelge 4.2. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS analiz sonuçları.	51
Çizelge 4.3. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS analiz sonuçları.	57
Çizelge 4.4. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS analiz sonuçları.	62
Çizelge 4.5. Brinell sertlik testi ortalama sonuçları.	66
Çizelge 4.6. Haddeleme öncesi ve sonrası aşınma hacimleri sonuçları.	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al : alüminyum

Si : silisyum

Fe : demir

B : bor

Ti : titanyum

Cu : bakır

H₂ : hidrojen

O₂ : oksijen

Ni : nikel

Mg : magnezyum

Mn : manganez

Zn : çinko

Pb : kurşun

Sn : kalay

σ : gerilme

ε : gerinim

θ : teta

KISALTMALAR

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

TSE : Türk Standardı Enstitüsü

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

XRD : X-Ray Diffraction (X-Işını Kırınımı)

EDS : Energy Dispersive Spectrometer (Enerji Dağılımlı Spektrometresi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum, hafifliği, alaşımlı olduğu zaman yeterli dayanıma sahip olması, yeniden kullanılabilirliği, yüksek korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği ve şekillendirilebilirliği nedeniyle diğer metallerden daha avantajlıdır. Alüminyum, demirden üç kat daha hafiftir, alaşımla yöntemi ile demirin dayanımına yakın bir dayanıma sahip bir malzemeye dönüştürülebilir. Normal atmosferik koşullarında alüminyumun yüzeyinde oluşan koruyucu oksit film, alüminyumu oksitlenme ve korozyondan korur [1,2].

Alüminyum alaşımları genel olarak dövme ve dökme alüminyum alaşımları olmak üzere iki gruba ayrılır. İçerdiği temel alaşım elementlerine göre farklı alüminyum alaşım serileri mevcuttur. Örneğin Amerikan alüminyum birliğine göre dövme alüminyum alaşımları dört rakam ile sınıflandırılır. Buna göre; yüksek saflıktaki alüminyum alaşımları 1xxx serisiyle, bakır içeren alaşımlar 2xxx serisiyle, Mn veya Mn+Cu içeren alüminyum alaşımları 3xxx serisiyle, Si içeren alaşımlar 4xxx serisiyle, Mg içeren alüminyum alaşımları 5xxx serisiyle, Si+Mg içeren alüminyum alaşımları 6xxx serisiyle, Zn içeren alüminyum alaşımları 7xxx serisiyle ve Li içeren alüminyum alaşımları 8xxx serisiyle gösterilir. Döküm alaşımlarda benzer şekilde sınıflandırılmıştır. Dövme ve dökme alaşım grubunda yer alan alaşımlar ısıtma işlemi uygulanabilir ve uygulanamaz olmak üzere ikiye ayrılır. Isıtma işlemi uygulanabilen alaşımlar (2xxx, 6xxx, 7xxx serilerindeki alaşımlar) çökelme/yaşlandırma sertleşmesi yöntemiyle mukavemetlendirilirken, ısıtma işlemi uygulanmayan alaşımlar deformasyon sertleşmesi yöntemiyle mukavemetlendirilirler.

Alüminyum alaşımları içerisinde yer alan Al-Si alaşımları sahip olduğu düşük termal genişleme katsayısı, yüksek mukavemet, yüksek aşınma direnci ve sertlik özellikleri nedeniyle pistonların, silindir bloklarının ve kompresör parçalarının üretiminde tercih

edilir [3,4]. Bu alaşımın dökümünde oluşacak dezavantajlar gözeneklilik, kaba ötektik yapı, birincil silisyum parçacıklarının segregasyon ve katılaşma çekmesinin oluşmasıdır [3,5].

Bu tez çalışmasında Al-Si alaşımlarının dayanımını, sertliğini ve aşınma direncini geliştirmek için üç farklı oranda Al-5Ti-1B master alaşımı ilave edilerek matris içerisinde Ti-B bileşiklerinin oluşması sağlanmıştır. Deneysel olarak Ti-B bileşiğinin alaşımın dayanımına, sertliğine, aşınma direncine etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1. ALÜMİNYUM

Oksijen ve silisyumdan sonra dünyada en yaygın üçüncü element alüminyum olmasına rağmen, endüstriyel ölçekte üretim 1886'da elektroliz metodu kullanılarak gerçekleştirildi.

Alüminyum da kurşun ve kalay, demir ve diğer yaygın metaller gibi doğada bileşikler durumunda bulunur. 1807'de Sir Humprey Davy, ilk oksit bileşiğinden alüminyumu ayıran ve eldesini sağlayan kişidir. Daha sonrasında, Frederick Wöhler, Hans Christian Oersted ve Henri Sainten ve Clairre Deville, alüminyum üretiminde yenilikler yapmıştır.

Alüminyumun seri üretimi, 1886'da ABD'deki ve Fransa'daki Paul T. Heroult ve Charles Martin Hall'ın birbirinden habersiz elektroliz yöntemi ile başlamıştır. Bu yöntem günümüzde de alüminyum üretiminde kullanılan bir yöntem olduğundan, alüminyum sanayisinin başlangıç yılı olarak 1886 kabul edilir. 1887'de K.J. Bayer, boksitten alümina üretimi için Bayer prosesini bulunca endüstriyel açıdan alüminyum üretimi kolaylaşmıştır. Günümüzde alüminyum demir-çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci en genç metaldir [6].

2.1.1. Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Alüminyum, dünyadaki en yaygın metaller arasındadır. Yer kabuğunun yaklaşık %8'i alüminyumdur. Oksijen ve silisyumdan sonra üçüncü en yaygın kimyasal elementtir. Kimyasal sembolü "Al"dir. Atom ağırlığı 26.97, atom numarası 13'tür. Periyodik cetvelin 3-A grubundadır. Parlak, gri renkte ve gümüş beyazıdır. Kaynama noktası

1800 derecedir ve erime noktası 650 derecedir. Yüzey merkezli ve bir kübik kristal yapıya sahiptir.

Diğer metallerle kolayca 300'den fazla bileşik ve alaşım oluşturabilir. Doğada en fazla bileşik bulunduran metaldir. Demirden 3 kat daha hafiftir. Alaşımlandırılmamış şekliyle çok daha yumuşaktır. Elektriksel ve termal iletkenlik yüksektir, manyetik değildir. Soğuk ve sıcak olarak basitçe işlenebilir, dövülebilir ve çekilebilir. Toksik ve yanıcı değildir, boya gerektirmeden kullanılabilir. Çeşitli kimyasal sıvılara, yiyeceklere, hava şartlarına ve gazlara karşı dayanıklıdır. Alkalilerle ve hidroklorik asitle çok daha aktiftir. Toz alüminyum oksijen ile birleştiğinde, yüksek ısı salınır ve patlayıcı özellik elde edilir [7]. Çok çeşitli ticari uygulamalarda kullanılan alüminyum metali, gümüş renge sahiptir ve düşük yoğunluktadır ($2,7 \text{ g / cm}^3$) [8].

Alüminyum, dünya üzerinde en çok kullanılan ikinci metaldir. Bunun nedeni ise alüminyumun aşağıda özetlendiği gibi özelliklere sahip olmasıdır:

1. Hafif fakat mukavemetli: Yaklaşık 1 / 3 demir-çelikten hafif olmasına rağmen, alüminyumun önemli bir mukavemet / ağırlık oranına sahiptir. Alaşım olarak titanyuma ve çeliklere benzer şekilde çalışır.
2. Kolay şekillenebilirlik: Alüminyum yalnızca hafif değil, düşük bir erime noktasına (660°C) sahiptir ve çok sünektir. Bu nedenle kolayca şekillenebilirlik gösterir. Ek olarak, alüminyum yüksek işleme kabiliyetine sahiptir.
3. Üstün korozyon mukavemeti: Doğal bir oksit tabakası oluşturan alüminyum, korozyona karşı dirençlidir. Bu, alüminyumu ambalaj, inşaat ve araçlar için ideal malzeme yapar.
4. Kimyasallara karşı dayanıklılık: Alüminyum, kirlenmeye karşı dayanıklı olması ve ayrıca ışığa, kokuya ve kimyasallara karşı sızdırmazlığı nedeniyle temiz bir ortam sağlar.
5. Enerji tasarrufu: Benzersiz özellikleri olan alüminyumun birçok uygulamada önemli enerji tasarrufu vardır. Örneğin, bir otomobildeki her 100 kg ağırlık düşüşünde, 100 km'de 0.315 litre yakıt tasarrufu sağlıyor ve km başına 8 gramdan daha az CO_2 üretiliyor [9,10,11].

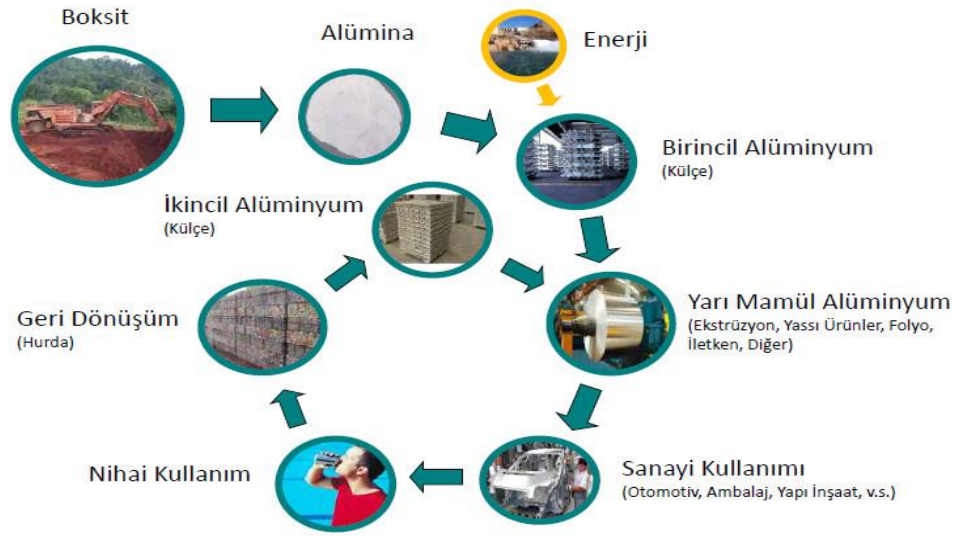
2.2. ALÜMİNYUM'UN ELDESİ

Yüzyıllar boyunca alüminyum aynı yöntemle dünyanın her yerinde elde edilmektedir. Alüminyumun iki aşamada üretimi gerçekleşmektedir. İlk adımda alümina, boksit cevherinden Bayer metodu ile elde edilir. İkinci aşamada alüminadan elektroliz ile alüminyum elde edilir. Boksit cevherlerinin yanlarına genellikle alümina tesisleri inşaa edilir. Boksit cevheri madenden çıkarıldıktan sonra, alüminyum hidroksit elde etmek için su kostik çözeltisi ile işleme sokulur. İşlem sonunda oluşan çözünmeyen artıklar (kırmızı çamur) ayrıştırılır ve alüminyum hidroksitin kalsinasyonu ile alümina elde edilir.

Bir sonraki adım, alüminanın alüminyuma dönüşümüdür. Beyaz bir toza benzeyen alümina, hücrelere yani elektroliz işleminin yapılacağı özel yerlere alınır. Bunun için elektroliz banyosundan faydalanılır. Elektroliz hücreleri karbon anot ve katot ile ergimiş kriyolit banyosundan oluşur ve hücrenin üzeri kapalıdır. Hücreye sürekli alümina beslemesi yapılır. Katot ve anota akım uygulandığında alümina bileşenlerine ayrılır. Oksijen karbon anota hareket ederken, alüminyum hücrenin altında toplanır ve oradan alınır [6].

Dünya üzerindeki alümina rafinelere %90 oranla Bayer prosesi kullanır. Bu yöntem çok verimlidir, özellikle de silisyumun katkılı düşük oranlarında sadece yüksek oranda boksit kullanılabilir.

Boksitte kristalize edilmiş alüminyum hidrat, yüksek sıcaklıklarda konsantre kostik sodada (NaOH) kolayca çözünür ve sıcaklık düştüğünde çözeltinin konsantrasyonu tekrar yükselir, alüminyum hidrat kristalleşir, ancak boksit içindeki diğer elementler alüminyum hidrattan önce çözülmemeli veya tekrar kristalleşmemelidir, dibe çökmelidir. Alüminyum hidrat kostik sodada eritildikten sonra, çamurumsu yapısı kolayca yahtılabilir ve çıkarılabilir. Bu kırmızı çamur olarak da bilinir [12].



Şekil 2.1. Alüminyum değer halkası [13].

2.2.1. Alüminyum Eldesinde Kullanılan Kaynaklar

2.2.1.1. Boksit

Alüminyumun elde edileceği dünyada çeşitli mineraller var, fakat en yaygın hammadde boksit. Boksit, çoğunluğu alüminyum oksitten oluşan bir mineraldir. %50'den fazla alüminyum oksit içeren Boksit'in yüksek kalitede olduğu kabul edilir [14].



Şekil 2.2. Boksit [14].

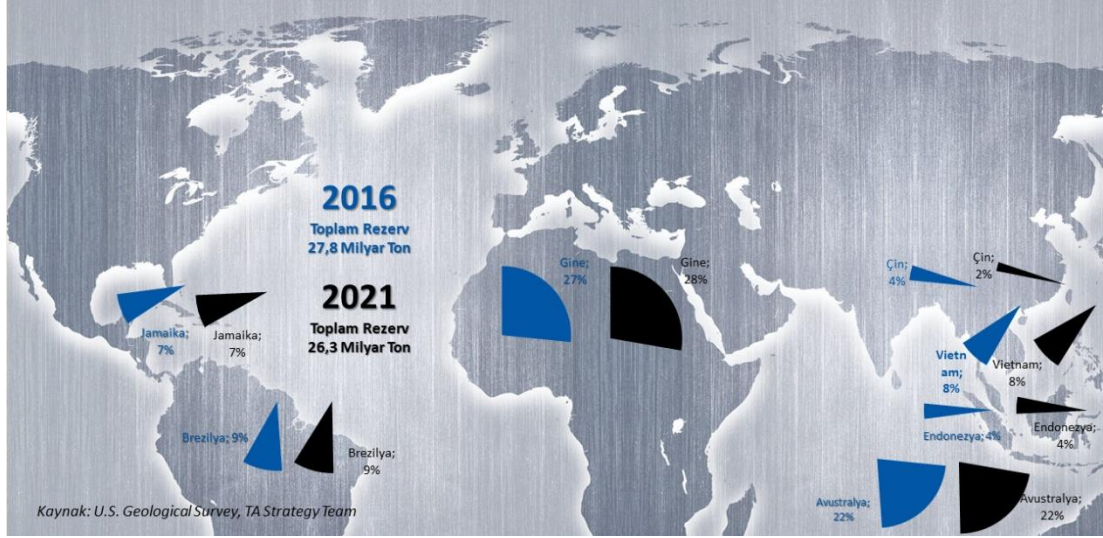
Boksitler arasında farklılıklar vardır ve bunlar yapısal olarak sıkı, sağlam veya esnek olabilir. Genel renk demir oksitten dolayı tuğla kırmızısı, kahverengi veya kırmızıdır. Demir içeriği düşükse, boksit beyaz veya gri olabilir. Bununla birlikte, kırmızı, mor, mavimsi, koyu yeşil ve siyah, sarı ve hatta çok renkli boksitler de oluşabilir [14].



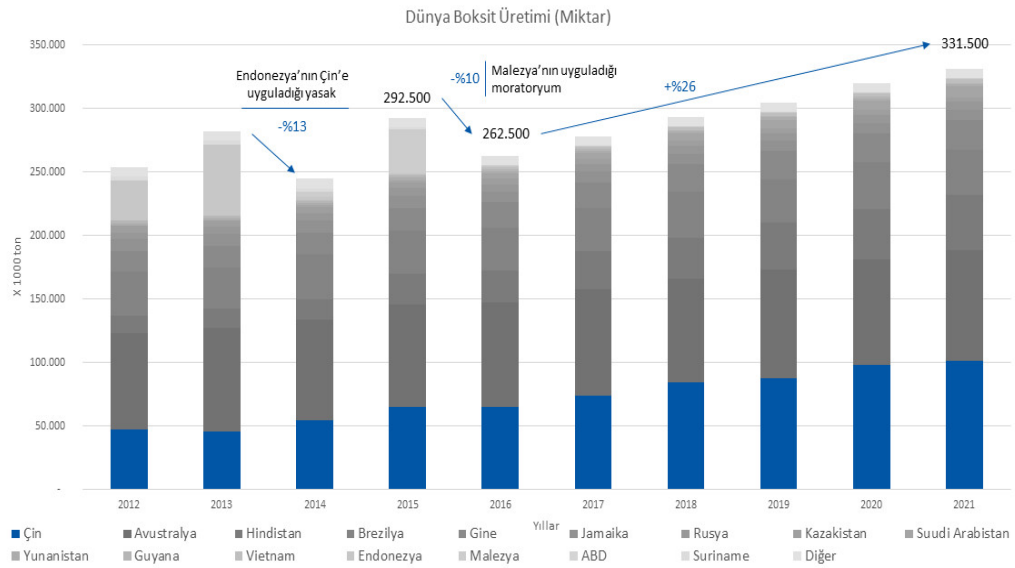
Şekil 2.3. Boksit renkleri [14].

Toplam boksit stoklarının hemen hemen %90'ına subtropikal ve tropikal bölgelerde rastlanırken, %73' ü Brezilya, Avustralya, Hindistan, Jamaika ve Gine 'de bulunur. 5,3 milyar ton (evrensel kaynağın %28,4' ü) ile en büyük boksit kaynağı Gine'dir, boksitleri oldukça az miktarda katkı içerdiğinden dolayı çok yüksek kaliteye sahiptirler. Ayrıca, madenciliği çok kolaydır ve yüzeye çok yakın yerlerde bulunurlar [14].

Açık maden ocakları boksitler için en çok kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Özel ekipmanlar yüzeye çıkarılan bir tabakayı kesmek için kullanıldıktan sonra cevherler, öğütme ve kırma gibi tane küçültmeyi sağlayan alanlara alınacak olan madenlerin yakınlarındaki fabrikalara taşınır. Bununla beraber, alüminyum cevherinin yeraltının derinliklerinden çıkarıldığı yeraltı madenleri yapılmasını sağlayan yerlerde vardır. En derin madenlerden biri havalandırma kuyuları 1550 metre derinliğe kadar uzanan Rusya Urals'teki Cheremkhovskaya-Deep madenidir [14].



Şekil 2.4. Dünya boksit rezervleri [15].



Şekil 2.5. Dünya boksit üretimi [15].

2.2.1.2. Kriyolit

Alüminyum üretim safhasında alümina doğrudan bir alüminyum kaynağıdır, fakat elektroliz prosesi için ortam bileşeni olarak kriyolite ihtiyaç duyulur. Kriyolit az bulunan bir doğal florür mineralidir ve kaynak azlığı nedeniyle yapay olarak üretilir. Güncel ve modern metal üretiminde kriyolit, alüminyum hidroksit, hidroflorik asit ve soda karışımıyla yapılmaktadır [12].



Şekil 2.6. Kriyolit [12].

Dünyadaki birkaç doğal kriyolit yatağından biri 1799'da Grönland'daki Ivittuut kasabasında keşfedildi. 1987 yılında kriyolit madenciliği yapay kriyolit yapma süreci ile bitti. Kriyolit daha sonra ABD'nin Colorado eyaletinde bulunan Ilmen Dağları'nda ve Güney Urals (Miass)'ta bulundu [12].

2.2.1.3. Nefelin

Alümina üretimi için en yaygın hammaddeler Boksitlerdir, fakat yalnızca bunlarla sınırlı değildir. Alümina Nefel hattından da yapılabilir. Apatit nefelin kaya formunda Nefelin oluşur. Nefelin'den alümina üretimi ile beraber ayrıca soda, nadir metal galyum ve potas (gıda endüstrisi, bazı kimyasalların üretimi, inşaatta kullanılan bir madde vb.) üretir. Üretim atıkları, yüksek kaliteli çimento ve beyaz çamur yapmak için kullanılır. 7.5 ton kalker ve 4 ton nefelin 1 ton alümina oluşturmak için kullanılabilir [12].



Şekil 2.7. Nefelin [12].

2.2.1.4. İkincil hammadde (Hurda):

İkincil kaynaklardan elde edilen alüminyum malzemeler, yani kullanım süresinin sonu gelmiş alüminyum malzemeler (eski hurda) ve çeşitli alüminyum işleme işlemlerinde oluşan işlem artıkları ve birincil veya ikincil alüminyumun eritilmesi sırasında oluşan cürufunda bulunan metalik alüminyumdur. İkincil malzemeler genellikle tanımlanamaz ve kendinden başka birçok materyal ve safsızlık ile ilişkilidir. Bu nedenle, toplandıktan sonra işlenmeleri gerekir. Yani toplanır, gruplanır, ayrılır, çeşitli hazırlama işlemlerine tabi tutulur ve eritilir. İkincil alüminyum hammaddeleri 3 bölümde incelenebilir;

1. Eski hurda, süresi dolmuş alüminyum malzemelerdir,
2. Yeni hurda, alüminyum üretim proseslerinde proses artıklarıdır,
3. Cüruf, alüminyum eritme, rafine etme ve aktarma işlemlerinde oluşan metalik alüminyum ve oksit karışımıdır [16].



Şekil 2.8. Alüminyumda geri dönüşümün artan önemi [17].

Malzemelerin geri dönüşümü yeniden değerlendirme kavramına göre iki bölümde incelenebilir.

1. Kapalı çevrim yeniden değerlendirmesi ile hizmet ömrünün sonuna ulaşan alüminyum malzeme yeniden eritilir, orijinal amacına göre ayarlanır ve yeniden kullanılır. Örneğin, alüminyum içecek kutularını yeniden eritip içecek kutularına dönüştürülmesi.
2. Açık çevrim yeniden değerlendirme sürecinde, hizmet ömrünün sonuna gelmiş farklı alaşımların alüminyum malzemeleri eritilir ve alaşımlı hale getirilir. Böylelikle yeni alaşımlar ve kullanım amacı olan alüminyum malzemeler üretilir. Örneğin, jant talaşından piston kapakları üretilmesi [16].

Alüminyum hurda sadece geri dönüştürülebilir olduğu için değil ekonomik açıdan da değerli olduğu için önemlidir. Alüminyum malzemelerin geri dönüştürülebilirlik oranını artırarak ve daha fazla ikincil alüminyum kullanarak, geri dönüşüm döngüsü kapatılabilir, böylece daha önce listelenen sera gazı üretimi azaltılabilir, küresel ısınma ve enerji tasarrufu riski azaltılabilir.

Yüksek kaliteli işlem alaşımları büyük ölçüde kapalı döngüde yer alırken, döküm alaşımları genellikle açık döngüde üretilir. Kapalı çevrimin uygulanabilirliği arttıkça, ideal kalite, miktar ve maliyetle yeniden değerlendirmek mümkün olacaktır. Bununla birlikte, alüminyum ürünlerin farklı ömürleri ve düzenli kullanılabilirlik sorunu nedeniyle, açık döngü genellikle çalışır. Küresel olarak kullanılan alüminyum malzemelerin yeniden değerlendirme oranları göz önüne alındığında, inşaatta kullanılan ürünler %98'e kadar, ulaşımda kullanılan ürünlerin %95'ine kadar ve içecek kutuları %65-70 oranında üretime geri dönebilir [16].

En kritik konu birincil alüminyum üretiminde enerji olurken, ikincil alüminyum üretiminde "hurda kalitesi ve bulunabilirliği" olarak belirlenmiştir. İkincil alüminyum üretim süreci yedi adımlı bir işlemdir:

1. Hurda toplama,
2. Hurda ayırma, hazırlama ve ön işlem,

3. Ergitme,
4. Alaşımlandırma,
5. Metal rafinasyonu,
6. Dökümler,
7. Cüruf temizleme ve cüruf değerlendirilmesi [16].

Çizelge 2.1. Yıllara ve ürünlere göre Türkiye alüminyum üretimi (Ton) [18].

ÜRETİM	2007	2008	2009	2010	2011	2012	%değişim (11/10)	%değişim (12/11)
Birincil Alüminyum (7601)	63.000	61.000	30.000	54.000	56.000	35.000	3,7	-37,5
İkincil Alüminyum (7602)	80.000	94.000	120.000	150.000	165.000	221.934	10,0	34,5
Ekstrüzyon (7604)	235.000	265.000	230.000	275.000	290.000	320.000	5,5	10,3
Yassı ürünler (levha-rulo) (7606)	146.281	140.584	135.230	198.016	224.000	233.020	13,1	4,0
Folyo (7607)	39.504	43.173	50.721	60.000	65.000	85.000	8,3	30,8
İletken (7605-7614)	35.000	33.150	50.000	70.000	85.000	116.771	21,4	37,4
Döküm	112.150	122.000	96.500	128.000	150.000		17,2	



Şekil 2.9. Dünya birincil alüminyum üretimi [18].

2.3. ALÜMİNYUMUN KULLANIM ALANLARI

Alüminyum alaşımların kullanımı çok fazladır. Mutfak ürünlerinden pencerelere, otomobil egzozlarından uçaklara, süs eşyalarından korkuluklara kadar oldukça geniş bir kullanım alanı vardır. Esnekliği, yumuşaklığı ve dayanıklılığı ile birlikte birçok ürün için nadir bir metal haline gelmiştir. İletkenliğinden dolayı elektrik ve elektronik sanayisinde de kullanılır [7].

Alüminyum endüstri doğrudan boksit cevheri ve geri dönüşümden gelen alüminyumu kullanır. Alüminyum hurdalar %100'e yakın geri dönüştürülebilir. Alüminyum metalinden teller ve çok ince plakalar üretilebilir. Alüminyum folyo insan saçından 3 kat daha ince üretilebilir. Benzer metallere göre çok daha düşük maliyetlidir. Elektrolizle üretildiğinden dolayı elektrik, maliyetinin %20-40'ını oluşturur. Demirin ardından en çok kullanılan metaldir.

En çok kullanılan ürünlerden ve alanlardan bazıları şöyle sıralanabilir: Motor gövdeleri, jantlar, şaseler, tabletler, bilgisayarlar, cep telefonları, elektronik ürünler, raflar, beyaz eşya, gıda ambalaj ürünleri, yelkenler, gemiler, kablolar, pencereler, elektrik direkleri, aynalar, madeni paralar, iç ve dış bina kaplamaları, füzeler, roketler vb. [7].

2.4. DÖKÜM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Alüminyum döküm alaşımları için teknik özellikler diğer alaşımlardan açıkça ayırt edilmiştir, sınıflandırmaları ve isimlendirilmeleri kimyasal bileşimlerine dayanmaktadır. Elektrolitik alüminyuma gerekli alaşım elementleri eklenerek veya daha önce üretilmiş ve kullanılmış malzemelerin geri dönüşümü ile alüminyum döküm alaşımları hazırlanabilir. Bugün sanayide üretilen parçaların %50'sinin geri dönüştürülmüş malzemedен yapıldığı varsayılmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması için uluslararası kabul görmüş sınıflandırma Amerikan Aluminium Birliğine göre 4 basamaklı sayılarla yapılır. Bu sınıflandırma Çizelge 2.2'de verilmiştir [19].

Çizelge 2.2. Döküm alüminyum alaşımlarının tecimsel sınıflandırılması [19].

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi
1xx.x	Saf Alüminyum (%99 veya daha yüksek katışıksızlık)
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmıyor
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay (Tin)

Sınıflandırmada 1xx.x, noktanın solundaki iki hane alaşımın içerdiği minimum alüminyum içeriğini gösterir. Örneğin 190.x dizisi %99,90 saflıkta alüminyum anlamına gelir. Aynı grupta, noktadan sonraki haneler ürün belirtir, döküm (0) veya külçe (1) gibi [19].

2.4.1. Alüminyum 1xxx Serisi

Bu alüminyum serisi (1050, 1100, 1145, 1230, 1350 vb.) mükemmel korozyon direnci, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, üstün çalışma kabiliyetleri ve düşük mekanik özelliklerine göre yapılır. Dayanımda olan küçük artışlar, gerilme sertleşmesi ile sağlanabilir. Bu konuda ana malzemeler, demir ve silikondur [20,21].

2.4.2. Alüminyum 2xxx Serisi

Bu alaşım serisinde (2014, 2015, 2018, 2124, 2219 vb.) temel alaşım elementi bakırdır. Düşük miktarlarda magnezyum ve diğer alaşım elementleri de ilave edilebilir. Bu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda en yüksek dayanıma ve sertliğe sahip alüminyum alaşımlarıdır. Isıl işlem ile dayanımları ve sünekliği geliştirilebilir. 2xxx serisi alüminyum alaşımlar diğer alüminyum alaşımları kadar iyi korozyon direncine sahip değildir. Bundan dolayı yüzeyi korumak için kaplama yapılır. Bu serideki alaşımlar genellikle havacılık alanında kullanılmaktadır [20,21].

2.4.3. Alüminyum 3xxx Serisi

Bu alüminyum serisi alaşımlar (3003, 3105, 383.0, 385.0, A 360, 390.0 vb.), genellikle silisyum ve silisyuma ek olarak bakır ve/veya magnezyum içerir. Bu alaşımlar ısı işleme tabii tutulabilir. Alüminyum alaşımları içerisinde en çok üretilen alaşımlardır. Bakır ve/veya magnezyum içeriğine göre Al-Si-Mg, Al-Si-Cu ve Al-SiCu-Mg olmak üzere üç farklı kompozisyona sahiptir. Bakır ve magnezyum döküm alaşımların mukavemet ve sertliği artırır. Suni yaşlandırma prosesiyle mukavemet ve sertlik daha fazla artırılabilir.

2.4.4. Alüminyum 4xxx Serisi

Ana alaşım elementleri olan silisyum 4xxx serisi alaşımlar (4032, 4145, 4643 vb.), istenen oranlarda (%12'ye kadar) eklenir ve ergime oranı yüksek miktarda azalır. Bu nedenle, alüminyum-silisyum alaşımları, alüminyuma katılarak erime sıcaklığı ana metalin erime sıcaklığından daha düşük olan pirinç ve kaynak teli alaşımlarında kullanılmaktadır. Bu alüminyum alaşımları önemli miktarda kömür grisi bir silikonu içerdiğinden, anot oksit kaplamasında kullanılır ve mimari uygulamalarda talep edilir. Orta düzeyde dayanıma ve tokluğa sahiptirler [20,21].

2.4.5. Alüminyum 5xxx Serisi

Ana alaşım elementi olarak kullanılan magnezyum veya mangan elementi, yüksek mukavemet ve sertlik artışına katkı sağlar. Magnezyum sertlikte manganezden önemli miktarda daha etkilidir %0,8 Mg, yaklaşık %1,25 Mn'ye eşittir ve önemli miktarda daha yüksek ölçülerde eklenebilir. Bu serideki alüminyum alaşımları (5005, 5052, 5086, vb.) Nispeten deniz koşullarında iyi korozyon direncine ve iyi kaynaklanabilirlik özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte, yüksek magnezyum ve alüminyum alaşımlarının neden olabileceği gerilme-korozyon çatlakları hassasiyetini önlemek için soğuk işlem miktarının ve izin verilen çalışma sıcaklıklarının (150°F) hassasiyetinden kaçınmakla sınırlıdır [20,21].

2.4.6. Alüminyum 6xxx Serisi

Kullanılmayan seridir.

2.4.7. Alüminyum 7xxx Serisi

7xxx serisi (7075, 7050, 7049, 710.0, 711.0 vb.) ana alaşım elementi olarak %1-8 miktarında Çinko içeren ve az miktarda magnezyum ile bileşen, ısıl işlenebilir ve yüksek dayanım gösterebilen alüminyum alaşımlarıdır. Ek olarak, bakır ve krom gibi diğer elementler genel olarak küçük miktarlarda eklenebilir. 7xxx serisi alaşımlar uçak gövdesi yapımında, mobil cihazlarda ve diğer stresli ortamlarda kullanılır. Yüksek mukavemetli 7xxx alüminyum alaşımları, stres korozyon çatlaklarını azaltır ve hafifçe temper işlemi yapılarak daha iyi koşullar sağlayan; Mukavemet, korozyon direnci ve kopma direnci sağlayarak sıklıkla kullanılır [20,21].

2.4.8. Alüminyum 8xxx Serisi

8xxx serisi (851.0, 852.0, 8006, 8111, 8079), alaşımlarda temel alaşım elementi kalaydır. Özellikle havacılık sektöründe (uçak ve uzay yapılarında) kullanılmak üzere geliştirilmiş bir alaşım olup, yüksek mukavemet, sertlik ve tokluğa sahiptir [20,21].

2.5. ALÜMİNYUM DÖKÜM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Alüminyum döküm alaşımları temel olarak düşük özgül ağırlıklarıyla karakterize edilir. Ayrıca, düşük erime sıcaklıkları, düşük gaz çözünürlüğü (hidrojen hariç), mükemmel dökülebilirlik (özellikle yaklaşık %11,7 ötektik bileşimlerde), yüzey kalitesi ve iyi işlenebilirlik, iyi termal ve elektriksel iletkenlik ve katsayıları iyi korozyon direnci alüminyum döküm alaşımlarının genel yapısını yansıtır. Bununla birlikte, katılaşma sırasında hacimsel çekme oranları %3,5 ile %8,5 arasında olan alüminyum dökümlerin ana problemleri arasındadır. Bu nedenle, boyutsal hassasiyetin sağlanması, sıcak yırtılmaların önlenmesi ve çekme gözeneginin önlenmesi için kalıp tasarımı sırasında bu oranlar dikkate alınmalıdır. Her ne kadar alüminyum döküm alaşımlarının mekanik özelliklerinin dövme alaşımlardan çok daha iyi olduğu

bilinmesine rağmen, gruptaki alaşımların bazıları üstün mekanik özellikler elde etmek için ısı işlem görebilmektedir [22].

Döküm alaşımının seçimi uygulama alanına göre esas olarak üç ana parametreye bağlıdır.

1. Dökülebilirlik (dökülebilirlik - alaşımın akışkanlığına, katılaşma özelliklerine ve döküm parçasının geometrisine bağlı karmaşık bir özellik)
2. Kullanım alanları
3. Mekanik özellikler

Alüminyum alaşımlarının dökülebilir özellikleri, sıcak yırtılma eğilimi, hacimsel gerilme ve akışkanlık özelliklerinin değerlendirilebileceği özel örnek kalıplar kullanılarak belirlenir. Genel olarak yüksek mekanik özellikler, en iyi ısı işlem görebilen ötektik bileşimleri içeren alaşımlardan elde edilir. Ek olarak, döküm alaşımlarının mekanik özellikleri; ergitme ve döküm işleminin sıkı kontrolü, tane büyüklüğü kontrolü (tane inceltme), safsızlık seviyesinin kontrolü ve ötektik alaşımının modifikasyonu gibi mekanizmalarla kontrol edilir [22].

2.6. Al-Si DÖKÜM ALAŞIMLARI

Al-Si döküm alaşımları, mükemmel mekanik özellikleri, korozyon önleyici performansları, işlenebilirliği ve dökülebilirliği nedeniyle mühendislik uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [23,24, 25].

Alüminyum döküm alaşımlarının tartışmasız ana alaşım elementi silisyumdur. Bunun sebebi dökümden sonra katılaşma esnasında sıcak yırtılma veya ısı gerilme çatlağı oluşturmaması ve iyi dökülebilirlik sağlayarak kalıbı tam doldurmasıdır [26].

Silisyum, alüminyum alaşımlarında aşağıdaki nedenlerden dolayı önemli bir rol oynar.

1. Silisyumun ergime sıcaklığının yüksek olması alaşımın akışkanlığına çok yüksek derecede katkı sağlar.

2. Silisyum sertliği yüksektir. Bundan dolayı alaşımın aşınma dayanımına önemli ölçüde artırır.
3. Diğer alaşım elementleriyle birlikte silisyum, alaşımın mukavemet ve ısıl işlem uygulanabilirliğini artırır.
4. Silisyum ısıl genleşmeyi ve alaşımın yoğunluğu düşürür [26].

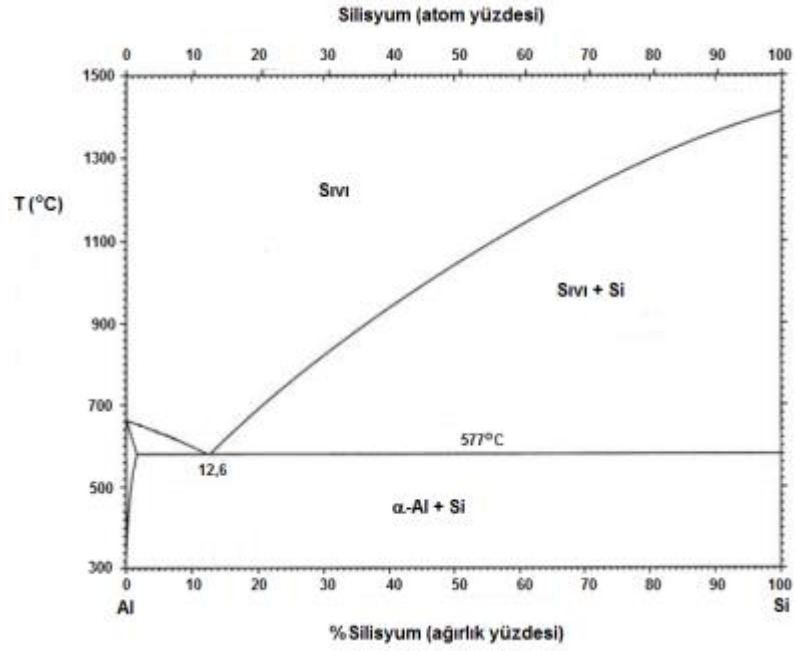
2.6.1. Al-Si İkili Alaşımı

Mükemmel akışkanlık, dökülebilirlik ve korozyon direncine sahip olan alaşımlar Al-Si ikili alaşımlarıdır. Bu alaşımların mukavemeti ve işlenebilirliği düşüktür. Al-Si ötektik modifikasyonu, bu alaşımların mukavemetini, dökülebilirliğini ve sünekliğini artırabilir. Özel olarak, kum kalıplamada, stronsiyum, kalsiyum veya sodyum ile yapılan modifikasyon etkili olur. Kalsiyum zayıf bir değişkendir, ancak etkisi antimon ile yükseltilebilir, stronsiyumsa çok güçlü bir değişkendir [27].

Bakır ve magnezyum Al-Si ikili alaşımına geniş kapsamlı olarak eklenen iki alaşım elementidir. Bu iki element, uygulanan çökeltme sertleşmesinin bir sonucu olarak alaşımın sertliğini ve dayanımını 190°C uygulama sıcaklığına kadar artırır. Sıcaklıklar 200°C'yi aştığında, sertlik veren (Al₂Cu), β (Mg₂Si) ve/veya S (Al₂CuMg) fazları kararsız hale gelir, çözünür ve istenmeyen mikro yapıya sebep olur. Bu yüksek sıcaklık uygulamaları için istenmez [28].

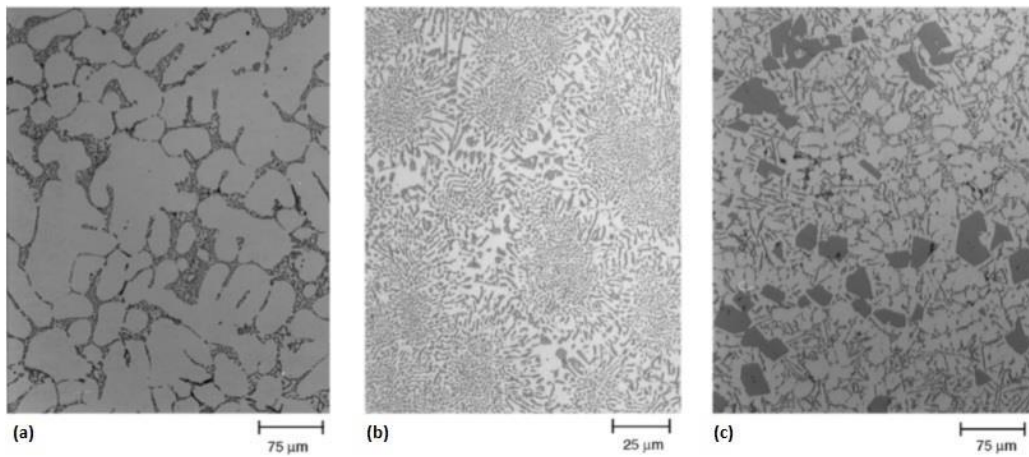
2.6.1.1. Al-Si Denge Diyagramı

Alüminyum ve silisyum alaşımlarında, ağırlık olarak %12,6'dan daha az silisyum içeren alaşımlara alt ötektik, %12,6 oranında silisyum içerenlere ötektik ve %12,6'dan daha fazla silisyum içerenlere ötektik üstü alaşım denir. Şekil 2.10 Al-Si faz diyagramında gösterildiği gibi, ötektik faz 577 °C'de gerçekleşir ve silisyumun alüminyumdaki çözünürlüğu maksimum %1,65'tir. Ticari alüminyum alaşımları genel olarak silisyumun yanı sıra bakır ve magnezyum gibi diğer alaşım elementlerini içerir. Ötektik alaşımdan sonra bakır ve magnezyumdan oluşan intermetalik fazlar oluşur [28].



Şekil 2.10. Al-Si faz diyagramı [29].

Şekil 2.11, alüminyum-silikon faz diyagramına göre katılmış ticari bir alüminyum-silisyum alaşımının mikroyapı görüntülerini göstermektedir. Alt ötektik alaşımın mikro yapısı birincil alüminyum dentritlerden ve ötektik fazdan oluşur, %12,6 silisyum içeren alaşımın mikro yapısı tamamen ötektik fazdan, süper ötektik alaşımın mikro yapısı büyük silikon tanelerden ve ötektik fazdan oluşur [30].



Şekil 2.11. a) Ötektik altı alaşımın mikro yapısı (<12,6 Si) b) Ötektik alaşımın mikro yapısı (12,6 Si) c) Ötektik üstü alaşımın mikro yapısı (>12,6 Si) [30].

2.7. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

2.7.1. Silisyum

Saf alüminyum 660°C'de ergir. Yüksek iletkenlik gerektiren ve birkaç özel uygulama dışında saf alüminyum dökümü için uygun bir metal değildir. Çoğu alüminyum döküm alaşımları ana alaşım elementi olarak silisyum içerir. %11,7 silisyum içeren alüminyum alaşımı 577°C'de ötektiktir. Çizelge 2.3'de, yaygın olarak kullanılan alaşımların Si içeriği ve katılma aralıkları verilmektedir. Alaşıma silisyum eklenmesi, besleme, akışkanlık ve sıcak yırtılma dayanımını artırarak malzemenin döküm özelliklerini geliştirir. Yüksek silisyum içeren faz serttir, böylece süneklik ve işlenebilirlik azalırken, malzemenin sertliği daha fazla silisyumla arttırılabilir [31].

Çizelge 2.3. Yaygın olarak kullanılan alaşımlardaki Si içeriği [31].

Alaşım	Si içeriği (%)	İngiliz standardı	Katılma aralığı (° C)
Düşük silisli	4_6	LM4	625-525
Orta silisli	7,5-9,5	LM25	615-550
Ötektik alaşım	10_13	LM6	575-565
Ötektik üstü alaşım	>16	LM30	650-505

2.7.2. Bakır

Bakır, alüminyum döküm alaşımlarında ısıtılmalı ve ısıtılmalı işlem görmemiş sertlik ve dayanım üzerinde en fazla etkiye sahip elementtir. Sertlik, mukavemet, işlenebilirlik ve ısıtılmalı iletkenliği artırırken, sıcak yırtılma direncini ve dökülebilirliği azaltır. Matris sertliğini artırarak işlenebilirlik sağlar. Genellikle, korozyon direncini azaltır ve belirli bileşim ve malzeme koşullarında gerilme uygulanan korozyona duyarlılığı artırır. Isıtılmalı işlem maksimum %4-6 bakır içeriğinde etkilidir [26,27,31].

2.7.3. Magnezyum

%0,25-0,50'lik küçük ilaveler, Al-Si alaşımlarının ısıtılmalı işlemden sonra Mg_2Si bileşiklerinin oluşması alaşımların sertleşmesini ve mekanik özelliklerini artırır. Bakır ilave edildiğinde oluşan Al_2CuMg çökeltiler alaşımların sertliğini ve dayanımını artırır. Yaygın olarak kullanılan Al-Si alaşımlarında Mg içeriği %0,40-0,70 aralığındadır. Magnezyum, yüksek silisli piston alaşımlarında %1 seviyesindedir. Düşük silika alaşımlarında %3-6 oranında magnezyum, dekoratif parçalar için parlak yüzeyler sağlar ve eloksal özelliklerini geliştirir. Kırılganlığı önlemek için basınçlı döküm alaşımlarında magnezyum düşük tutulur. Magnezyumun var olması, sıvı alüminyumdaki oksidasyon kayıplarını artırır [26,27,31].

2.7.4. Demir

Basınçlı döküm alaşımlarında %0,9-1 aralığında demir kalıp yapışmasını önlemek için kullanılmaktadır. Yüksek demir içeriği $FeAl_3$, $FeMnAl_6$ ve $\alpha-AlFeSi$ intermetalik fazları oluşturarak süneklik, tokluk ve işlenebilirliği azalmaktadır. Bu nedenle basınçlı döküm haricindeki alaşımlarda demir içeriği %0,8 ile sınırlıdır. Kalıp yapışmasını önlemek için %0,9-1 aralığında demir basınçlı döküm alaşımları için kullanılır. Yüksek demir içeriği $FeMnAl_6$, $FeAl_3$ ve $\alpha-AlFeSi$ sünekliği, tokluğu ve işlenebilirliği azaltarak intermetalik fazlar oluşturur. Bu sebeple, basınçlı döküm dışındaki alaşımlarda demir içeriği %0,8 ile sınırlıdır [27,31].

2.7.5. Mangan

%0,5'ten fazla mangan, dökümlerin stabilitesini artırır. Ayrıca metaller arası demir faz formunu kontrol ederek sünekliği ve büzülme özelliklerini geliştirir [31].

2.7.6. Nikel

Bakır ile eklendiğinde, yüksek sıcaklıkta sertliği ve mukavemeti artırır. Ayrıca termal genişleme katsayısını azaltır [27,31].

2.7.7. Çinko

Bakır ve magnezyum ile eklendiğinde ısı işleme özelliklerini iyileştirir. Çinko akışkanlığı artırırken büzülmeyi artırabilir [31].

2.7.8. Kurşun

%0,1'den fazla eklendiğinde işlenebilirliği artırır.

2.7.9. Titanyum

Bor ile eklendiğinde tane boyutunu küçültür, süneklik, tokluk ve dayanımı artırır [31].

2.7.10. Fosfor

Fosfor, ötektik üstü alaşımlarda AlP_3 bileşimini oluşturur, çekirdekleştirici olarak görev yapar ve birincil Si fazını inceltir. Ötektik alaşımlarında, düşük seviyelerde fosfor ötektik yapıyı kabalaştırır ve böylece Na ve Sr modifikatörlerinin etkinliğini azaltır [27,31].

2.7.11. Stronsiyum

Al-Si, %0.008-0.04 oranında eklendiğinde kaba Si yapılarının daha ince lifli Si yapılarına dönüşmesini sağlayarak ötektik fazı değiştirir. Daha çok ilave edildiğinde gözenekliliğe neden olur [27,32].

2.7.12. Sodyum

Ötektik yapının değişimi için %0,01 ilavesi ile modifikasyon işlemi yapılır [31].

2.7.13. Lityum

Genellikle Na veya Sr değiştiricilerin etkinliğini azaltarak döküm özellikleri üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. %0,01'in üzerine lityum eklemek gözeneklilik sorunlarına neden olur. Döküm alaşımlarında lityum takviyesinin %0,003' ün altında olması tavsiye edilir [31].

Alüminyuma Alaşım Elementlerinin Etkileri

Aşağıda verilen tabloda alaşım elementlerinin farklı karakteristikler üzerine etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Alaşım elementlerinin etkileri.

Nitelikler	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Mn	Fe
Kopma mukavemeti	**	*	*	**	*		
Elastik sınır	**	*	-	*	-		
Sertlik	**		-	-	*	*	*
Isıya dayanıklılık	**		**		*		*
Kaynak kabiliyeti	-	**	*	-	-	*	
Talaş kaldırma ile işlenebilirlik	**	-	*	*	*	*	**
Elastikiyet modülü	*	**	-	*	*	*	-
Döküm kabiliyeti	*	**	-	*		-	-
Süneklik	-	--	*				--
Korozyona dayanım	-	*	**	*		-	--
Anodizasyona elverişsizlik	-	*	**	*		-	

** : önerilir * : iyi -- : kaçınılacak - : ortanın altında

2.8. ALÜMİNYUMA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Hafif metal olmalarından kaynaklı alüminyum alaşımları mekanik özelliklerini geliştirmek için ısıtılma tabii tutulur. Genel olarak metal ve alaşımların ısıtılıp soğutulması ile ve kimyasal bileşimlerini stabil tutarak alaşımların mevcut mekanik özelliklerinin geliştirilmesini sağlayan işlemler olarak adlandırılmaktadır [33,34].

2.8.1. Alüminyum Alaşımları İçin Isıl İşlem (Temper/Kondisyon) Göstergeleri

Döküm veya şekillendirme ile elde edilen alüminyum alaşımları ve alüminyumun ısıtılma koşulları, eklenen bir ya da daha fazla harfle tanımlanır.

Uygulana ısıtılma işlemler aşağıdaki karakterlerle temsil edilir [35].

F: İmalattan sonraki hali (üretildiği gibi) temsil eder. Bu halde sertliğini veya mukavemetini değiştirmek için herhangi bir ilave işlem yapılmadan, üretimden sonra fiziksel yapıya atıfta bulunur. Oluşturulan alüminyum alaşımlarının, mekanik özelliklerinin garantisizdir. Döküm durumu için, örneğin 43-F kullanılır.

O: Tavlanmış, yeniden kristalize olmuş hali temsil eder. Oluşturulabilen alüminyum alaşımlarının en yumuşak şeklidir.

H: Genellikle yassı ürünler için kullanılır (sac/plaka). Soğuk şekillendirmeye sonucunda (yeniden kristalleşme sıcaklığının altında plastik şekillendirme) oluşabilecek alüminyum alaşımlarının mukavemetindeki ve sertliğindeki artış ve kısmi bir yumuşama elde etmek için ilave ısıtılma işlemi yapılarak yapılmadığı anlamına gelir [35]. H'den sonra genellikle iki veya daha fazla sayı vardır. İlk sayı ana işlemlere aittir. Bu sayılar, plastik şekillendirme sınırları içindeki son fiziksel özellikleri göstermektedir. Bu sayıların özellikleri aşağıdaki gibidir:

H1: Deformasyon sertleşmesini ifade eder. İkinci sayı soğuk işlemi ifade eder. Örneğin; 8 sayısı mevcut en sert hali temsil eder ve H18 şeklinde gösterilir. En yumuşak ile en sert arasındaki orta sertlik H14 olarak gösterilir. Benzer şekilde, çeyrek

sertlik de H12 ile ifade edilir [35]. Üçüncü sayı, genellikle farklı özellikleri belirtmek için kullanılmaktadır. Örneğin; H14 ve H141 aynı minimum özellikleri sağlar, ancak maksimum değerler standart değerlere daha yakındır. İkinci hane (9) kullanıldığında, üçüncü hane olsa da olmasa da çok sert özellikler belirlenir [35].

H2: Plastik şekillendirme sonrası kısmi tavlama anlamına gelir. Alaşımın plastik şekillendirilmesinin belirli bir mukavemet ve sertlik sağlamasından sonra, bu değerleri kısmen tavlama yoluyla istenen sınırlara düşürmek anlamına gelir. Bu, ilk haneyi 2 olarak yazarak gösterilir. İstenen kalıcı sertlik (H1) ve mukavemet, ikinci hane ile gösterilir. Örneğin: H24 ise yarı sert, H28 tamamen sert anlamına gelir. Oda sıcaklığında yaşlanmayı yumuşatmayı sağlayan alaşımların H2 durumu, H3' ün fiziksel özelliğine eşittir. Diğer alaşımlar söz konusu olduğunda H2 durumu H1' in fiziksel özelliklerine yaklaşık olarak eşittir, ancak uzama katsayısı biraz daha yüksektir.

H3: Plastik şekillendirme ve stabilize edilmiş durumu. Magnezyum içeren alüminyum alaşımları, şekillendirme özelliklerini geliştirirken, mukavemetlerini hafifçe azaltmak için düşük sıcaklıklarda ısıtılarak stabilize edilir. Bu yapılmazsa değişiklik oda sıcaklığında çok uzun sürede gerçekleşir. Bu, (H)'den sonraki üçüncü hane ile gösterilir. Plastik şekillendirme de (H)'den sonraki iki veya ilk rakam ile gösterilir [35].

W: Solüsyona alma ısıl işlemi uygulandıktan sonra kalıcı olmayan yapıyı ifade etmektedir. Bu durum yaşlanma süresi verilen doğal yaşlanma ile belirtilmiştir. Örneğin, 7075 W (2 ay), 2024 W (1/2 saat) vb.

I: H, O, F dışında, yapının dengelenmesini sağlamak için ısıl işlem uygulamalarını belirtir. Bu harf, plastik şekillendirme uygulanmış olsun veya olmasın, yapının dengelenmesi için uygulanacak olan ısıl işleme atıfta bulunmaktadır. T harfinden sonra, 9'dan 2'ye kadar rakam eklenebilmektedir. Belirlenen rakamlar uygulanacak ana işlemleri göstermektedir. 6061-T6 ele alındığında, söz konusu alaşımın ana işlemine ek olarak, farklı özellikler sağlamak için ayrı işlemler uygulamak istendiğinde ilave işlemler eklenir. Yani; 6061-T62'de ki gibi [35].

T: Isıl işlemle elde edilen temperleri ifade etmektedir. Farklı ısıl işlem tipleri, aşağıdaki harf ve sayı göstergeleri ile belirtilmiştir.

T1: Sıcak işlem gördükten sonra soğutulur ve ardından doğal yaşlanma ile stabilize edilir.

T2: Sıcak işlem gördükten sonra soğutulur, soğuk işlem yapılır ve doğal yaşlanma ile stabilize edilir.

T3: Çözeltiye alma ısıl işlemine tabi tutulur, soğuk işlem yapılır ve doğal yaşlanma ile stabilize edilir.

T4: Çözeltiye alma ısıl işlemi görür, yapay yaşlanmayla sertleştirilmiştir.

T5: Sıcak işlem gördükten sonra soğutulur ve suni yaşlandırmayla sertleştirilmiştir.

T6: Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanır ve suni yaşlanmayla sertleştirilmiştir.

T7: Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanır ve aşırı yaşlanmaya maruz bırakılır.

T8: Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanır, soğuk işlem ve suni yaşlandırmaya tabi tutulur.

T9: Çözeltiye alma ısıl işlemi uygulanır, suni yaşlandırma uygulanır ve soğuk işleme tabi tutulur.

T10: Sıcak işlem ardından soğutulur ve suni yaşlandırma işlemine tabi tutulur [35].

2.8.2. Alüminyum Alaşımlarının Tavlama

Mekanik olarak elde edilen işlenmiş alüminyum alaşımlarının birçok imalat işleminden sonra tavlama işleminin uygulanması gerekir. Tavlama, soğuk deformasyonun bir sonucu olarak sertleştirilmiş malzemeden sertliğini gidermek için

kullanılır. Yapıda bulunan tanelerin yeniden kristalleşmesini sağlamak için, alaşımın erimesi ve çökelme ısıl işlem sıcaklıkları arasında bir dereceye kadar ısıtılması için tavlama işlemi gerekmektedir [36].

Bu işlem, yaşlandırma sertleşmesinin sertleştirme etkilerini ortadan kaldırır. Metalin soğuk işlenmesi ayrıca çekme mukavemetini ve sertliğini artırır. Ancak sürekliliğini azaltır. Metalin soğuk işlenmesine devam etmek için tavlama işlemi uygulanarak metal yumuşatılır.

Alaşım tavlama süresi ısıl işlemde önemlidir. Örneğin, yeniden kristalleştirme işleminde, eğer alaşım gerekli sıcaklık ve zamanda tutulmazsa, yeniden oluşturulan kristallerin şeklini ve özelliklerini tamamen değiştirmezler. Bunu başarmak için, alaşımı belirli bir süre ve sıcaklıkta tutmak gerekir. Ek olarak, tavlama işlemi uygulanmış alaşımın kenarları ve ince parçaları hızlı tavlama ile bozulmaması için sıcaklığı kademeli olarak arttırmak gerekir [36].

2.8.3. Gerilme Giderme Tavlama

Gerilme giderme tavlama işlemi alüminyum ve alaşımlarında oluşan iç gerilimler ortadan kaldırılır ve tane büyümesinin önüne geçilir. Bu arada, malzemenin çekme mukavemetinde hafif bir azalma olur ve süneklik artar.

Tavlamanın temel amacı gerilimin etkisini ortadan kaldırmaktır. Malzeme $340 \pm 8^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılır ve daha sonra oda sıcaklığına soğutulur. Tane büyümesini ve oksidasyonu önlemek için, sıcaklık 413°C 'nin üzerine çıkarılmamalıdır. Tane büyümesini önlemek için hızlı ısıtma yapılır. Soğutma sırasında kısmi erimeyi ve oluşabilecek bozulmaları önlemek için, havada ya da fırında yavaş soğutma yapılmalıdır [37].

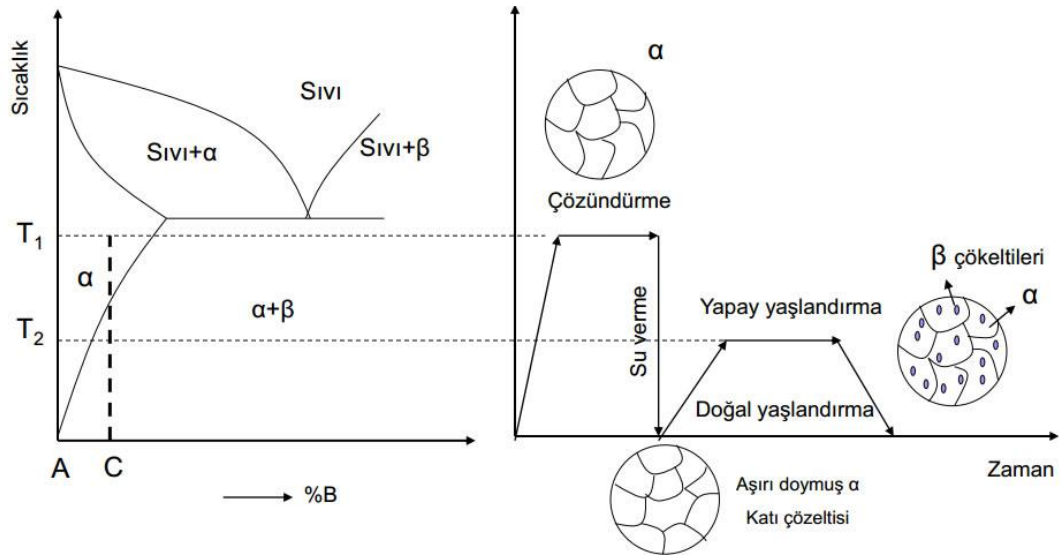
2.8.4. Homojenleştirme

Elde edilen külçe homojenleştirme adı verilen özel bir ön ısıtma tekniği ile homojenleştirilebilir. Bu amaçla, malzeme alüminyum alaşımlarındaki elementlerin erime sıcaklıklarının hemen altında ısıtılır ve katı difüzyon oluşana kadar uzun süre

tutulur. Belirlenen sıcaklık değeri 480-540°C arasındır. Alaşım içerisinde elementlerin homojen dağılması homojenleştirme tavı ile sağlanır [37].

2.8.4. Yaşlandırma Isıl İşlemi

Aşırı doymuş bir katı fazdan sıcaklık ve zaman etkisi ile yeni bir fazın oluşması olayına “yaşlanma olayı” denir. Yaşlandırma işlemi, alaşımı çözeltiliye alma, su verme (suda soğutma) ve çöktürme süreçlerinden oluşur. Yaşlandırma sonrası alaşımın dayanımındaki ve sertliğindeki artış, ikinci faz çöktürmelerinin kristal içi kaymaları ve kesme düzlemlerini kilitlemesiyle oluşur [37].



Şekil 2.12. Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman diyagramı [38].

2.8.4.1. Çözeltiliye Alma İşlemi

Çözeltiliye alma işleminde alaşım solüdü eğrisinin altındaki bir sıcaklığa çıkartılır ve bu sıcaklıkta ikincil fazların çözünmesi için yeterli bir süre bekletilmesi ile gerçekleştirilir. Çözeltiliye alma ısıl işleminden sonra alaşım hızlı bir şekilde soğutulur. Kesitlere ve alaşıma bağlı olarak, çözeltiliye alma işlemi sırasında bozulmayı azaltmak için farklı soğutma yöntemleri kullanılabilir [39].

2.8.4.2. Su Verme İşlemi

Çözünür elementlerin katı eriyiğe geçtikten sonra tekrar çökmesini önlemek veya geciktirmek için malzemeye su verilmesi gerekir. Üç çeşit su verme yöntemi vardır. Bu üç yöntem, istenen özelliklere ve kullanım kolaylığına göre kullanılır [40].

Soğuk Suda Su Verme

Alaşımın soğuk su banyolarında su ile beslenir. Sıcaklık değişiminin 100°C'yi geçmesini önlemek için yeterli miktarda su tutulmamalıdır. Bu şekilde su verme yöntemi çok etkilidir.

Sıcak Suda Su Verme

Büyük ve kalın kesitli dökümler bile kaynar su ile beslenir. Bu çeşit su verme, bozulmayı en aza indirir ve eşit olmayan sıcaklık dağılımının neden olduğu çatlama riskini önler. Su vermede kullanılan suyun ısı, malzemenin korozyon direncini büyük ölçüde etkiler. Dövme alaşımları için bu tip bir su verme şekli kullanılır. İnce kesit parçaların korozyon direnci kalın parçalara göre daha kritiktir [40].

Püskürterek Su Verme

Geniş yüzeyli parçalara ve levhalara yüksek hızlı su püskürtülerek su verme uygulanır. Bu su verme tipi, bozulmayı azaltır ve su verme nedeniyle çatlamanın olmasına engel olur ve 2024 alaşımları için korozyon direncini azalttığı için kullanılamaz [40].

2.8.4.3. Suni Yaşlandırma

Su verme ısıl işleminden sonra aşırı doymuş yapı içerisinde ikinci fazın çökmesi için alaşım belirli bir sıcaklığa ısıtılır ve bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletmek suretiyle ikinci fazın çökmesi sağlanır. Yaşlandırma ısıl işlemi ile alaşımların dayanımını ve sertliği artırılır [40].

2.9. TANE İNCELTME

1930'ların başında eriyiğe ilk titanyum eklenerek alüminyumda tane inceltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Malzemenin dökülebilirliği önemli olduğundan ve dökümün iç yapısındaki değişiklik dikkat çekici olduğu için, titanyumla yapılan tane inceltme yöntemi yaygınlaşmıştır. Al-Ti-B ve Al-Ti master alaşımları uzun yıllardır Al-Si alaşımlarında kullanılmasına rağmen, Si-B ve Al-B master alaşımları son zamanlarda yoğunlaşmıştır. Tane inceltme ile elde edilen değişim Şekil 2.13'te verilmiştir [41,42].



Şekil 2.13. 3004 alaşımlı dökümde tane yapısı (üstte tane inceltici eklenmemiş, altta 5Ti-B olarak 10 ppm seviyesinde B eklenmiş) [41].

Mekanik özellikler, parçacıkların boyutundan doğrudan etkilenir. Kaba taneli yapıların mekanik özellikleri düşükken, ince taneli yapıların mekanik özellikleri daha yüksektir. Tane inceltmesi hızlı soğutma ile sağlanabilir, ancak yalnızca hızlı soğutma mekanik özellikleri en üst düzeye çıkarmaz. Alüminyum-silisyum alaşımlarında çeşitli master alaşımlar kullanılarak etkili bir tane inceltme işlemi gerçekleştirilebilir.

Dökümlerin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olan tane inceltme; ikincil fazların dağılımını değiştirir. Şekil 2.13'e bakıldığında, sadece soğutma bölgesine yakın olan tanelerin eş eksen olduğu, diğer bölgelerde tüy gibi uzun büyük tanelerden oluştuğu görülmektedir. Oluşan bütün kırılgan intermetalik fazlar ve gözeneklilik bu büyük taneler arasında kaldığından, bu malzemenin normal uzaması düşük olacaktır. Alt kısımda olan tane inceltmiş döküm daha iyi bir içyapıya sahiptir.

Tane büyüklüğü ufak olduğundan dolayı mekanik özellikler malzeme daha dayanıklıdır ve izotropiktir [41].

Tane inceltme işlemi döküm alaşımlarında gözeneklilik miktarını ve gözeneklerin boyutunu azaltma eğilimindedir. Bu nedenle, tane inceltme işlemi mekanik özellik değerlerini, özellikle yorulma dayanımını artırır. Bu sebeple, çoğu alüminyum alaşımlı dökümlerde tane inceltici kullanılır [41].

İnce eş eksenli α -Al dendritleri, tane inceltme işlemiyle elde edilebilir ve Al-Si döküm alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştirebilir [43].

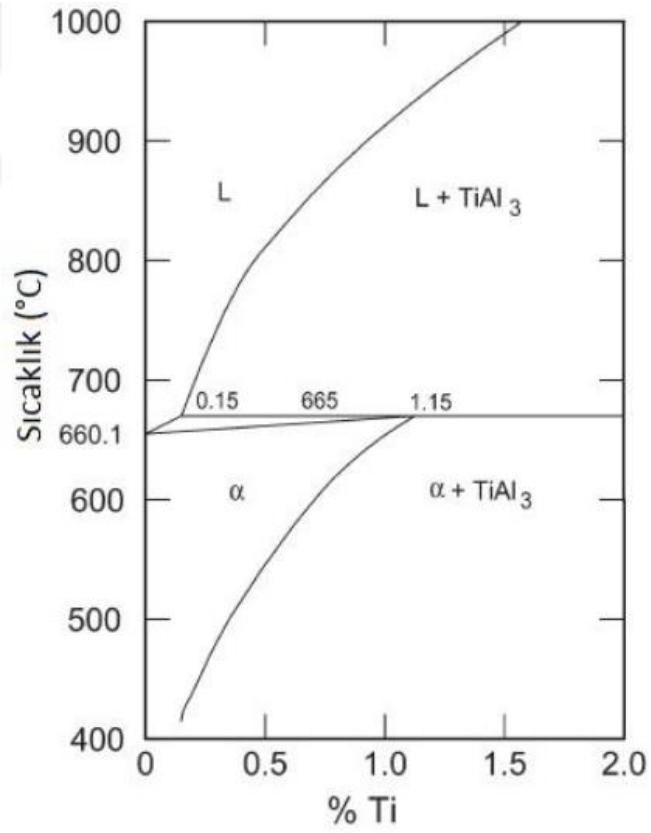
2.9.1. Tane İnceltici Olarak Titanyum Kullanımı

Al-Ti faz diyagramındaki peritektik reaksiyona dayanan peritektik teoriyi (Denklem 2.1), Crossley ve Mondolfo önerdi ve teori, alüminyum alaşımlarına titanyum ilavesi ile tane inceltme işleminin açıklanmasında başlıca teori olarak kabul edildi. Titanyumun tane inceltme düzeneğini anlamak için, Al-Ti faz diyagramına bakmak gerekir (Şekil 2.14). Dikkate alınması gereken en önemli yer, titanyum ilavesinin alüminyumun erime noktasını arttırmasıdır. 660°C 'de eriyen saf alüminyum, titanyum ilavesi ile bu değeri 665°C 'ye yükseltir. %1,2 Ti peritektik reaksiyon içeren Al-Ti bileşimi 665°C 'de gerçekleşir. Titanyum takviyesinin bu etkisi, alüminyum oluşan çekirdeklerin büyümesi ve tanelerin çekirdeklenmesi için çok önemlidir. TiAl_3 intermetalik bileşiği etrafındaki alüminyum çekirdeklenme, şekle bakıldığında görülmektedir [41,42,44,45,46].

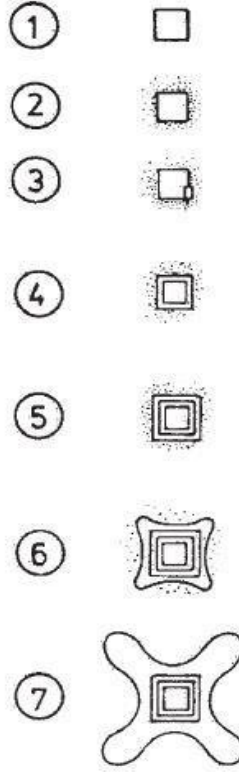


%5-10 titanyum içeren alüminyum master alaşımlarla, titanyum ilaveleri yapılır. Master alaşım eriyiği alüminyuma katıldığında, dökümden birkaç dakika önce eriyik içine milyonlarca mikroskobik parçacık yayılır. Bu parçacıklardan bir tanesinin etrafındaki çekirdeklenme, Şekil 2.16'da gösterilmiştir. TiAl_3 kristali, sıvı alüminyum ile temasında çözünmeye başlar. Bu olay, parçacık yüzeyindeki sıvı metalin, Şekil 2.15'in 2. adımında gösterildiği gibi titanyumla zenginleştirildiği anlamına

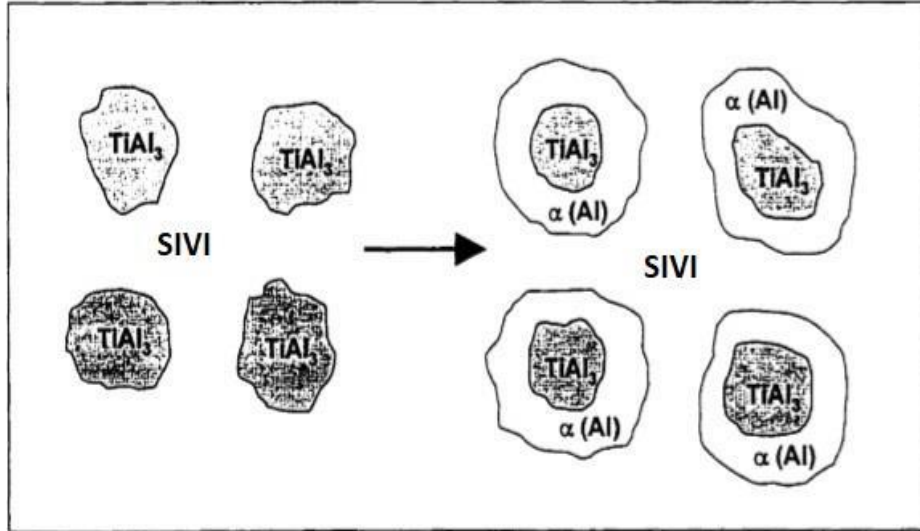
gelmektedir. Al-Ti faz diyagramına göre, $TiAl_3$ ile temas eden titanyumca zengin sıvı metal erime noktasının üzerindeki sıcaklıkta katılaşmaya başlayabilir. Bu sebeple, oluşan ilk çekirdekler, Şekil 2.14'ün 3. adımında gösterildiği üzere $TiAl_3$ partikülünde oluşacaktır. Elde edilen alüminyum kristal daha sonra $TiAl_3$ 'te büyür (4. ve 5. adımlar). Bu işlemde, çözünür titanyum tüketmek çekirdek büyümesini durdurur. Şekil 2.15'te gösterildiği üzere, metal daha fazla soğutulduğunda, dendritik büyüme başlar (6) ve katılaşma ilerledikçe devam eder (7) [41,45].



Şekil 2.14. Al-Ti faz diyagramı [41].



Şekil 2.15. $TiAl_3$ bileşiği üzerinde peritektik reaksiyon ile Al çekirdeklenmesi [41,42].

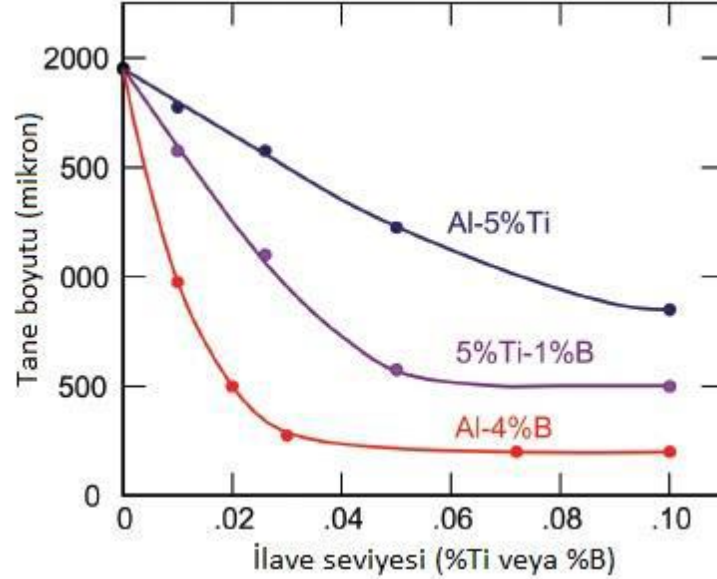


Şekil 2.16. $TiAl_3$ bileşiği üzerinde peritektik reaksiyon ile Al çekirdeklenmesi [41,42].

2.9.2. Tane İnceltici Olarak Bor Kullanımı

1981'de Chinese Foundrymen's Association Dergisi'nde Lu, Kung ve Wang, A356 alaşımı içeriği olan tane inceltme üzerine bir çalışma yayınladı. Bu çalışmanın

sonuçları, Şekil 2.17'de gösterilmiştir. A356 alaşımına çalışmada Al-4% B, Al-5% Ti ve Al-5% Ti-1% B eklenmiş ve sonuçlar açıkça bor içeren katkıların tane inceltmede daha etkili olduğunu göstermiştir [41].



Şekil 2.17. A356 alaşımında 3 farklı tane incelticinin tane boyutuna etkisi [41].

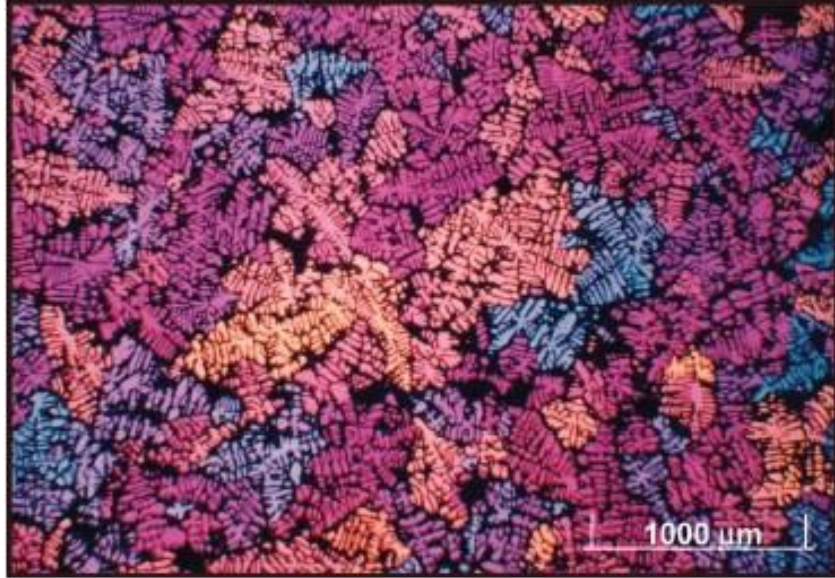
2.9.3. Tane İnceltici Olarak Titanyum ve Bor Kullanımı

Al-Ti master alaşımına bor ilavesinin alüminyum alaşımlarda, tane inceltme işlemini iyileştirdiği bilinmektedir. 1950'lerin başında borun rolü laboratuvarında çalışıldı. Bu çalışma, titanyum ve borun çok daha iyi tane inceltme sağladığı, fakat dökümhanelerde bor tuzlarının kullanılmasının tercih edilmediğini, çünkü oldukça karmaşık bir işlem olduğunu göstermiştir. Kawecki 1960'ların sonlarında, erimiş alüminyumla reaksiyona giren ve bor içeren K_2TiF_6 ve KBF_4 karışımından master alaşımların nasıl üretileceğini keşfetti. Bu bulgunun ilk ürünü Al-Ti-B çubuğuydu. Bor içeren yeni tane inceltici maddeler çok daha ekonomik ve güçlü olduğu için, alüminyum alaşımlarında daha önce kullanılan Al-Ti ürünlerinin çoğu, Al-Ti-B master alaşımlarıyla değiştirildi ve halen kullanılan ticari uygulamaların temelidir. 1970'lerin başında ilk modern ticari Al-Ti-B alaşımı geliştirilmiştir. Al-Ti-B alaşımında Ti, TiB_2 olarak bulunur ve TiB_2 alüminyumda düşük bir çözünürlüğe sahiptir [41]. Düşük çözünürlüğün yanı sıra, borürler, döküm alaşımlarında oldukça etkili çekirdekleştirici maddelerdir [41]. Alüminyum alaşımlarda Al-Ti-B master alaşımlarının tane inceltmesiyle ilgili birçok

teori geliştirilmiştir. En çok üzerinde durulan teoriler Aşırı Çekirdeklenme teorisi ve Peritektik Hulk teorisidir ama iki kuram da henüz ispatlanmış değildir [42].

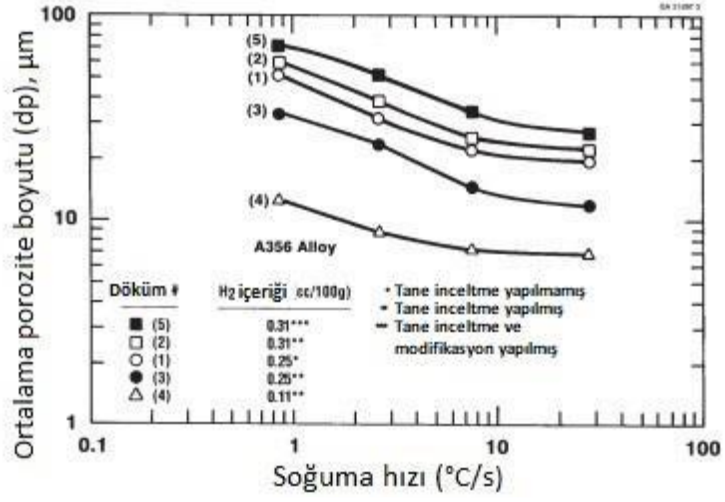
2.10. TANE İNCELTME İŞLEMİNİN AVANTAJLARI

Tane inceltme, döküm alaşım gözeneklerinde hem gözeneklerin boyutunu hem de gözeneklilik miktarını küçültme yönelimindedir. Bu, bir dökümde yapının dikkatlice incelenmesiyle görülebilir. A356 alaşımında alüminyum tanelerinin büyümesi ve katılaşma işleminin ilk %50-60'lık kısmında gerçekleşir (Şekil 2.18). Al-Si ötektik fazı daha sonra alüminyum dentritlerin etrafında oluşur. Gaz gözenekliliği tipik olarak katılaşma işleminin son safhalarında meydana gelir. Şekil 2.18'de gözenekler dendritik taneler arasında siyah alanlar olarak görünür. Tane büyüklüğü azaldığında, gözenek oranı ve boyutu da azalır [41].



Şekil 2.18. A356 döküm alaşımının mikro yapısı [41].

Şekil 2.19'da yönlü katılaşmış A356 alaşım dökümlerinde ölçülen gözeneklilik boyutunun grafiğini göstermektedir. Grafiğin 1. ve 3. eğrileri karşılaştırıldığında, tane inceltmenin poroziteyi düşürdüğü görülmektedir. Bunun bir sonucu olarak alaşımın yorulma ömrü artar [41].



Şekil 2.19. A356 alaşımında soğuma hızı-ortalama porozite boyutu grafiği [41].

Tane inceltmenin bir diğer önemli faydası da dökümdeki büzülme ve beslemedeki iyileştirmenin azalmasıdır. Bu sonuç ilk kez Guocai Chai tarafından bulunmuştur [41].

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. ALAŞIMLARIN ÜRETİMİ

Bu çalışmada başlangıç malzemesi olarak ETİAL-140 Al-Si alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşıma üç farklı (0,5; 1,0; 2,0) oranda tane inceltici olarak Al-5Ti-1B master alaşımı ilave edilmiştir. Başlangıç malzemesi kimyasal bileşimi Çizelge 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3’te sırasıyla ergitme fırını, kokil kalıp ve dökülen alaşımlar gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. ETİAL-140 temel alaşımın kimyasal analizi.

ETİAL-140	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn	Al
	0,6	12	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,15	0,1	0,05	86,3

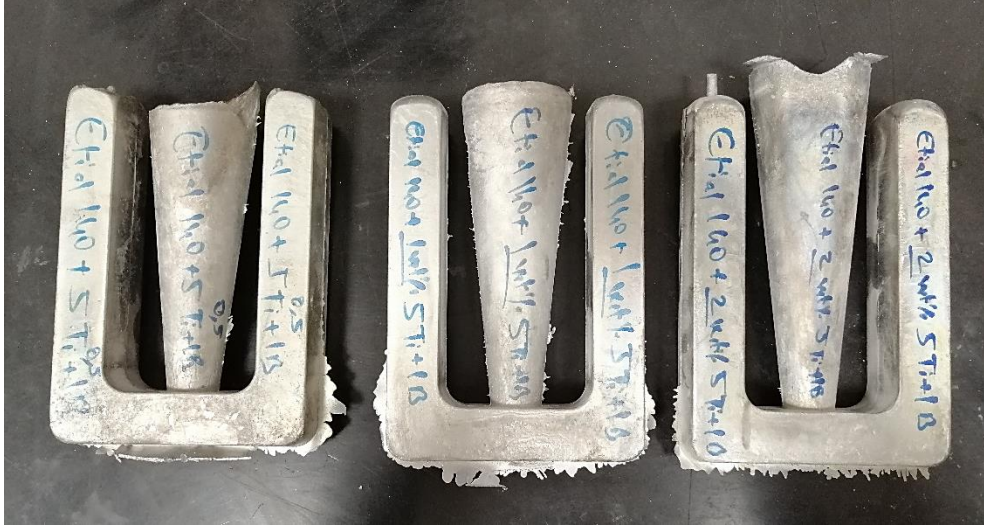
Döküm sonrası alaşımlara homojenleştirme ısıl işlemi uygulanmıştır. Homojenleştirme ısıl işleminden sonra her alaşımdan birer örnek alınarak sıcak haddeme işlemine tabi tutulmuştur. Sıcak haddeme öncesi ve sonrasında alaşımların sertlikleri, çekme özellikleri, aşınma özellikleri ve mikroyapıları deneysel olarak incelenmiştir.



Şekil 3.1. Yer çekimine karşı döküm.



Şekil 3.2. Kokil kalıp.



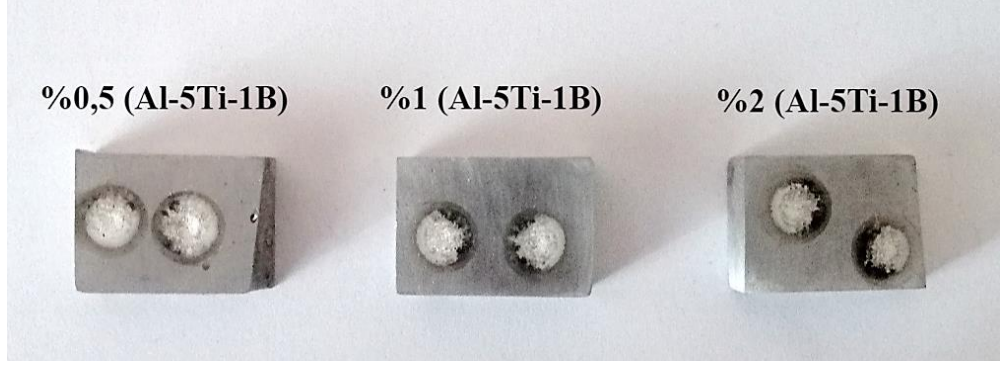
Şekil 3.3. Al-Si12 alaşımının farklı oranlarda Al-5Ti-1B ilavesi ile hazırlanmış numuneler.

3.2. OPTİK EMİSYON SPEKTROMETRE İLE KİMYASAL ANALİZ

Homojenleştirme ısıl işleminden sonra alaşımlardan birer örnek alınarak kimyasal bileşimleri optik emisyon spektrometresi ile belirlenmiştir. Şekil 3.4'te spektral analiz cihazının görüntüsü ve Şekil 3.5'te analiz edilmiş numunelerin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.4. GNR marka S3 MiniLAB 300 Optik emisyon spektrometresi.



Şekil 3.5. Optik emisyon spektrometresiyle analiz edilen numuneler.

3.3. XRD ANALİZLERİ

X-Işını kırınım (XRD) ölçümlerinde Rigaku Ultima IV Difraktometre kullanılmıştır. Ölçümler 40 kV gerilim ve 20 mA akım ile oluşturulan Cu-K α X-ışını radyasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin tarama aralığı 10° ile 90° ve tarama hızı 3 derece/dk.'dır. XRD grafiklerinde görülen fazları tanımlamak için ICDD veri tabanı kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Rigaku Ultima IV Difraktometre.

3.4. MİKROYAPI ANALİZLERİ

Mikroyapı analizi CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM marka SEM cihazı ile yapıldı. EDS dedektörü kullanılarak alaşımların yüzeyindeki alan, nokta ve çizgilerden sırasıyla haritalama, noktasal ve çizgisel analizler yapılarak elementlerin dağılımını incelenmiştir.



Şekil 3.7. CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM SEM cihazı.

3.5. HOMOJENLEŞTİRME ISIL İŞLEMİ

Döküm sonrasında alaşımlarda mikrosegregasyonu gidermek ve alaşım elementlerinin yapı içerisinde homojen dağılımını sağlamak için homojenleştirme ısı işlemi uygulanmıştır. Homojenleştirme ısı işlemi tüm numuneler için aynı sıcaklık, aynı bekleme süresi ve soğutma ile gerçekleştirilmiştir. Tüm malzemeler 520°C'de 1 saat bekletildikten sonra ve fırında soğutulmuştur.



Şekil 3.8. Isıl işlem fırını.

3.6. HADDELEME

Şekil 3.10'da Al-5Ti-1B içeren alaşımların sıcak haddelenmesinde kullanılan Şekermak marka 200 mm merdane çapına sahip çift merdaneli haddeleme cihazı görüntüleri verilmiştir. Haddeleme işleminde ilk kalınlık 6,00 mm'dir, sonrasında işlem 0,6 mm azaltılarak devam etmiştir. Kullanılan devir sayısı 20 d/dk olup sıcak haddeleme 4 paso halinde yapılmıştır. Tüm numunelere toplamda %40 deformasyon uygulanmıştır (Çizelge 3.2).

Tüm numuneler ilk pasodan önce 400°C'ye ısıtılmış ardından bu sıcaklıkta 60 dakika bekletilmiştir. Pasolar arası numuneler 5'er dakika 400°C'de bekletilerek bir sonraki paso uygulanmıştır (Şekil 3.9).

Haddelemeden sonra alaşımların yüzeylerinde kırılma, çatlama ve benzeri kusur ve hatalar olmadığı gözlemlenmiştir. Sadece artan Ti ve B miktarlarına bağlı olarak haddelenen numunelerin kenarlarında az miktarda çatlamların meydana geldiği görülmektedir.

Çizelge 3.2. Hadde numunelerinin paso sonuçlarında aldıkları değerler.

Alaşımlar	Numune Kodu	1. paso	2. paso	3.paso	4.paso
%0,5 (Al-5Ti-1B)	1	1,84 ton	1,97 ton	1,99 ton	2,51 ton
	2	1,63 ton	1,93 ton	2,15 ton	2,57 ton
	3	1,89 ton	1,89 ton	2,42 ton	2,67 ton
%1 (Al-5Ti-1B)	4	1,86 ton	2,03 ton	2,10 ton	2,30 ton
	5	1,84 ton	2,00 ton	2,17 ton	2,38 ton
	6	2,00 ton	2,02 ton	2,03 ton	2,34 ton
%2 (Al-5Ti-1B)	7	1,86 ton	2,13 ton	2,11 ton	2,42 ton
	8	1,92 ton	1,96 ton	2,18 ton	2,28 ton
	9	1,89 ton	1,98 ton	2,19 ton	2,40 ton

Çizelge 3. 2' de verilen 1, 2 ve 3 değerleri %0,5 Al-5Ti-1B, 4, 5 ve 6 değerleri %1 Al-5Ti-1B, 7, 8 ve 9 değerleri %2 Al-5Ti-1B içeren numunelerdir.



Şekil 3.9. Sıcak hadde için ısıtılan numuneler.



Şekil 3.10. Şekermak haddeleme cihazı.

3.7. NUMUNE HAZIRLAMA

Homojenleştirme ısıl işleminden sonra tel erezyon ve diskatom kullanılarak yapılacak test ve analizler için (kimyasal analiz, sertlik, çekme, sıcak hadde, aşınma ve mikroyapı analizleri) dökümlerden numuneler çıkartılmıştır. Şekil 3.11’de tel erezyon yöntemiyle çıkartılmış bir çekme numunesi gösterilmiştir.



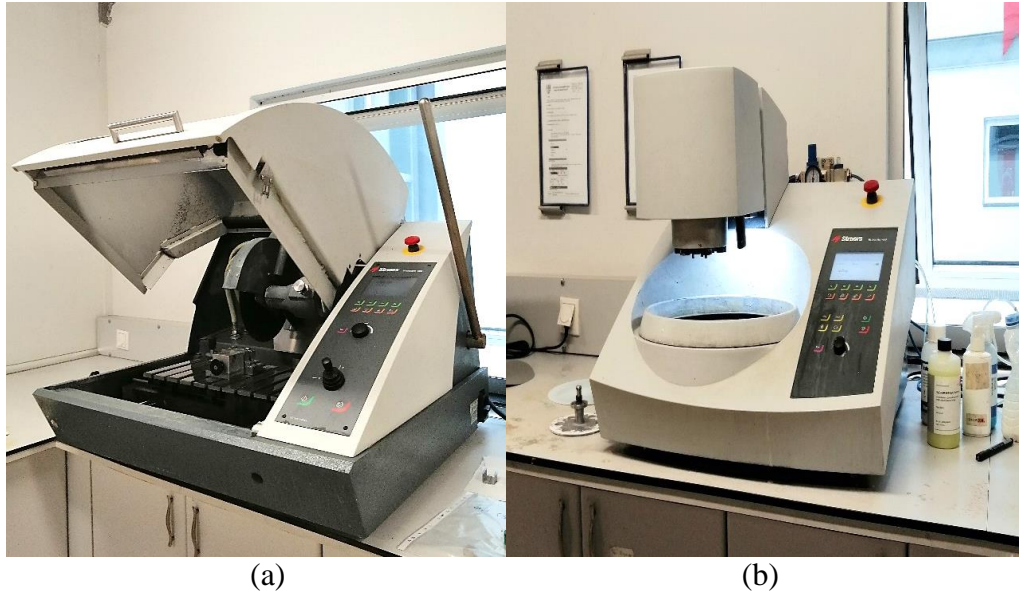
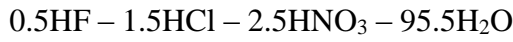
Şekil 3.11. Çekme numunesi.

Sertlik, aşınma ve mikroyapı analizleri için numunelere zımparalama-parlatma-dağlama işlemleri uygulanmıştır. Yüzey hazırlama işlemleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MARGEM)’nde cihazlarla gerçekleştirilmiştir.

Zımparalama işleminde, kaba yüzeyler sırasıyla 320-400-600-800-1200-2500 nolu zımparalar kullanılarak su takviyesiyle zımparalanmıştır. Zımpara geçişlerinde numune bir önceki zımparalama yönüne 90°'lik açıyla çevrilerek, bir önceki kademedeki çiziklerin kaybolması sağlanmıştır.

Parlatma keçeleri kullanılan parlatma işleminde, Alümina (Al_2O_3), Elmas, Fe_2O_3 , SiC, MgO vb. aşındırıcılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada alümina çözeltisi kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma sonrasında numune yüzeyi saf su ile yıkanıp alkol (etanol) ile kurutulmuştur.

Mikroyapıdaki fazların kontrastını artırmak için dağlama yapılmıştır. Dağlama işlemi Keller çözeltisiyle gerçekleştirilmiştir. Kullanılan keller çözeltisi formülasyonu aşağıdaki gibidir [47];



Şekil 3.12. Numuneleri hazırlanmakta kullanılan; a) Numune kesme cihazı ve b) Zımpara ve parlatma cihazı

3.8. SERTLİK DENEYİ

Deneyde, Brinell sertlik testi Q250 M Universal sertlik ölçüm cihazı kullanılarak uygulanmıştır. HBW 2,5 / 31,25 metoduyla her numuneye 15 saniye yük uygulayarak 3 adet ölçüm yapılmış ve ortalama sertlik değeri hesaplanmıştır. HBW 2.5 / 31.25 metodu, deneyde 2,5 mm çapında bilyenin kullanılması ile 306,5 N'luk güç uygulanan metot olarak belirtilir. Şekil 3.13'te kullanılan test cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Q250 M Universal sertlik ölçüm cihazı.

3.9. ÇEKME TESTİ DENEYİ

Çekme testi için hazırlanan numuneler, BESMAK üniversal çekme ve basma test cihazı ile bilgisayar kontrollü cihazda, oda sıcaklığında ve 2mm/dk hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.14. BESMAK üniversal çekme ve basma test cihazı.

3.10. AŞINMA TESTİ

Aşınma deneyi hem döner hem de ileri-geri hareket modülüne sahip UTS Tribometer T10/20 aşınma test cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Aşınma numunelerinin ölçüleri 10 mm uzunlukta ve 10 mm yükseklikte hazırlandı. Numuneler 120 mm/s. hızla oda sıcaklığında 5 N ve 15 N'luk iki farklı yük uygulanarak 500 m yol koşulları altında yapılmıştır.



Şekil 3.15. UTS Tribometer aşınma test cihazı.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. OPTİK EMİSYON SPEKTROMETRE İLE KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

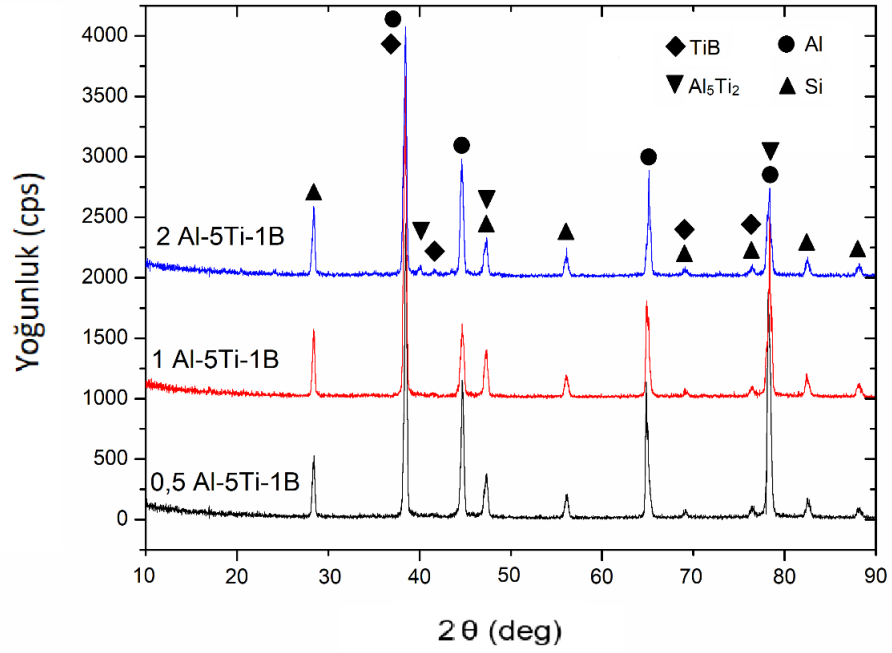
Optik emisyon spektrometresi ile yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre farklı oranlarda tane inceltici içeren alaşımların kompozisyonu ağırlık yüzdesi türünden Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Alaşımların kimyasal bileşimi (ağ. %).

Alaşım Elementleri	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn	Al	
% (Al-5Ti-1B) ilavesi	0,50	0,797	12,811	0,106	0,26	0,197	0,09	0,011	0,051	0,006	0,004	85,67
	1	0,944	13,694	0,099	0,281	0,235	0,094	0,013	0,067	0,008	0,005	84,56
	2	0,874	13,058	0,117	0,269	1,007	0,111	0,012	0,128	0,009	0,006	84,41

4.2. XRD ANALİZLERİ SONUÇLARI

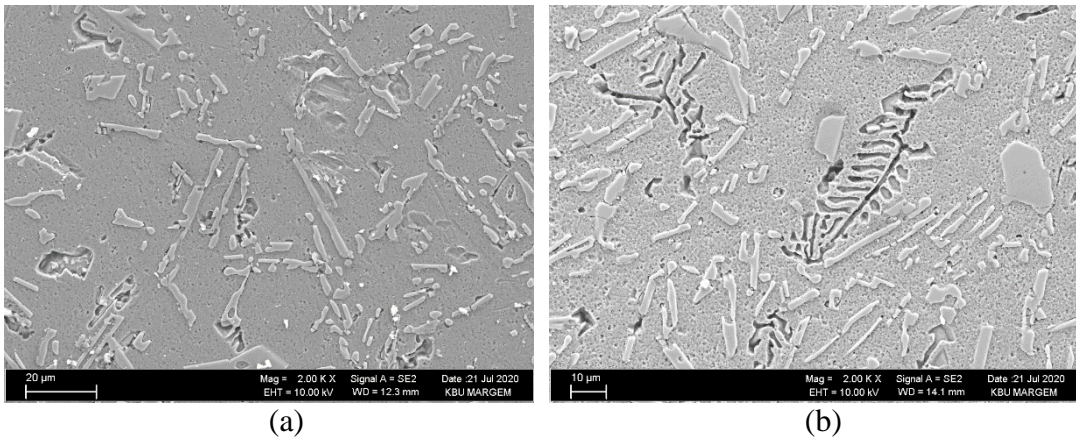
Homojenleştirme ısıl işleminden sonra alaşımlardan çıkarılan numunelerin içerdiği fazlar X-ışınları kırınımı metodu ile belirlenmiştir. Şekil 4.1’de alaşımların XRD grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Her üç alaşımda da temel fazların Al ve Si olduğu grafiklerden görülmektedir. Temel alaşıma katılan Ti-B içeren master alaşımın miktarı dikkate alındığında sadece yüksek oranda (%2) master alaşımı ilave edilen alaşımda TiB fazının oluştuğu tespit edilmiştir. Diğer alaşımlarda ise TiB faz gözlemlenememiştir. Bunun nedeni, %0,5 ve %1 master alaşımı içeren alaşımlarda TiB fazı oluşmamış olması veya düşük miktarda oluştuğu için X-ışınları kırınımı metodu ile tespit edilememiş olmasıdır.



Şekil 4.1. Alaşımların XRD grafikleri.

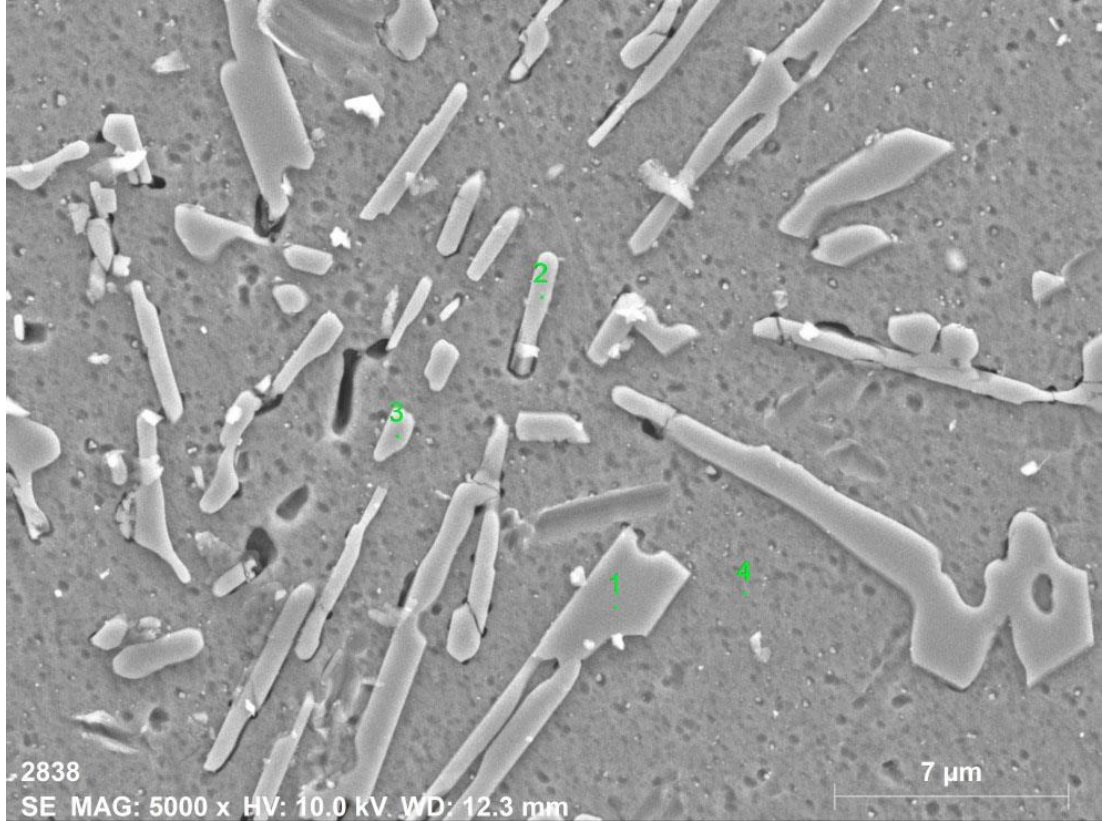
4.3. MİKROYAPI ANALİZLERİ SONUÇLARI

Sıcak haddeleme öncesi sonrasında SEM ile yapılan mikroyapı analizleri karşılaştırmalı olarak ve ayrıca sıcak haddeleme öncesi fazların kimyasal bileşimlerini ve elementlerin yapı içerisindeki dağılımlarını belirlemek için yapılan noktasal, çizgisel ve haritalama analiz sonuçları her bir alaşım için sırasıyla aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.2-4.25) verilmiştir. Genel olarak bütün mikroyapı görüntülerinde Al ve Si fazları gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası 2000X SEM görüntüsü.

%0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların haddeleme öncesi (a) ve haddeleme sonrası (b) SEM görüntüleri karşılaştırıldığında, Al matris içerisinde görülen silisyum fazının sıcak haddeleme işlemi sırasında kırıldığı ve haddeleme öncesine kıyasla yapı içerisinde daha homojen dağıldığı görülmektedir. Mikroyapı analizleri sonrasında EDS ile yapılan noktasal analizlerin kimyasal bileşikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.3. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların haddeleme öncesi noktasal EDS analizi.

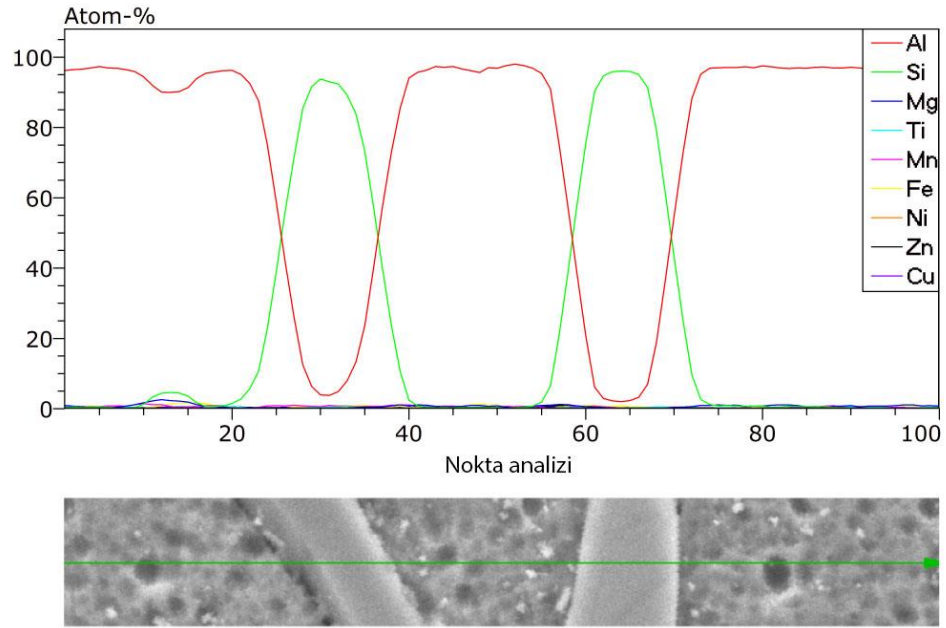
Çizelge 4.2. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların EDS analiz sonuçları.

Spektrum	Element (ağ. %)								
	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
1	0.33	2.35	96.25	0.02	0.00	0.09	0.33	0.31	0.32
2	0.65	35.40	63.12	0.01	0.00	0.00	0.26	0.31	0.24
3	0.51	28.7	69.72	0.00	0.06	0.06	0.33	0.31	0.32
4	1.20	97.39	0.20	0.01	0.09	0.00	0.30	0.36	0.45

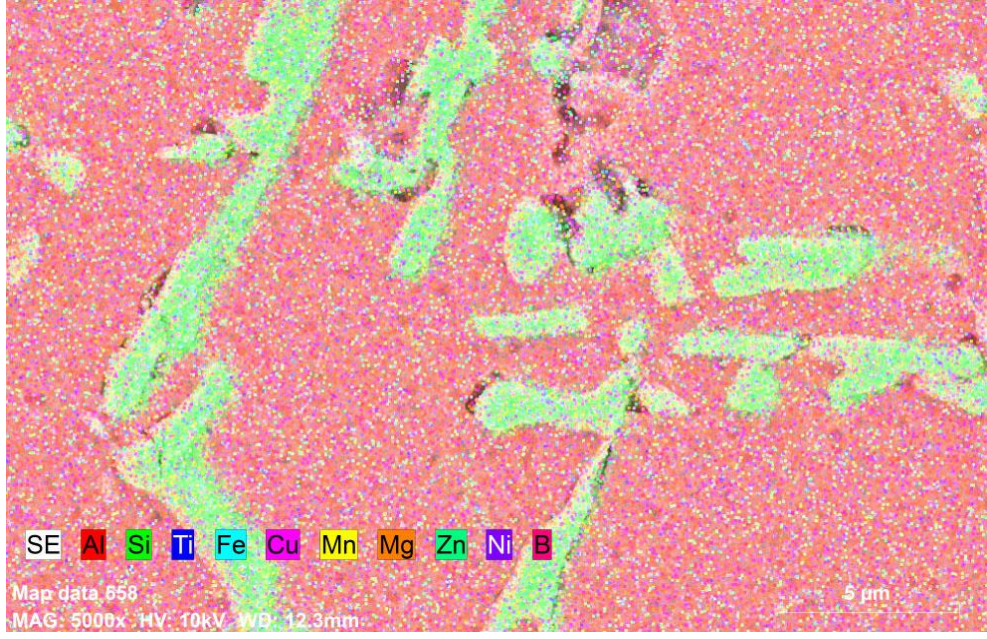
Çizelge 4.2’de verilen %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların noktasal kimyasal analizi incelendiğinde; 1, 2 ve 3 noktaları ile gösterilen fazların Si esaslı bir faz olduğu ve 4

numaralı fazın da Al matrise ait olduğu belirlenmiştir. Mg elementinin yapı içerisindeki dağılımı incelendiğinde Mg elementinin daha çok Al içerisinde çözüldüğü görülmüştür. Şekil 4.4'te verilen EDS çizgisel analiz incelendiğinde Si elementinin konsantrasyonunun matris boyunca sıfır seviyelerinde olduğu ve ikincil faz boyunca da %100'e yaklaştığı görülmektedir. Alüminyum ise Si ile zıt yönlü hareket ettiği, matris boyunca %100 seviyelerinde olduğu ve ikincil faz boyunca da sıfıra düştüğü görülmektedir. Bu da %0,5 Al-5Ti-1B master alaşımı içeren alaşımın temelde Al ve Si fazlarından oluştuğunu göstermektedir. Alaşımda bulunan düşük orandaki elementlerin ise daha çok matris içerisinde dağıldığı belirlenmiştir.

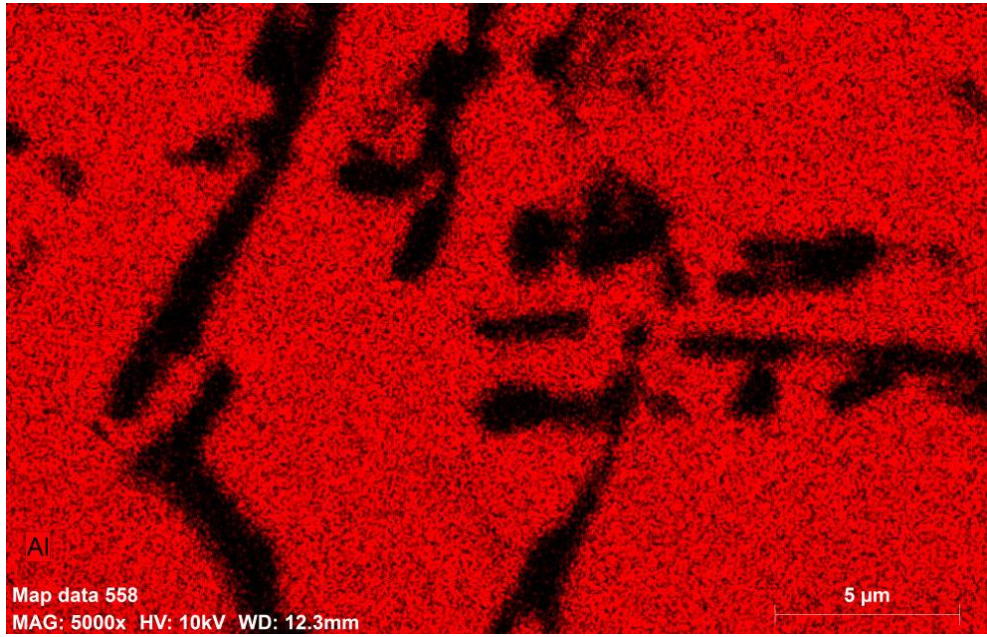
Şekil 4.6 ve 4.7'de verilen haritalama analizlerinde de alüminyumun matris içerisinde dağıldığı ve ikincil fazında silisyum elementinden oluştuğu net bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.8 ve 4.9'da verilen analizlerde titanyum ve bor elementlerinin daha Al matris içerisinde olmakla birlikte Si içerisinde de dağıldığı görülmektedir.



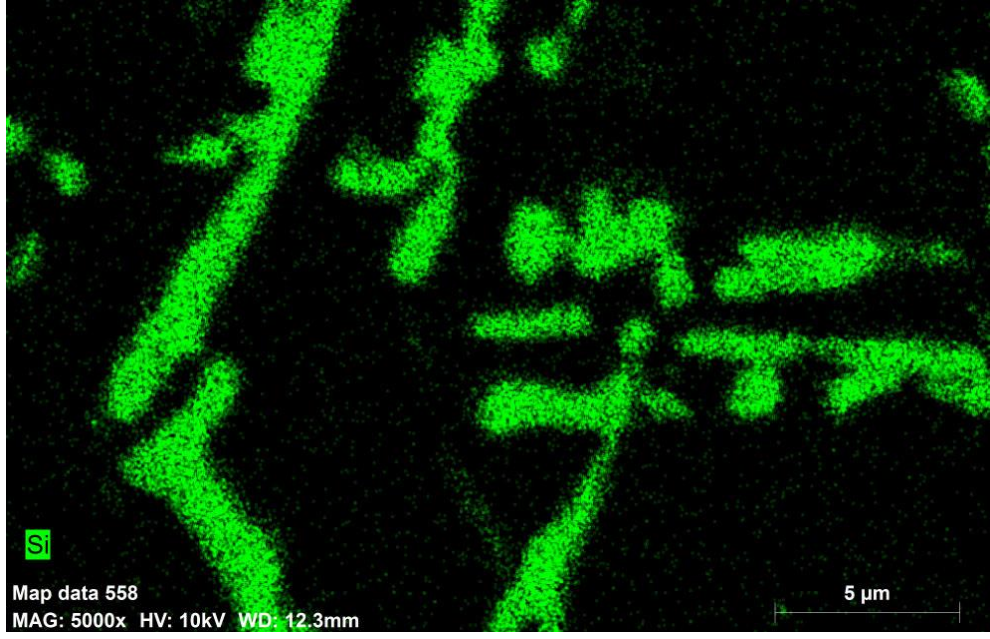
Şekil 4.4. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan çizgisel analizi.



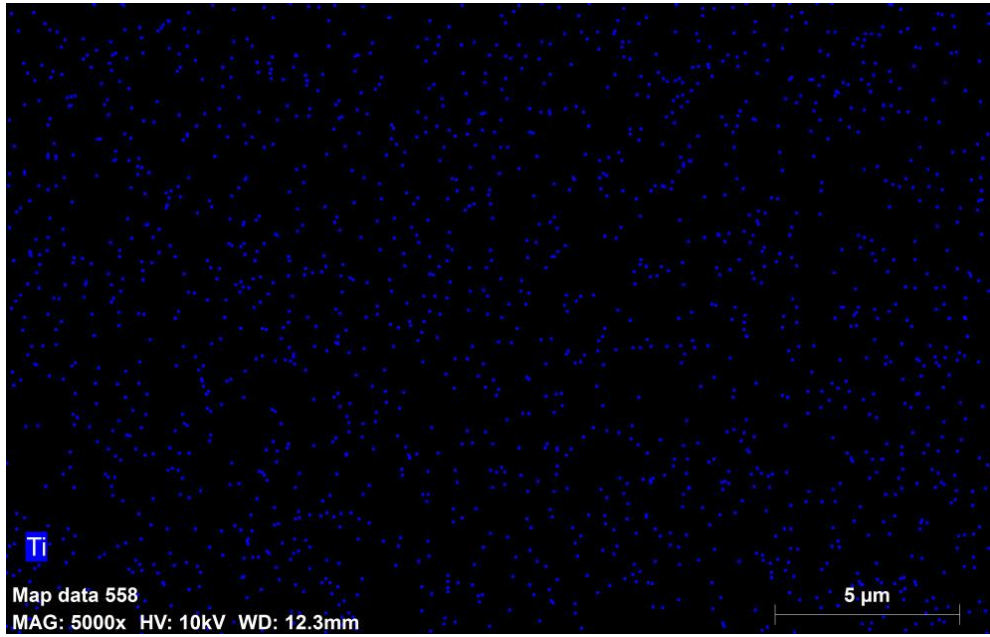
Şekil 4.5. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi.



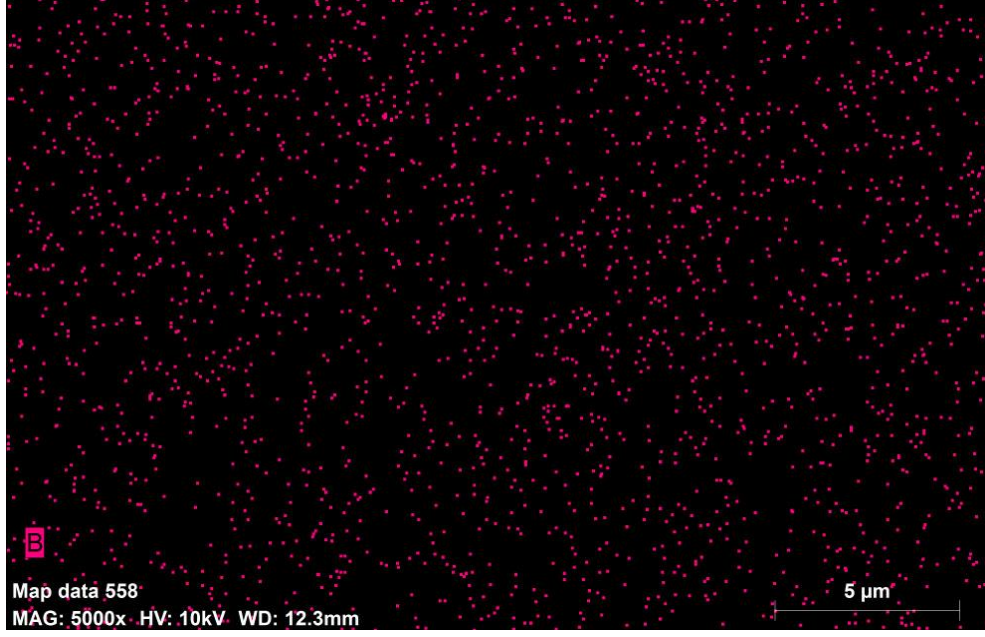
Şekil 4.6. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi (Al).



Şekil 4.7. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi (Si).

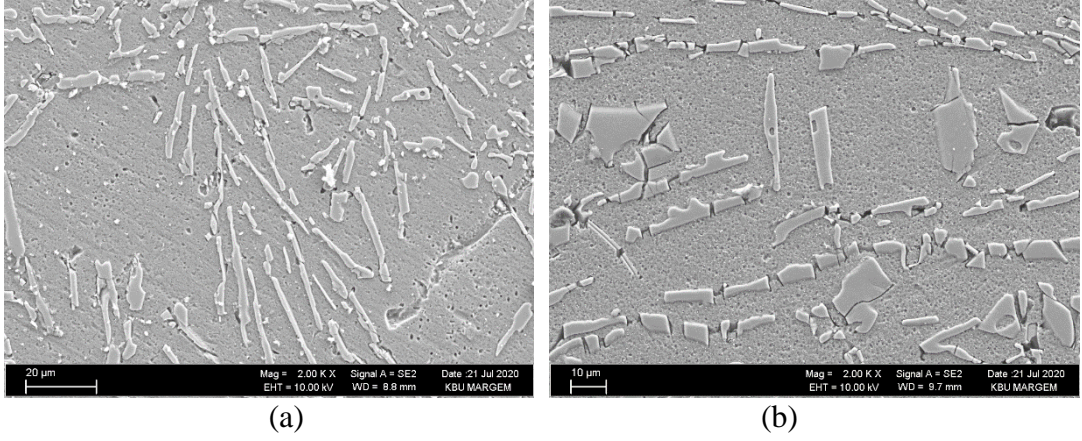


Şekil 4.8. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi (Ti).



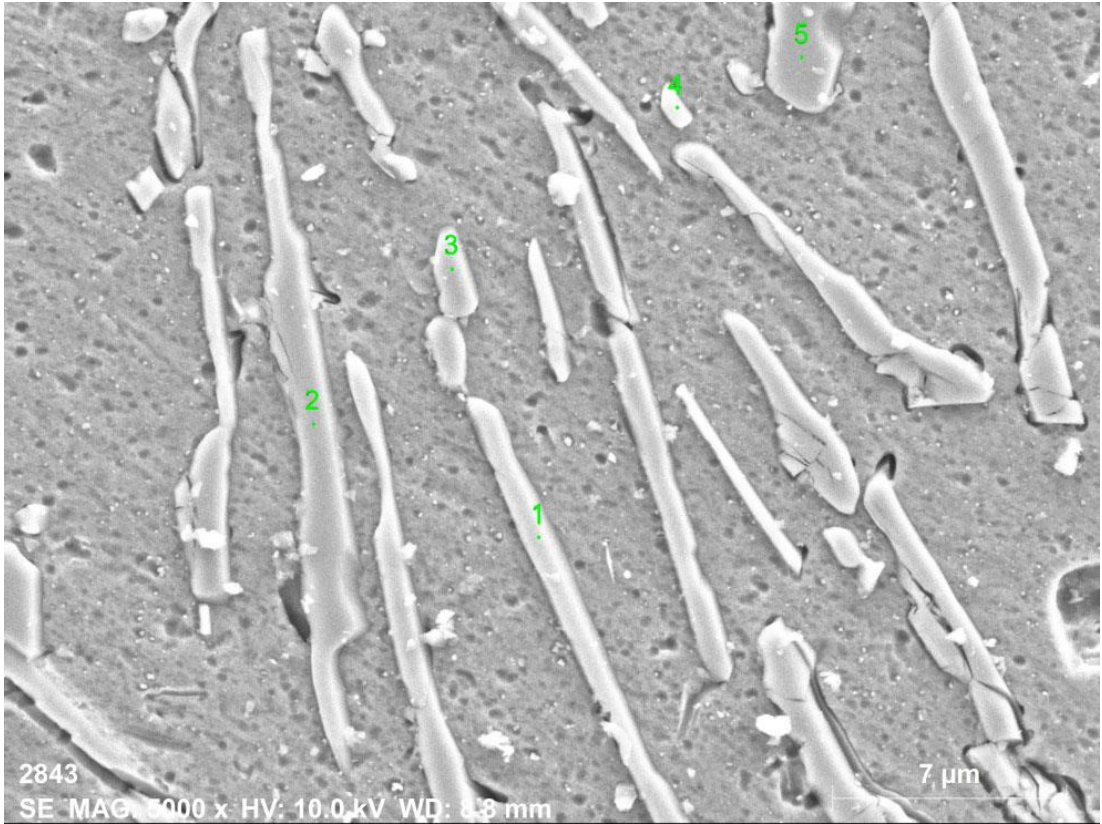
Şekil 4. 9. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi (B).

%1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların haddelenme öncesi (a) ve haddelenme sonrası (b) mikroyapı görüntüleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Mikroyapı görüntülerinden alaşımanın Al ve Si fazlarından oluştuğu görülmektedir. Haddelenmiş alaşımda Si fazının küçük parçalar şeklinde kırıldığı ve matris içerisinde daha sık dağıldığı görülmektedir. Şekil 4.11'de EDS nokta analizinin yapıldığı alan ve Çizelge 4.3'te de noktasal analiz sonuçları sunulmuştur. Şekil 4.11'den de görüleceği gibi noktasal analizler sadece ikincil faza uygulanmıştır. Bunun için görüntüde yer alan şekilsel olarak beş farklı Si fazı seçilmiş ve bu noktalardaki elementlerin dağılımı incelenmiştir. Noktasal analiz sonuçları karşılaştırıldığında 3 ve 5 numaralı noktalarda Si oranının daha yüksek ve Al oranının daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer noktalarda (1,2 ve 4) ise Si oranının ortalama değer olarak %89'a düştüğü ve Al oranının ortalama olarak %9'a yükseldiği görülmektedir. Aslında bütün noktaların kimyasal bileşimlerinin birbirinin benzeri olduğu, 1, 2 ve 4 numaralı noktalarda yer alan fazların yüzey genişliği küçük olduğundan matristen Al sinyallerin gelmesinden dolayı bu noktalarda Al oranının yüksek çıktığı düşünülmektedir.



Şekil 4.10. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası 2000X SEM görüntüsü.

%1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların haddeleme öncesi (a) ve haddeleme sonrası (b) görüntüleri karşılaştırıldığında silisyum dentiritlerinin haddeleme öncesi homojen dağılmış iğnemsî yapıları haddeleme sonrası partikül hadde dağılmıştır.



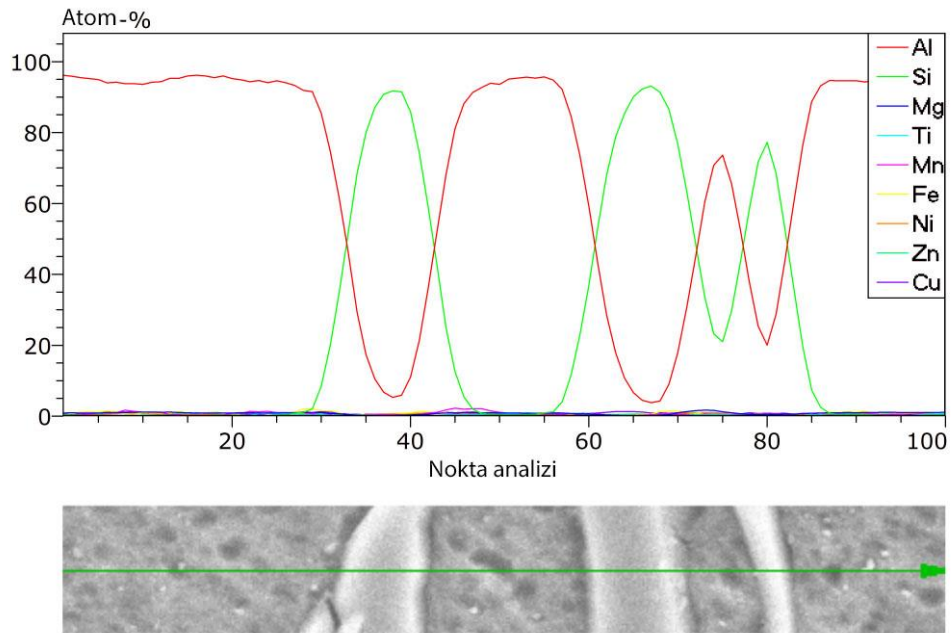
Şekil 4.11. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların EDS ile yapılan haddeleme öncesi noktasal analizi.

Çizelge 4.3. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS analiz sonuçları.

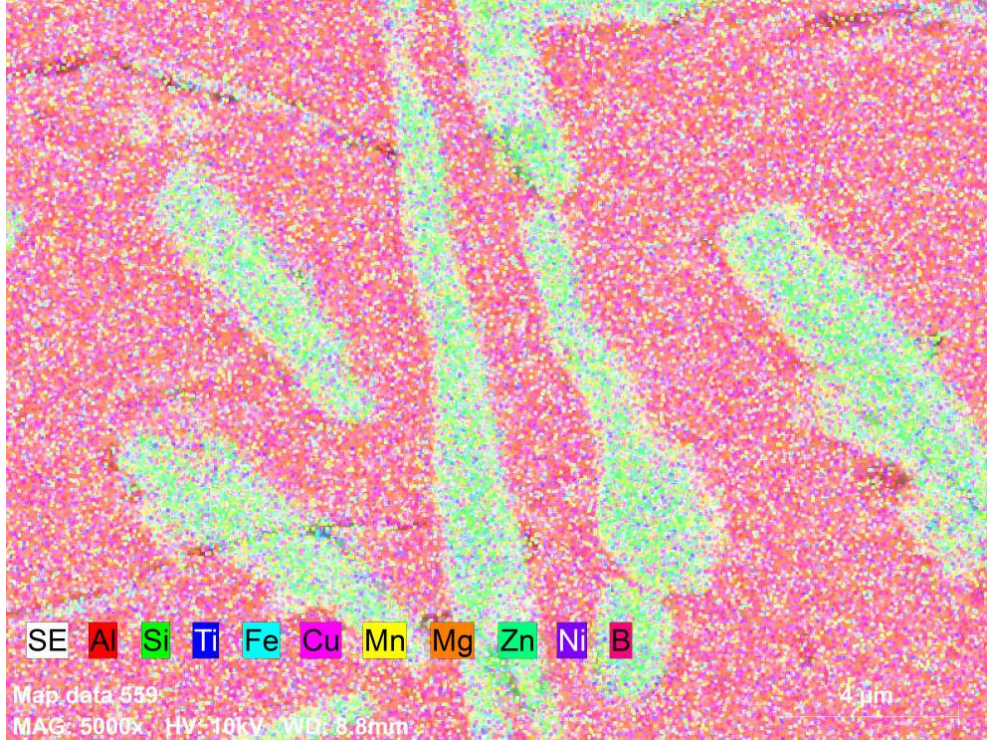
Spektrum	Element (ağ. %)								
	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
1	0.35	8.55	90.23	0.00	0.06	0.01	0.30	0.28	0.22
2	0.39	8.96	89.60	0.00	0.03	0.11	0.29	0.37	0.25
3	0.35	3.57	95.16	0.03	0.06	0.00	0.27	0.32	0.24
4	0.39	10.35	88.27	0.00	0.10	0.00	0.30	0.32	0.26
5	0.33	2.15	96.56	0.00	0.09	0.00	0.30	0.30	0.26

Şekil 4.12’de verilen EDS çizgisel analiz incelendiğinde, %0,5Al-5Ti-1B içeren alaşımda olduğu gibi Al elementinin matris boyunca %100’e yakın oranlarda olduğu ve ikincil faz üzerinde ise sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Benzer şekilde Si elementi de matris boyunca sıfıra yakın oranlarda dağılırken ikincil faz üzerinde bu oranın %100’e yaklaştığı görülmektedir. Bu da %1 Al-5Ti-1B master alaşımı içeren alaşımın temelde Al ve Si fazlarından oluştuğunu göstermektedir. %0,5 oranında Al-5Ti-1B içeren alaşımda olduğu gibi bu alaşımda da diğer elementler daha çok matris içerisinde dağıldığı belirlenmiştir.

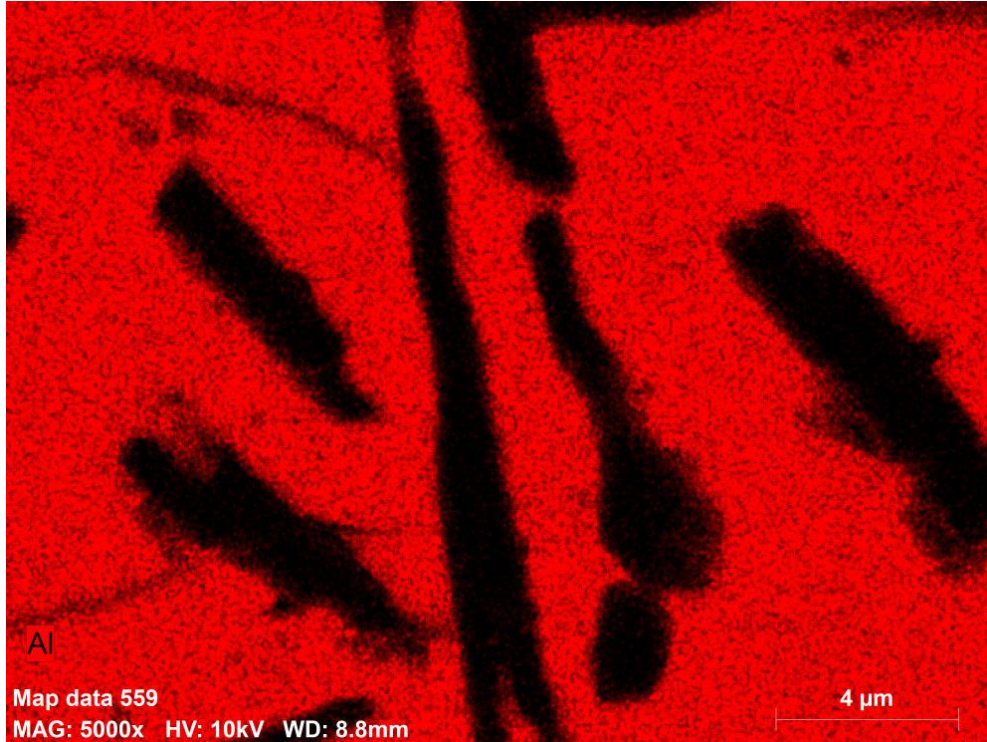
Şekil 4.13 ve 4.17’de verilen haritalama analiz sonuçlarının çizgisel analiz sonuçlarını desteklediği görülmektedir.



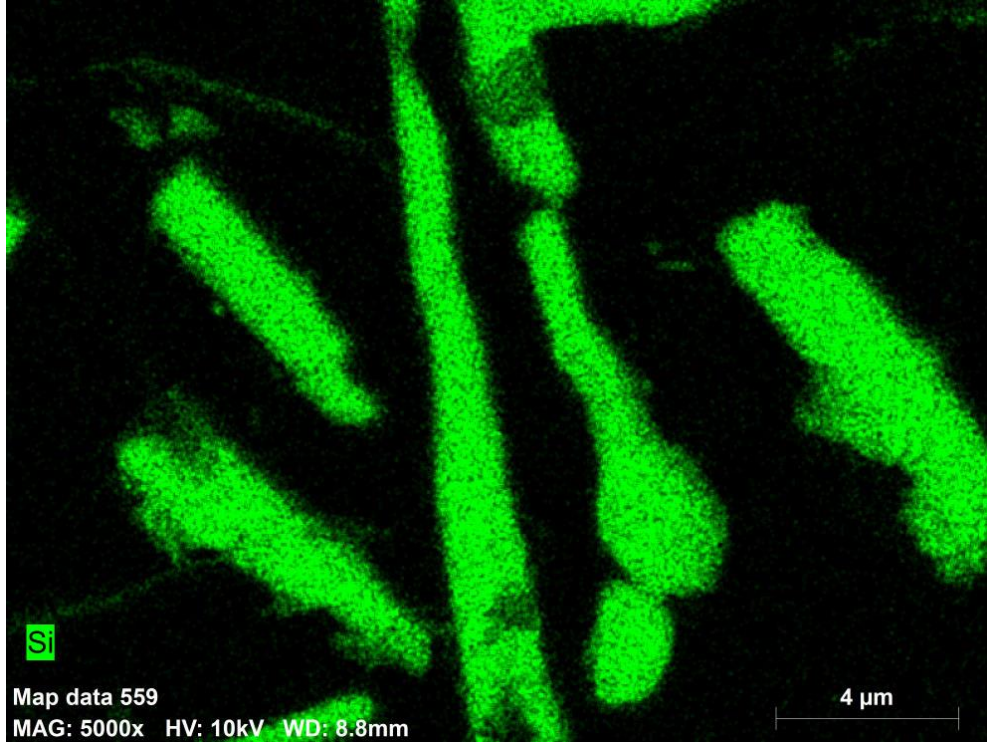
Şekil 4.12. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan çizgisel analizi.



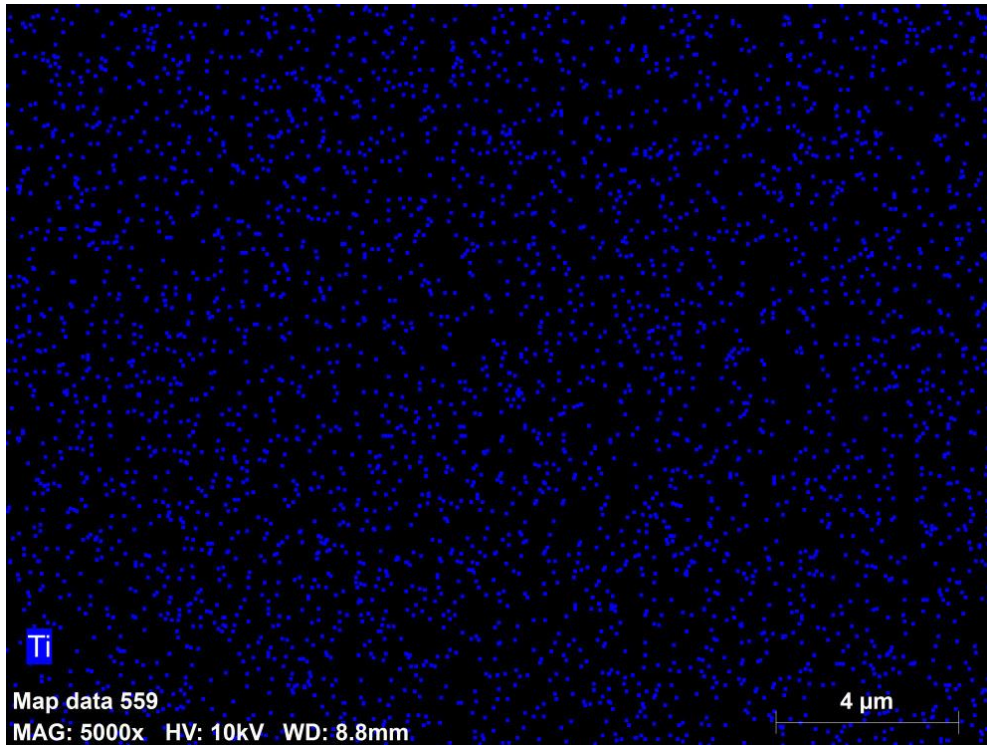
Şekil 4.13. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi.



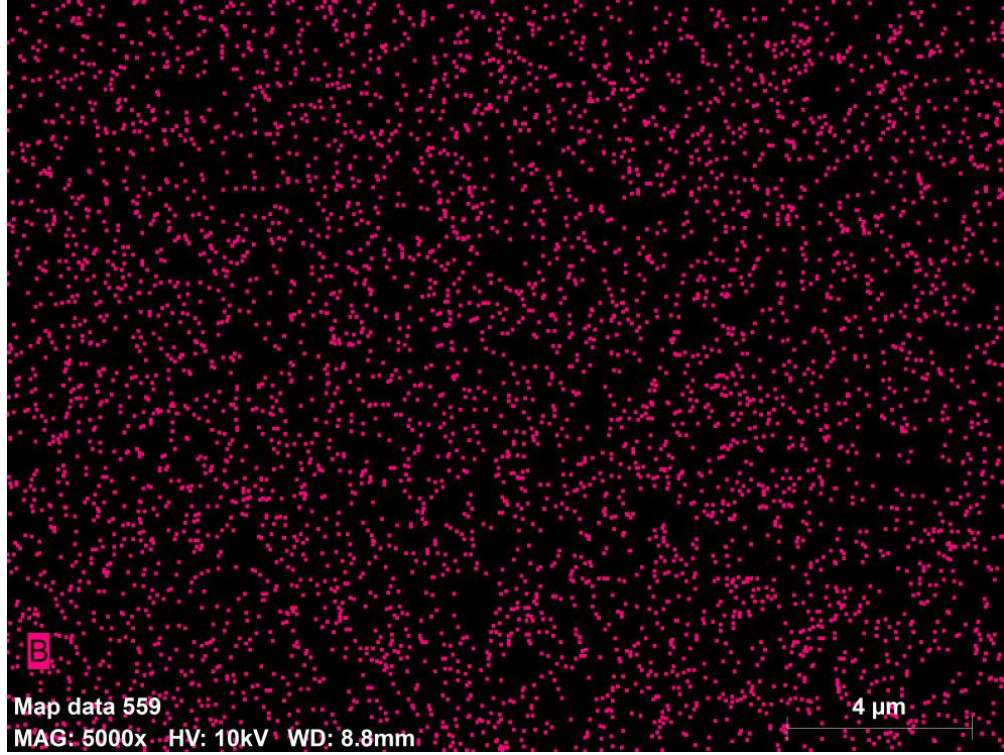
Şekil 4.14. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi (Al).



Şekil 4.15. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi (Si).

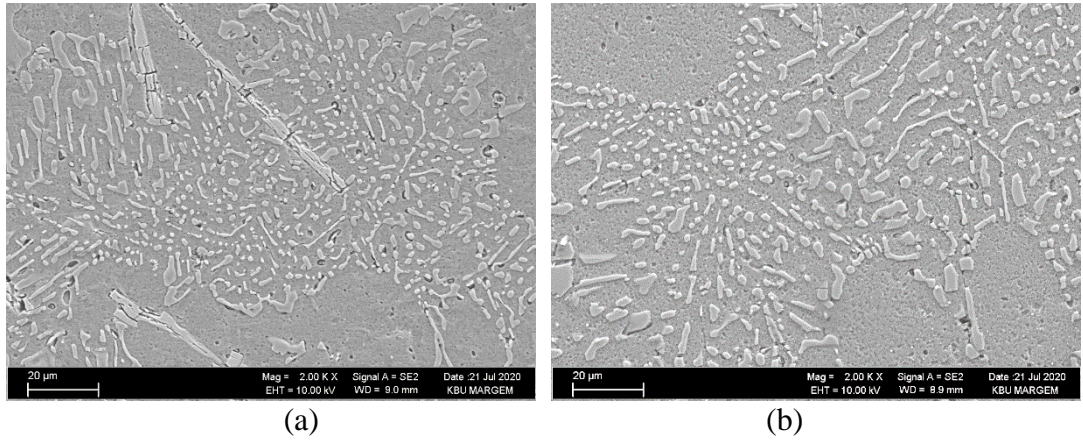


Şekil 4.16. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi (Ti).



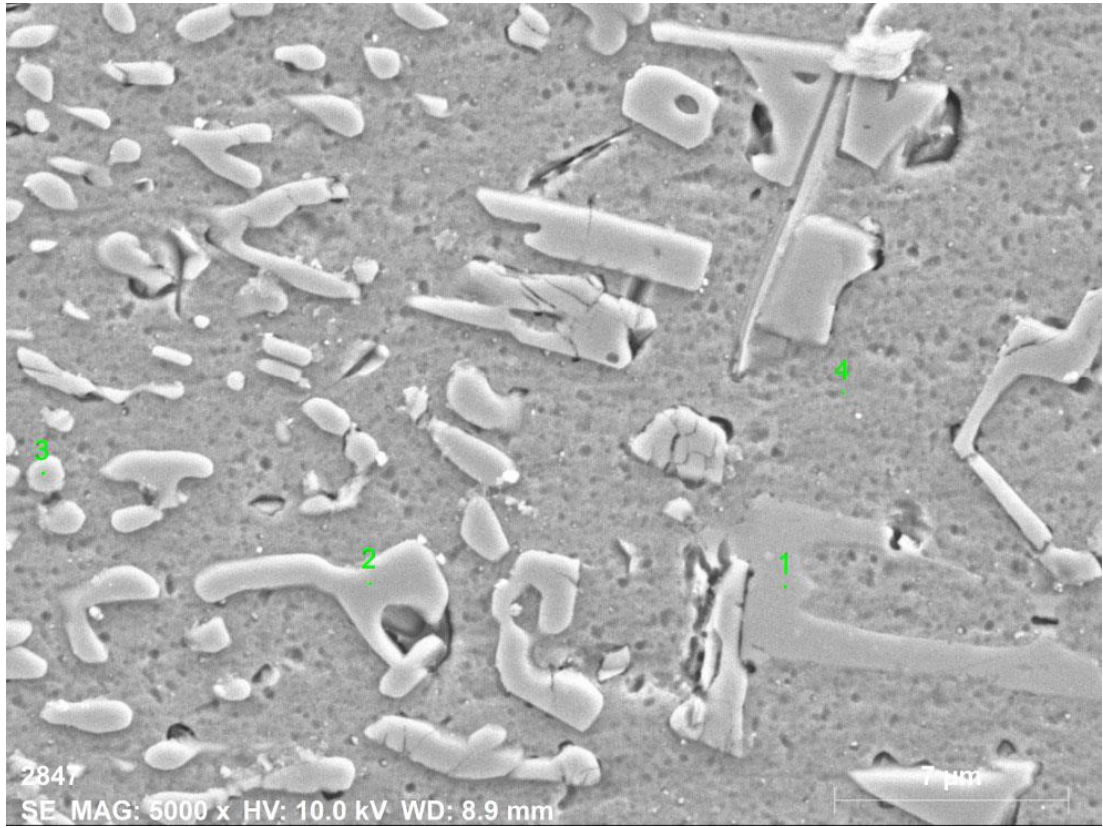
Şekil 4.17. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi (B).

Benzer mikroyapılar %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımda da görülmüştür. Şekil 4.18’de haddeleme öncesi ve haddeleme sonrası %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Diğer alaşımlardan farklı olarak ötektik yapı bileşeni olan Si fazının daha küçük boyutlarda dağıldığı görülmüştür. Si fazının bu şekilde dağılmasında alaşım içerisindeki yüksek oranda bulunan Ti ve B elementlerinin oluşturduğu tane inceltici TiB_2 olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.18. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımların a) haddeleme öncesi ve b) haddeleme sonrası 2000X SEM görüntüsü.

Şekil 4.19'da %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımda EDS noktasal analiz yapıldığı bölge ve Çizelge 4.4'te noktasal analiz sonuçları verilmiştir. Çizelgedeki sonuçlara göre 4 numaralı nokta Al matrisi, 1 numaralı noktanın kimyasal analizi Al-Si-Mg ve Fe elementlerinden oluşan bir intermetalik fazın oluştuğunu, benzer şekilde 2 numaralı noktanın da bir intermetalik faza karşılık geldiği, 3 numaralı noktanın ise Si fazına karşılık geldiği tespit edilmiştir. İntermetalik fazlar XRD analizinde belirlenememiştir. Bunun nedeni intermetalik fazı temsil eden piklerin Al ve/veya Si pikleriyle çakışmış/örtüşmüş olması olabilir.

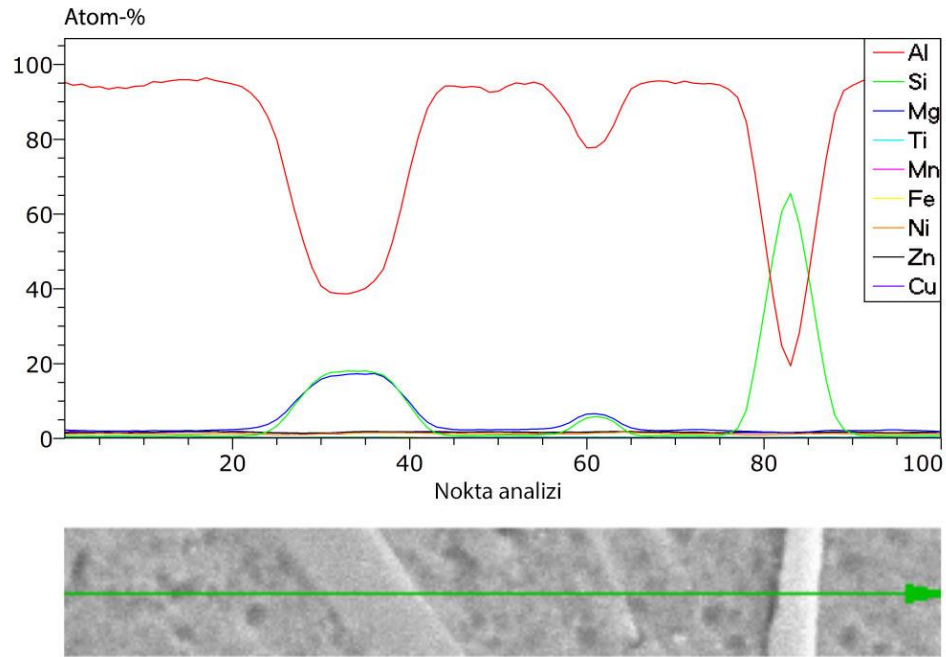


Şekil 4.19. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımda EDS ile yapılan haddeme öncesi noktasal analizi.

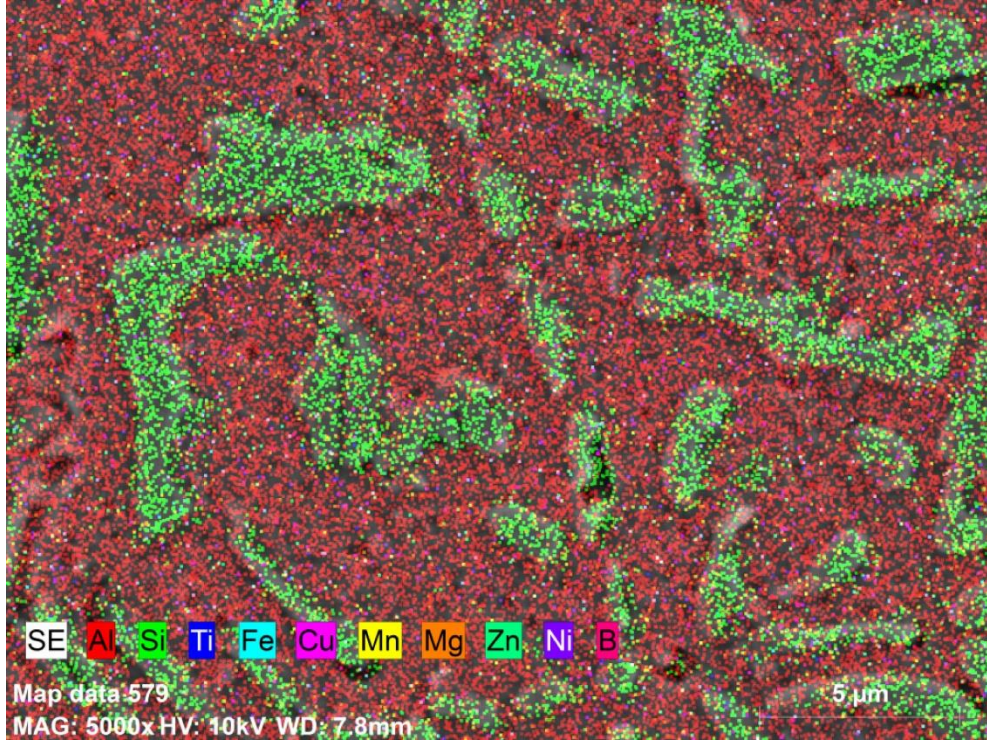
Çizelge 4.4. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS analiz sonuçları.

Spektrum	Element (ağ. %)								
	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
1	18.32	46.34	30.60	0.00	0.84	3.07	0.26	0.30	0.27
2	0.39	9.26	89.67	0.00	0.00	0.00	0.21	0.26	0.22
3	4.84	35.07	59.11	0.08	0.08	0.00	0.25	0.28	0.29
4	1.02	97.48	0.13	0.00	0.28	0.00	0.31	0.34	0.44

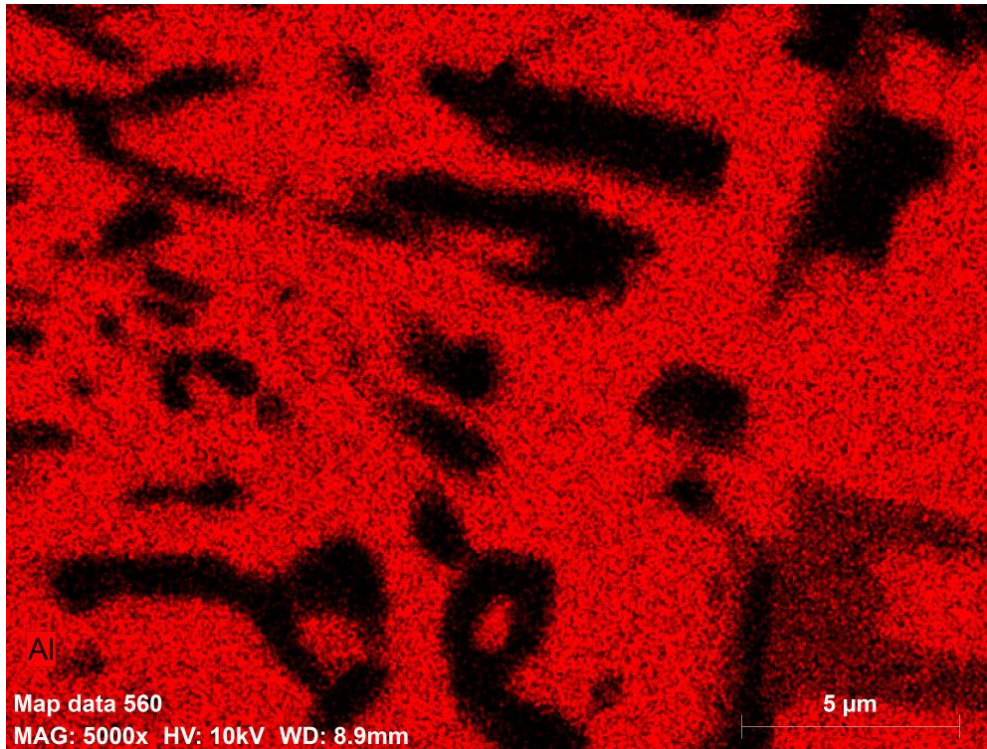
Şekil 4.20’de alaşımanın EDS çizgisel analizi verilmiştir. Çizgisel analizde de intermetalik fazın varlığı (ilk iki maksimum ve minimumlar) tespit edilmiştir. Şekil 4.21 ve 4.25’te verilen haritalama analizlerinde Ti ve B elementinin birlikte dağıldığı görülmektedir.



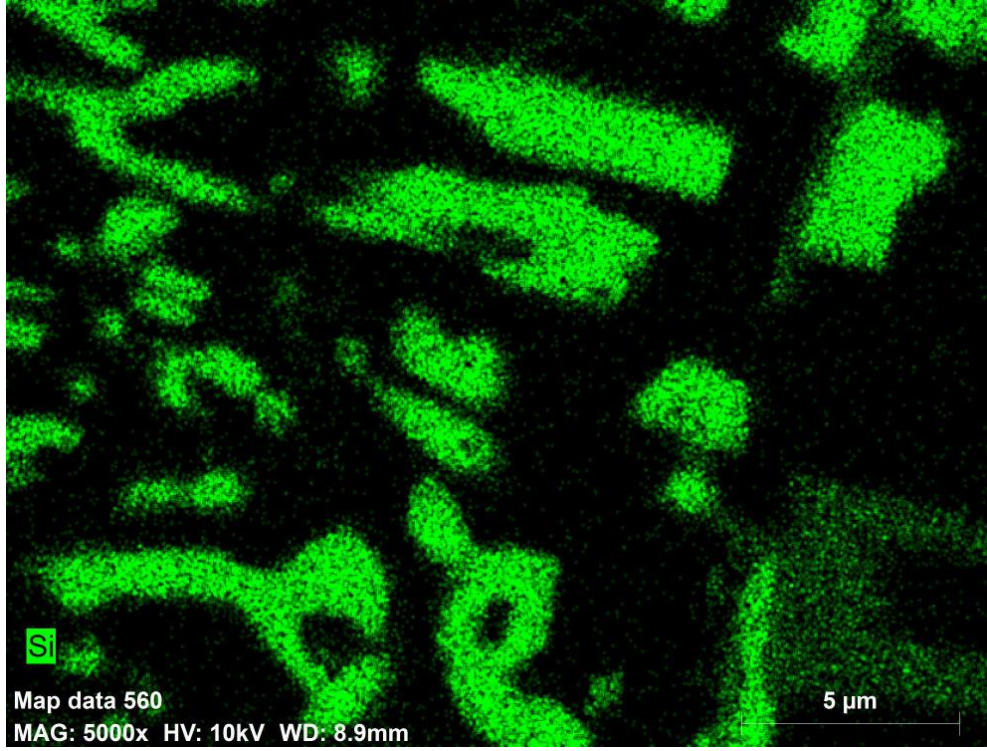
Şekil 4.20. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan çizgisel analizi.



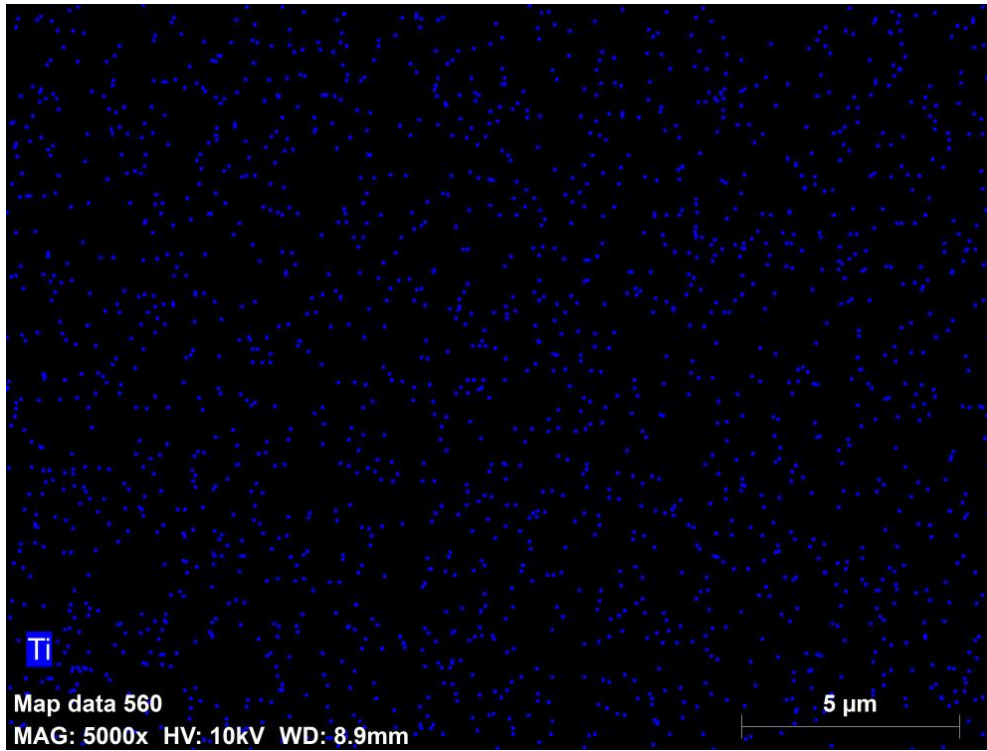
Şekil 4.21. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi.



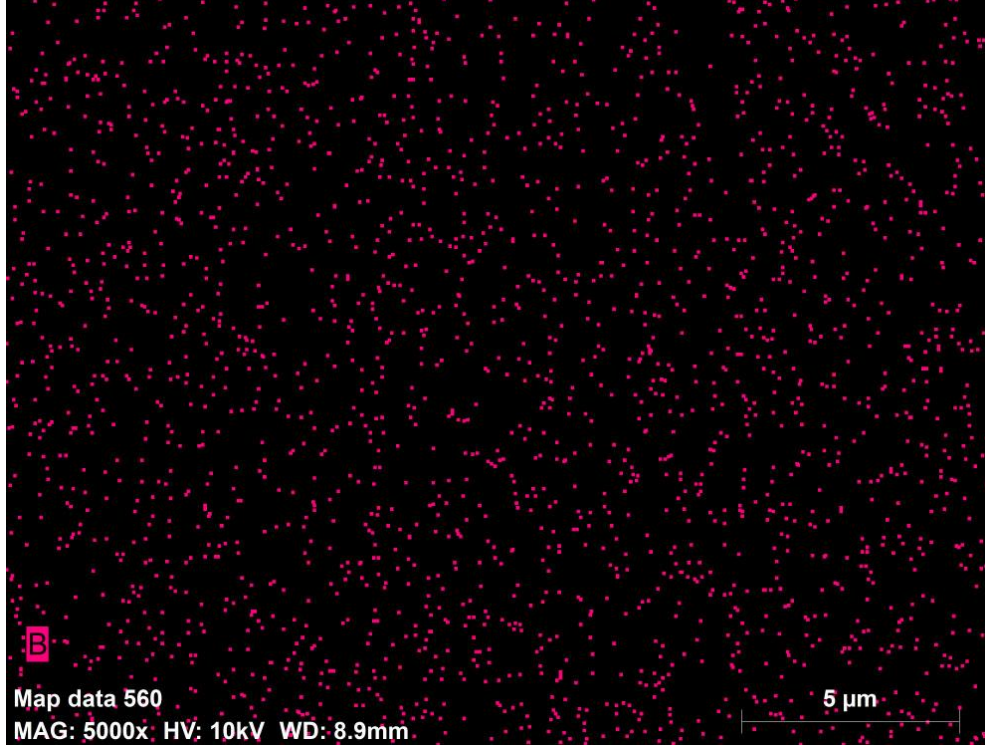
Şekil 4.22. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Al).



Şekil 4.23. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Si).



Şekil 4.24. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın EDS ile yapılan harita analizi (Ti).



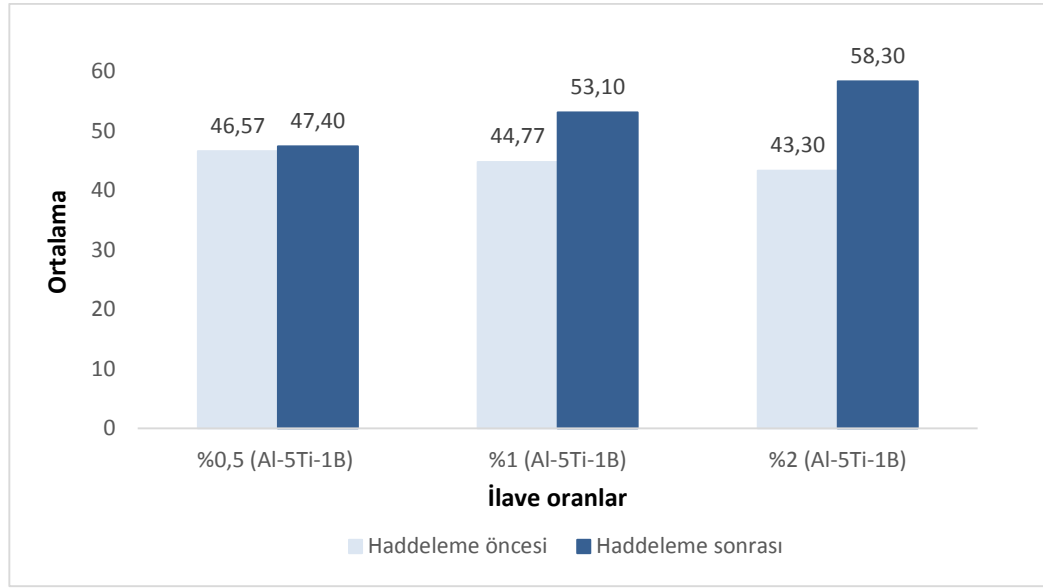
Şekil 4.25. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımanın EDS ile yapılan harita analizi (B).

4.4. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI

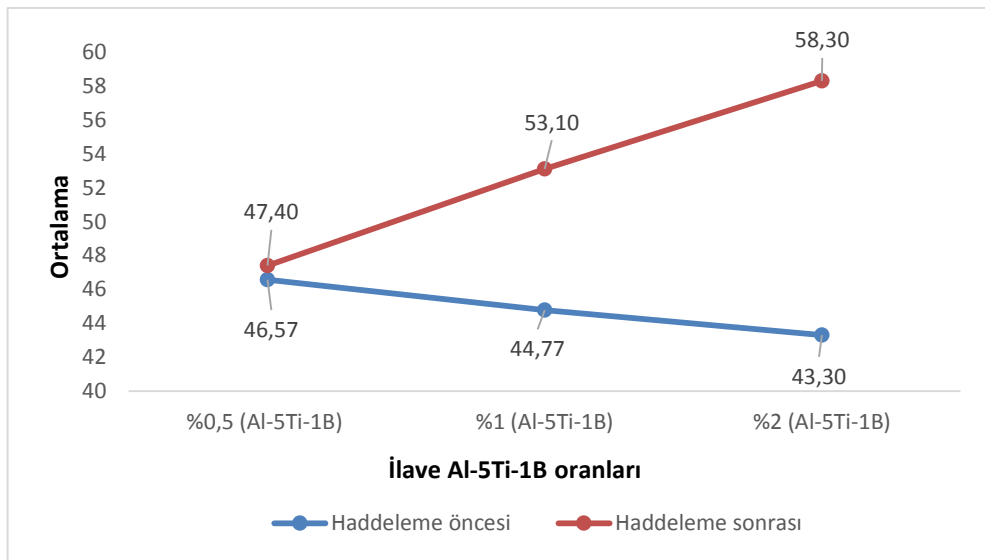
Her bir numune yüzeyinin beş farklı yerinden alınan Brinell sertlik değerlerinin haddeleme öncesi ve haddeleme sonrası ortalamaları Çizelge 4.5’te verilmiştir. Ayrıca, Al-5Ti-1B içeren alaşımların haddeleme öncesi ve haddeleme sonrası sertlik değişimleri Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge ve şekillerde verilen değerlerden, haddelenmiş numunelerin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu ve alaşım içerisinde artan Ti-B miktarıyla sertlik değerinin arttığı belirlenmiştir. Buna göre alaşımlar içerisinde en yüksek sertliğe sahip alaşım %2 oranında Al-5Ti-1B içeren Al-Si alaşımı olmuştur.

Çizelge 4.5. Brinell sertlik testi ortalama sonuçları.

Oranlar	Haddeleme öncesi	Haddeleme sonrası
%0,5 (Al-5Ti-1B)	46,57	47,40
%1 (Al-5Ti-1B)	44,77	53,10
%2 (Al-5Ti-1B)	43,30	58,30



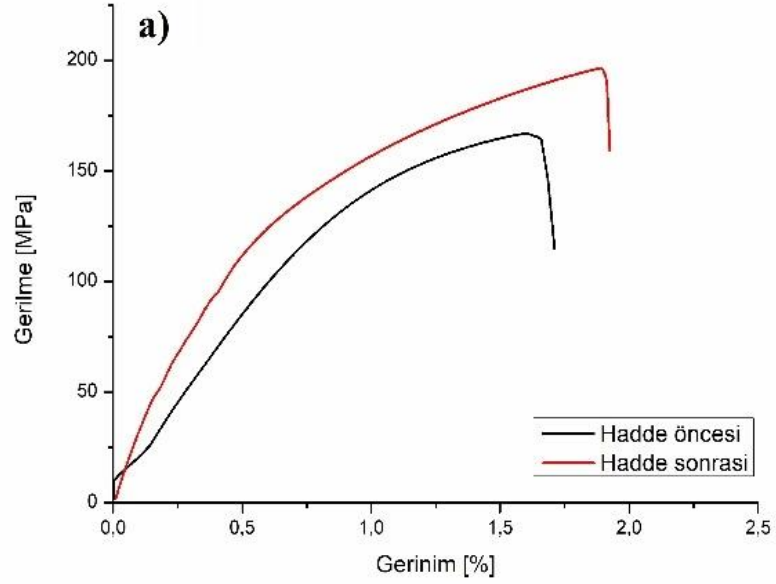
Şekil 4.26. Al-5Ti-1B içeren alaşımlardaki haddeleme öncesi ve sonrası sertlik değişimleri.

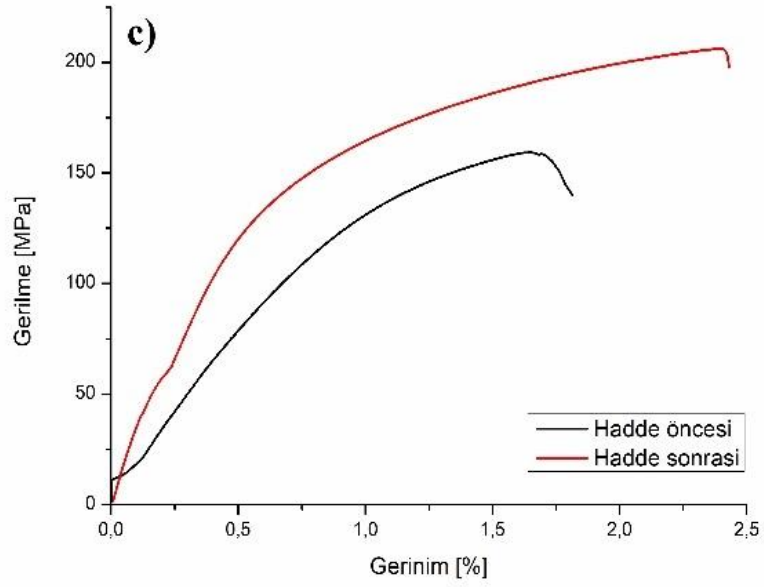
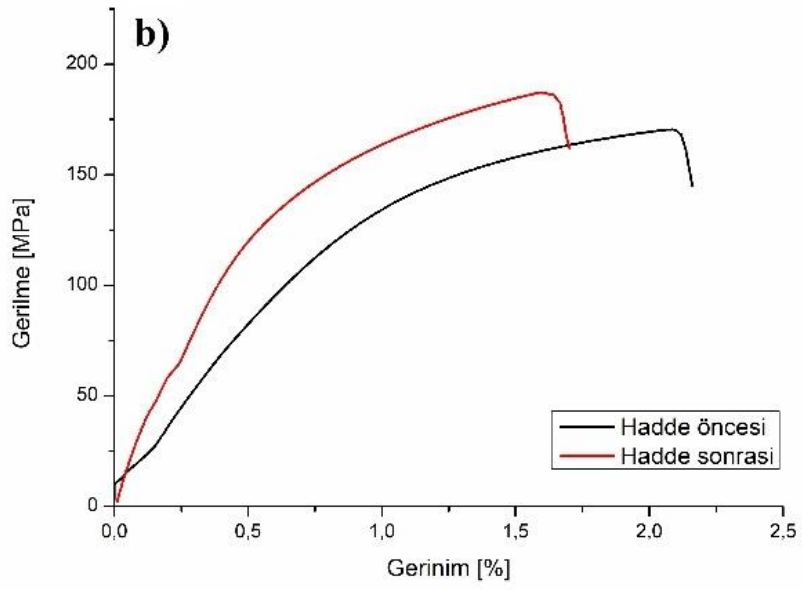


Şekil 4.27. Al-5Ti-1B içeren alaşımlardaki haddeleme öncesi ve sonrası sertlik değişimleri.

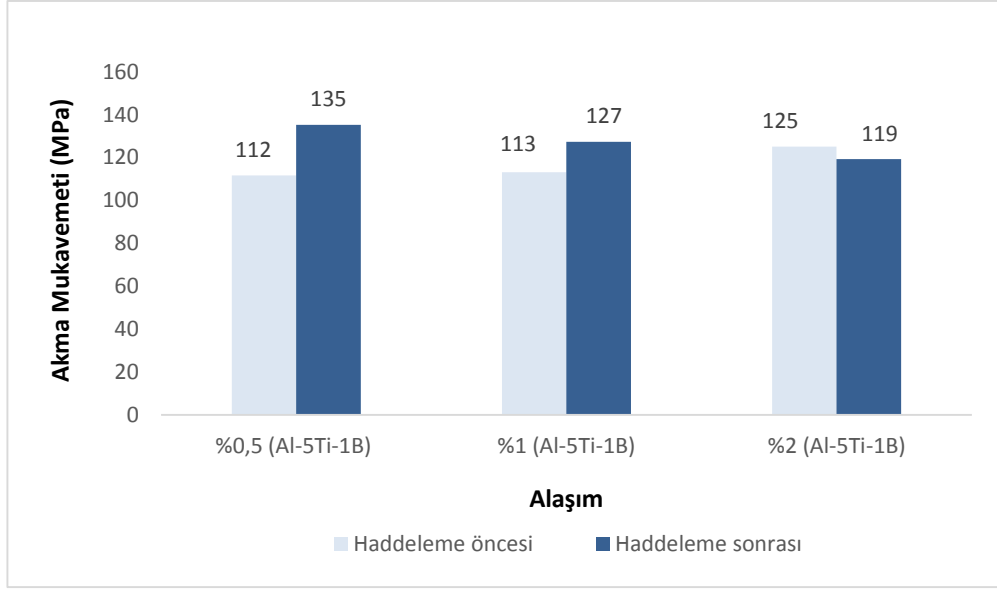
4.5. ÇEKME TESTİ DENEYİ SONUÇLARI

Çekme testi sonucunda bütün numunelerde sünek kırılma meydana gelmiştir. Çekme testi sonucunda elde edilen akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30'da verilmiştir. İlave edilen Al-5Ti-1B master alaşımı miktarı arttıkça haddelenmemiş alaşımların akma dayanımının arttığı, haddelenmemiş alaşımlarda ise bunun tersi bir ekti görülmüştür. Haddelenmenin etkisi incelendiğinde haddelenme sonrası alaşımların akma dayanımlarının genel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür.

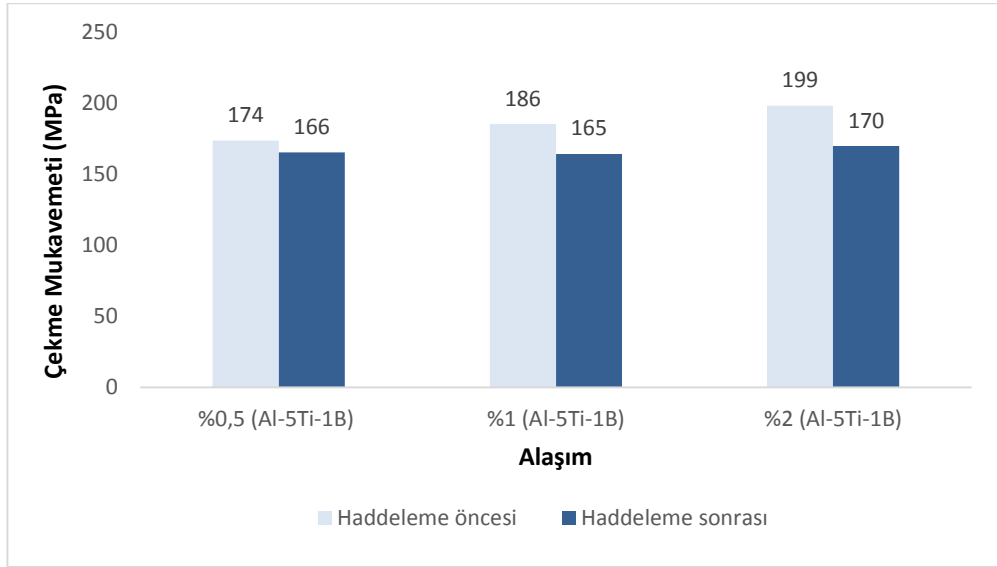




Şekil 4.28. Farklı takviyeli alaşımlara ait gerilme-gerinim grafikleri a) %0,5 (Al-5Ti-1B), b) %1 (Al-5Ti-1B), c) %2 (Al-5Ti-1B).



(a)



(b)

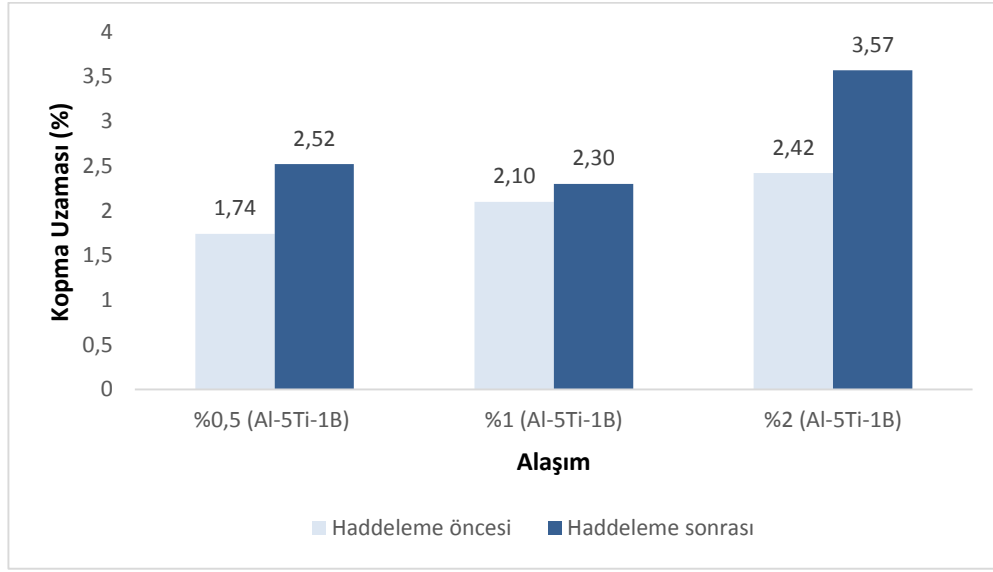
Şekil 4.29. Çekme testi sonucunda alaşımların a) akma mukavemetlerindeki değişim, b) çekme mukavemetlerindeki değişim.

Haddelenme öncesi akma mukavemeti Al-5Ti-1B alaşım miktarının artışına bağlı olarak artarken haddelenme sonrasında Al-5Ti-1B alaşım miktarı arttığında akma mukavemeti tam tersi bir düşüş göstermektedir.

Alaşımların çekme dayanımları incelendiğinde haddelenmiş ve haddelenmemiş alaşımların çekme dayanımlarının artan Al-5Ti-1B miktarıyla arttığı belirlenmiştir. Haddelenmenin etkisi incelendiğinde haddelenmiş alaşımların çekme dayanımlarının

daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun haddemele esnasında oluşun çatlak gibi kusurlardan ve malzemenin sertleşmesinden kaynaklandığı düşünölmektedir.

Alaşımaların kopma uzamaları incelendiğinde haddelenmiş alایشımların haddelenmemiş alایشımlara kıyasla daha yüksek kopma uzamalarına sahip olduğu görülmüştür. Ti-B elementlerinin etkisi incelendiğinde, %1 Al-5Ti-1B içeren alایشım dışındaki alایشımların sünekliliğinin artan Al-5Ti-1B miktarıyla arttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.28. Çekme testi sonucunda alایشımların kopma uzamasındaki değışim.

4.6. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI

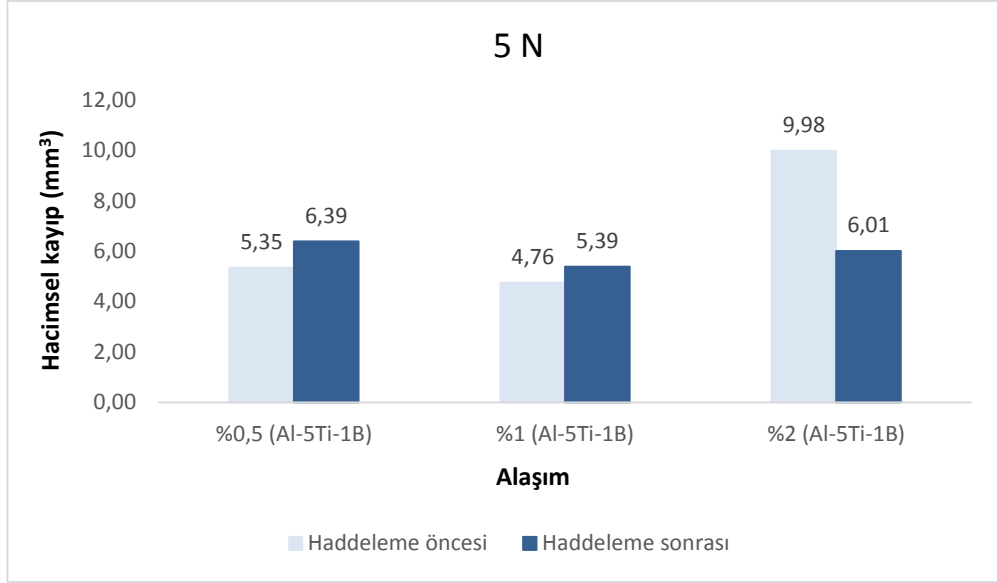
Aşınma deneylerinde malzemelerin 5 N ve 15 N yük altında ve 500 m yol, 120 mm/s hız ve oda sıcaklığı koşullarında alaşımların aşınma dirençleri belirlenmiştir. Farklı oranlarda ilave edilen Ti-B artışının numunelerin aşınma direnci üzerine olan etkisi incelenmiştir. Aşınma direnci, malzemeye uygulanan deneyler sonucunda aşınma derinliği ve aşınma hacimleri değerleriyle elde edilen grafik ve tablolardan yararlanılarak değerlendirilmiştir. Çizelge 4.6'daki değerler ve Şekil 4.31, Şekil 4.32'de verilen grafikler incelendiğinde, hacimsel kayıpların haddeme sonrası arttığı ve ayrıca uygulanan yük ile arttığı görülmüştür. Ti-B element oranlarının etkisi incelendiğinde hacimsel kayıp miktarının önce düştüğü ve %2 oranında ise arttığı belirlenmiştir. Bu da en düşük hacimsel kayıp miktarına sahip olan %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın haddeme öncesi ve sonrası olmak üzere her iki durumda da diğerlerine göre daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.6. Haddeme öncesi ve sonrası aşınma hacimleri sonuçları.

Numune Kodu	Hacimsel Kayıp (mm ³)	
	5 N	15 N
%0,5 (Al-5Ti-1B)-H.Ö.	5,345	15,350
%0,5 (Al-5Ti-1B)-H.S.	6,390	19,775
%1 (Al-5Ti-1B)-H.Ö.	4,755	14,060
%1 (Al-5Ti-1B)-H.S.	5,390	13,305
%2 (Al-5Ti-1B)-H.Ö.	9,975	12,935
%2 (Al-5Ti-1B)-H.S.	6,010	16,295

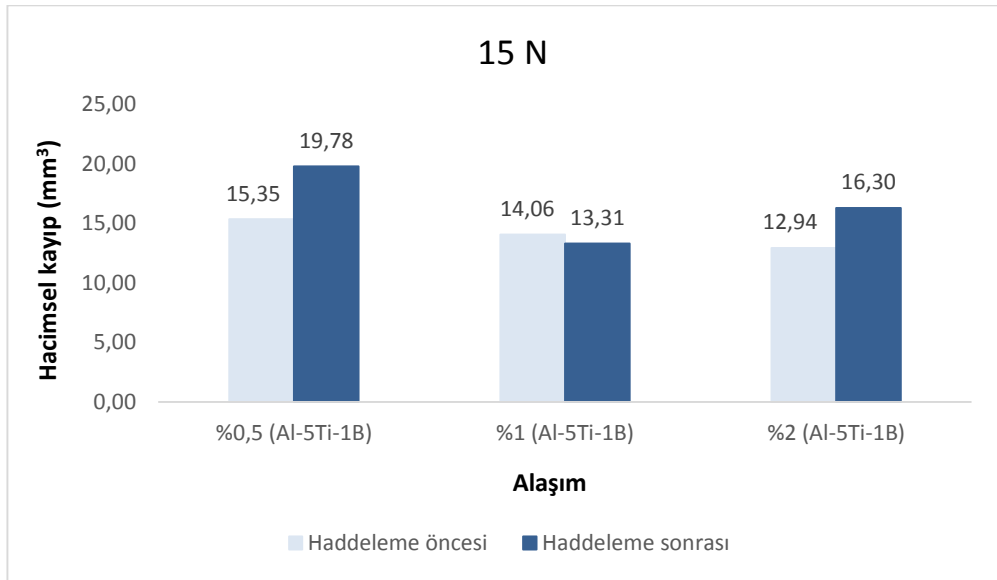
H.Ö. : Haddeme öncesi

H.S. : Haddeme sonrası



Şekil 4.29. Haddeleme öncesi ve sonrası 5 N yük altında aşınma kayıpları (mm³).

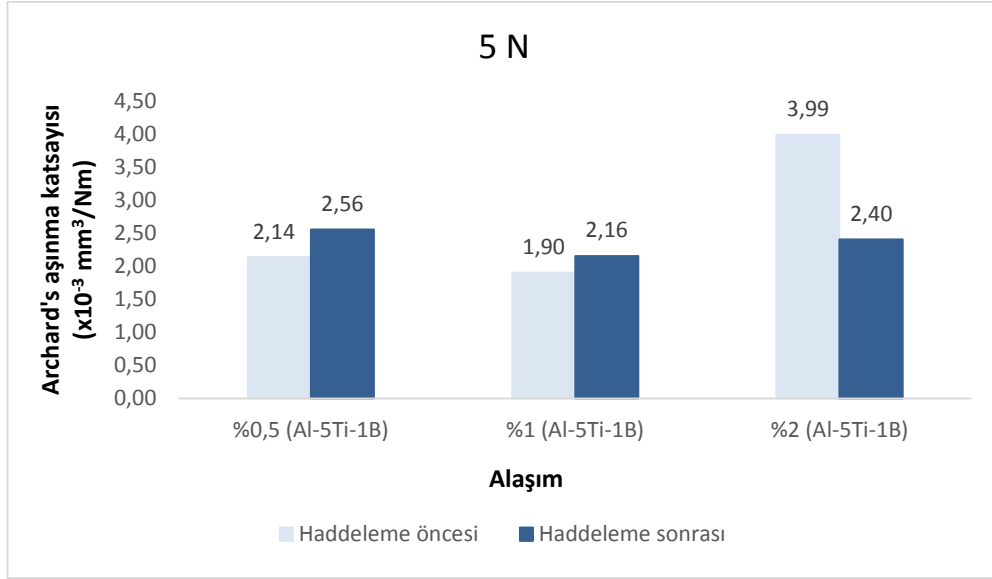
5 N'luk aşınma hacimlerine bakıldığında haddeleme öncesi %1 Al-5Ti-1B alaşımı en az hacimsel kaybı olandır. Haddeleme sonrasında standart bir düzeyde devam ettiği ve %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın içindeki kümelenmelerin azaldığı söylenebilir.



Şekil 4.30. Haddeleme öncesi ve sonrası 15 N yük altında aşınma kayıpları (mm³).

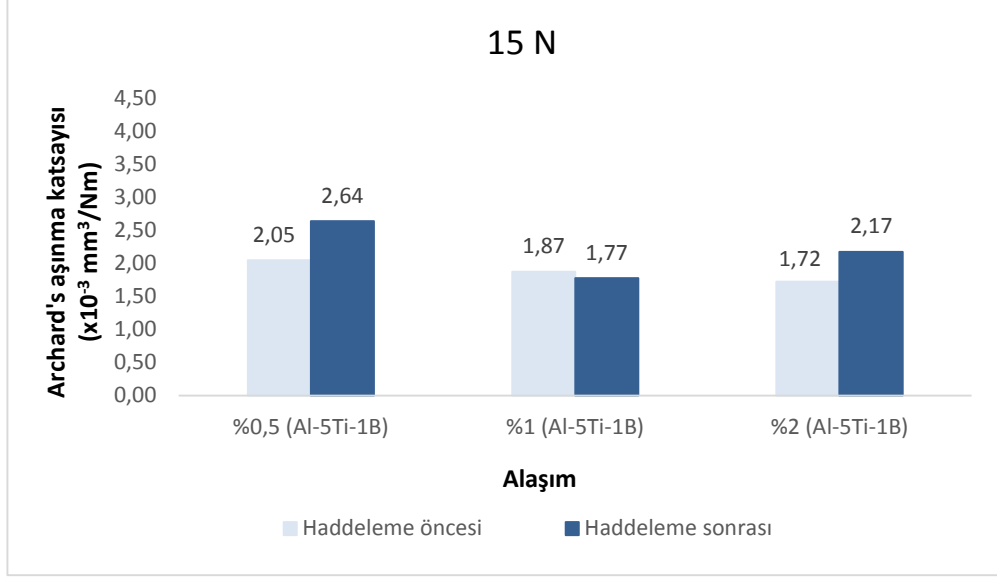
Aşağıda Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'te Archard's aşınma katsayıları grafikleri verilmiştir. Hesaplanan katsayılar çok küçük olduğundan, Archard's aşınma katsayılarını 1000 ile çarptıktan sonra grafikleri oluşturulmuştur.

Archar's katsayısı birim iş başına hacimsel kaybı ifade ettiğinden, alaşımların aşınma direncini ifade etmek için bir ölçüt olarak kullanılabilir. Bu katsayılardaki değişimlerin de yukarıda verilen analizi birebir desteklediği görülmüştür. Katsayıları gösteren grafiklerden de %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımın haddeme öncesi ve sonrasında daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu göstermektedir.



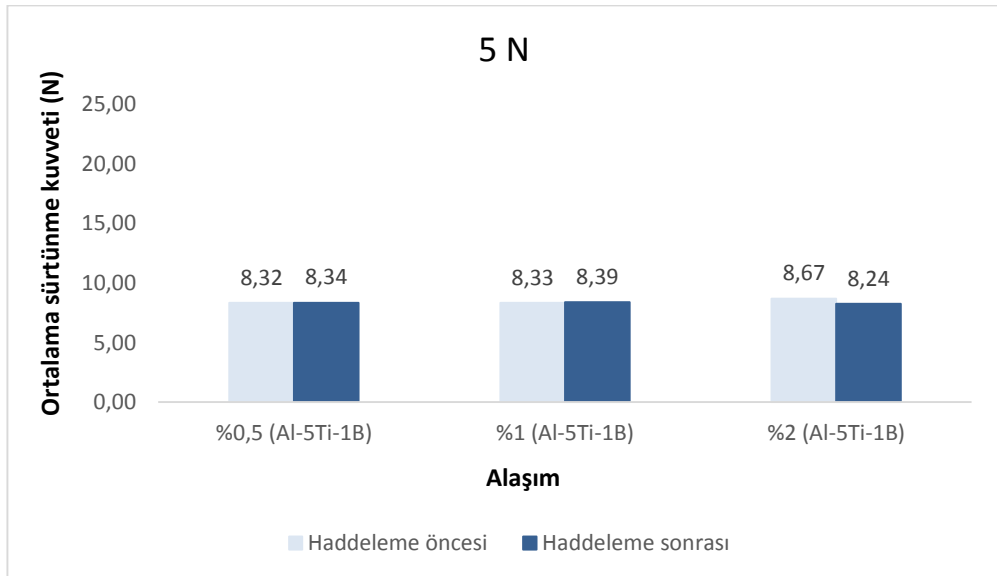
Şekil 4.31. Haddeme öncesi ve sonrası 5 N yük altında Archard's aşınma katsayıları sonuçları.

Haddeme öncesi %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımın Archard's aşınma katsayısı en yüksektir. Haddeme sonrasında standart bir düzeyde devam ettiği gözlemlenmiştir.

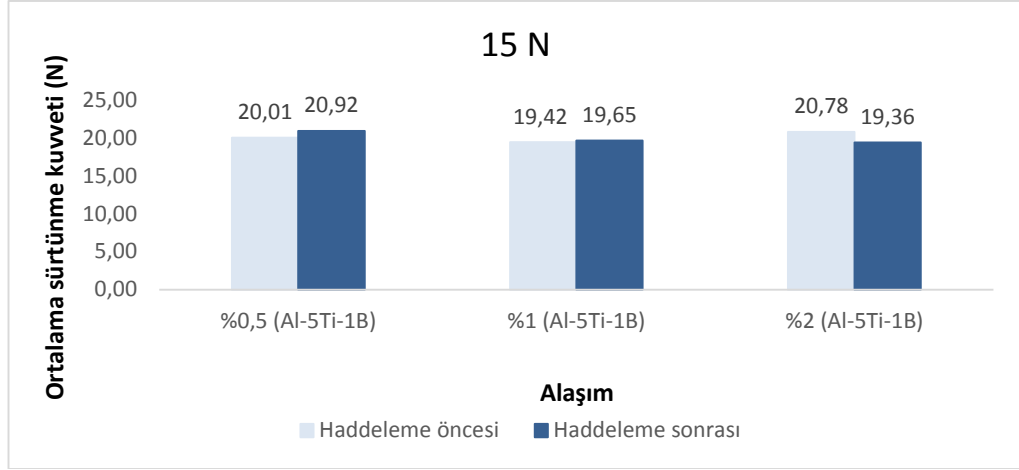


Şekil 4.32. Haddelenme öncesi ve sonrası 15 N yük altında Archard's aşınma katsayıları sonuçları.

Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da alaşımların 5N ve 15N yük altındaki ortalama sürtünme kuvvetleri verilmiştir. Uygulanan yükteki artış ile sürtünme kuvvetinin arttığı ve sürtünme kuvvetinin haddelenme işleminden ve artan Ti-B oranından pek etkilenmediği belirlenmiştir.

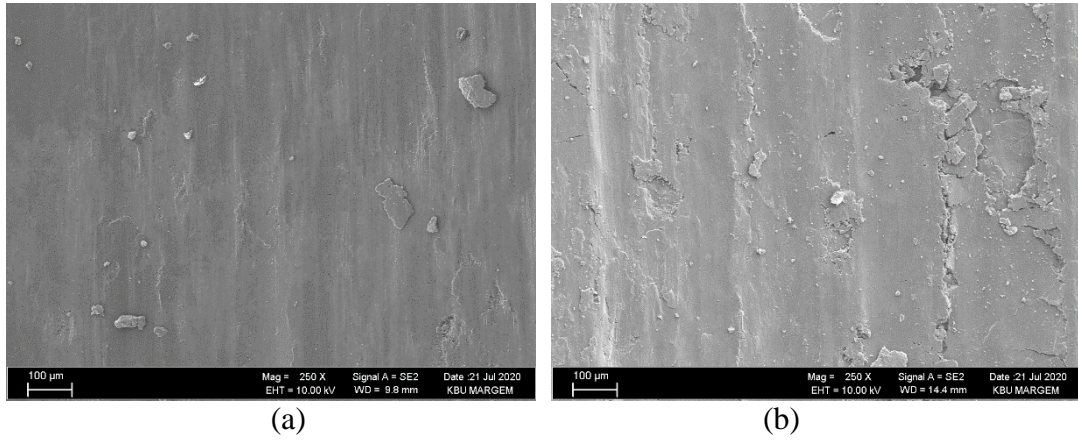


Şekil 4.33. Haddelenme öncesi ve sonrası 5 N yük altında ortalama sürtünme kuvveti sonuçları.



Şekil 4.34. Haddeme öncesi ve sonrası 15 N yük altında ortalama sürtünme kuvveti sonuçları.

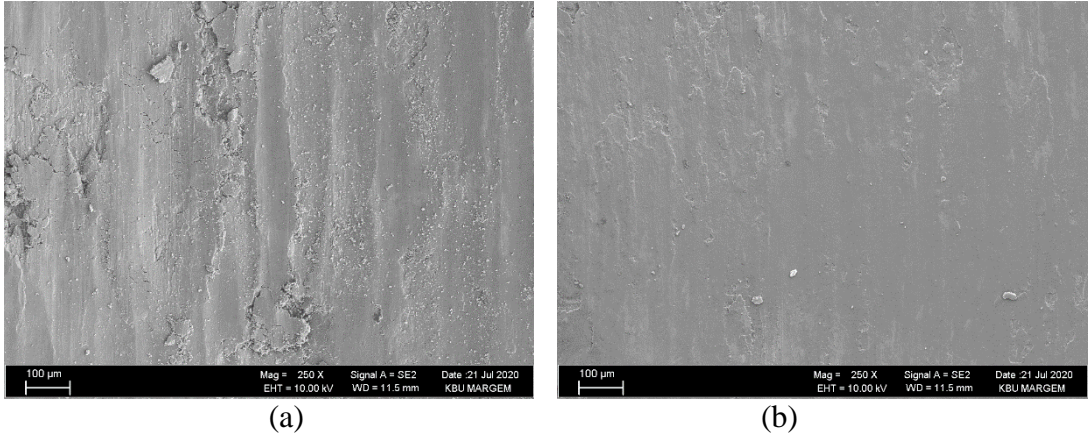
Şekil 4.37’de 5N yük altında aşınma sonrası numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. 35. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 5N yük altında aşınma sonrası a) haddeme öncesi ve b) haddeme sonrası SEM görüntüsü.

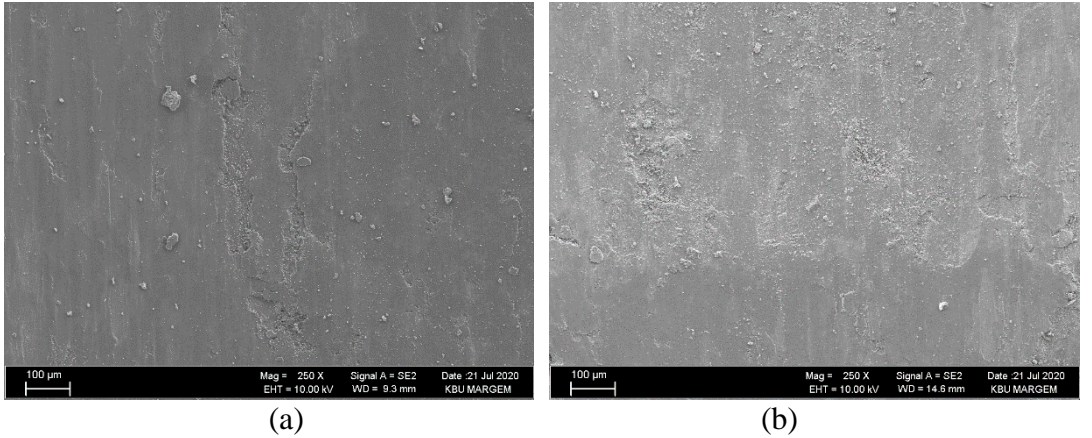
%0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların haddeme öncesi (a) ve haddeme sonrası (b) SEM görüntüleri karşılaştırıldığında haddeme sonrasında daha fazla aşınma görülmüştür. Haddeme öncesinde (Şekil 4.37a) olukların oluştuğu, yüzeyden kopan parçalardan adhezif aşınma oluştuğu ve malzemenin plastik deformasyona uğradığı gözlenmiştir. Haddeme sonrasında (Şekil 4.37b) ise olukların genişlediği, adhezif aşınmanın arttığı ve yüzeyde daha fazla aşınma kopmalarının olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.38’de aynı alaşımın 15N yük altında aşınma sonrası yüzey görüntüleri

verilmiştir. Haddelenme öncesi ve sonrası görüntüler karşılaştırıldığında haddelenme öncesi adhezif aşınmanın daha fazla oluşu belirlenmiştir.



Şekil 4.36. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 15N yük altında aşınma sonrası a) haddelenme öncesi ve b) haddelenme sonrası SEM görüntüsü.

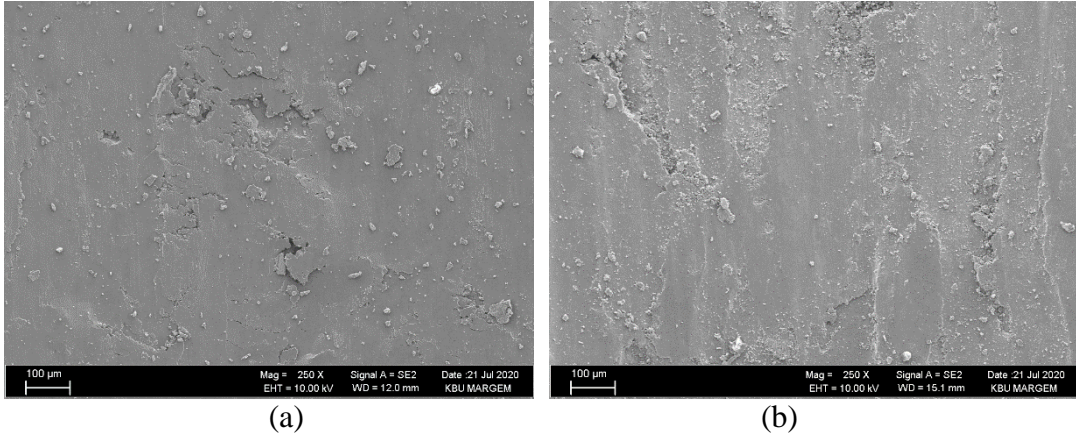
%1 Al-5Ti-1B master alaşımı içeren alaşımların haddelenme öncesi ve sonrasında yapılan aşınma testleri sonrası yüzey görüntüleri Şekil 4.39 ve 4.40'ta verilmiştir. Şekil 4.39'daki görüntüler 5N'luk yük altında yapılan aşınma testlerini, Şekil 4.40'taki görüntüler ise 15N'luk yük altında yapılan aşınma testlerine aittir.



Şekil 4.37. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 5N yük altında aşınma sonrası a) haddelenme öncesi ve b) haddelenme sonrası SEM görüntüsü.

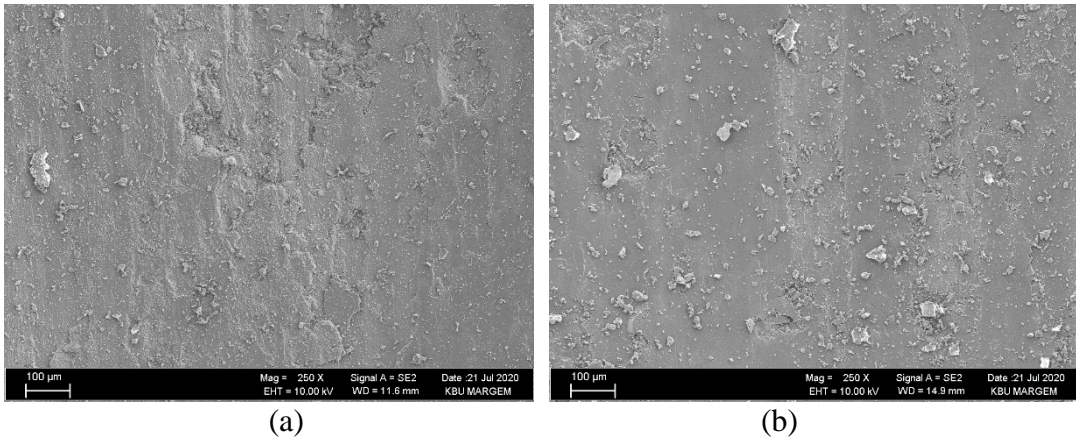
%1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların haddelenme öncesi (a) ve haddelenme sonrası (b) SEM aşınma yüzey görüntüleri karşılaştırıldığında, 5N'luk yük altında haddelenmiş olan alaşımında daha fazla hacimsel kayıp oluştuğu gözlemlenmiştir. %0,5 Al-5Ti-1B içeren alaşımla karşılaştırıldığında aşınmanın daha az olduğu belirlenmiştir. Bir başka

deyişle, artan master alaşım oranı ile alaşımın aşınma direnci artmıştır. 15N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyinde de benzer sonuç elde edilmiştir.

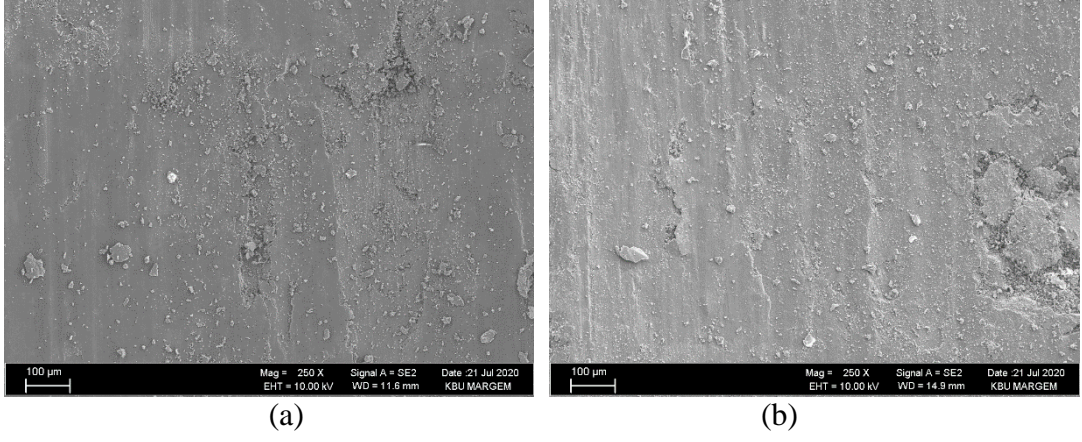


Şekil 4.38. %1 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 15N yük altında aşınma sonrası a) haddelenme öncesi ve b) haddelenme sonrası SEM görüntüsü.

%2 Al-5Ti-1B master alaşımı içeren alaşımların haddelenme öncesi ve sonrasında aşınma yüzey görüntüleri Şekil 4.41 ve 4.42’de verilmiştir. Şekil 4.41’deki görüntüler 5N’luk yük altında, Şekil 4.42’deki görüntüler ise 15N’luk yük altında elde edilmiştir. Şekil 4.41’de verilen 5N’luk yük altındaki aşınma yüzeyleri incelendiğinde, haddelenmemiş alaşımın yüzeyinde aşınma sonrası daha fazla oyukların ve aşınma kayıplarının olduğu gözlemlenmiştir. Bu da haddelenmiş alaşımın adhezif aşınma direncinin daha fazla olduğunu ifade etmektedir. 15N’luk yük altında gerçekleştirilen aşınma deneylerinden ise haddelenmiş alaşımın aşınma hacim kaybının daha fazla olduğu ve haddelenmiş alaşımın aşınma direncinin daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.39. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 5N yük altında aşınma sonrası a) haddelenme öncesi, b) haddelenme sonrası SEM görüntüsü.



Şekil 4.40. %2 Al-5Ti-1B içeren alaşımların 250X ve 15N yük altında aşınma sonrası a) haddeleme öncesi b) haddeleme sonrası SEM görüntüsü.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Bu çalışmada %0,5, %1,0 ve %2,0 Al-5Ti-1B alaşımı içeren alaşımlar kokil kalıba döküm yöntemiyle üretilmiştir. Alaşımların hepsine homojenleştirme ısıl işlemi ve bir bölümüne sıcak haddeleme uygulanmıştır. Üretilen alaşımlarını, kimyasal bileşimi, mikro yapısı, sertliği, aşınma ve mekanik özellikleri haddeleme öncesi ve sonrasında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. X-Işınlari kırınım analizinden alaşımların Al ve Si fazlarından oluştuğu sadece %2 Al-5Ti-1B master alaşımı içeren alaşımda TiB fazının oluştuğu belirlenmiştir.
2. SEM -EDS analizleri de XRD sonuçlarını desteklemiştir. Farklı olarak, %2 master alaşımı içeren alaşımda Al, Si, Mg ve Fe elementlerince zengin intermetalik faz oluştuğu görülmüştür. İntermetalik fazın varlığı EDS çizgi analiziyle de tespit edilmiştir.
3. Ortalama sertlik değerlerine bakıldığında haddeleme öncesi sertlik değerleri master alaşım miktarının artışına bağılı olarak azalırken haddeleme sonrasında artan master alaşım oranı ile sertliğin arttığı görülmüştür. Ayrıca, haddelenmiş alaşımların daha yüksek sertliğe sahip oldukları belirlenmiştir.
4. Haddelenmiş alaşımların akma dayanımları haddelenmemiş alaşımlara göre daha yüksekken, çekme dayanımlarının daha düşük olduğu belirlenmiştir.

5. Master alaşım oranının etkisi dikkate alındığında, çekme testi sonrası haddelenmemiş alaşımların akma mukavemeti master alaşım miktarının artışına bağlı olarak artarken haddeleme sonrasında bunun tam tersi bir etki görölmüştür.
6. Haddelenmiş ve haddelenmemiş alaşımların kopma uzamaları genel olarak artan master alaşım oranı ile arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, haddelenmiş alaşımların kopma uzamasının daha fazla olduğu belirlenmiştir.
7. Artan yük miktarıyla haddelenmiş ve haddelenmemiş alaşımlarda hacimsel kayıp artmıştır. Haddeleme sonrası aşınma hacimsel kayıpların daha fazla olduğu görölmüştür.
8. Aşınma sonrası yüzey analizlerinden adhezif aşınmanın olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: "International Aluminium Institute", www.world-aluminium.org, (2004).
2. Campbell, J., Castings: [the new metallurgy of cast metals], *Butterworth Heinemann* (2003).
3. Kapranos, P., et al., "Thixoforming of an automotive part in A390 hypereutectic Al–Si alloy", *Journal of Materials Processing Technology*, 135(2–3): p. 271-277 (2003).
4. Zhao, J.-w. and S.-s.Wu, "Microstructure and mechanical properties of rheo-diecasted A390 alloy". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20, Supplement 3(0): p. s754-s757 (2010).
5. Zuo, M., et al., "Effect of rapid solidification on the microstructure and refining performance of an Al–Si–P master alloy". *Journal of Materials Processing Technology*, 209(15–16): p. 5504-5508 (2009).
6. İnternet: Assan ALÜMİNYUM, "Her Yönüyle Alüminyum", Sürdürülebilirlik, <https://www.assanaluminyum.com/tr-tr/surdurulebilirlik/her-yonuyle-aluminyum> (2018).
7. İnternet: "Alüminyum Nedir, Nerelerde Kullanılır?" <https://www.makaleler.com/aluminyum-nedir-nerelerde-kullanilir> (2017)
8. İnternet: Material Property Data. <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0cd1edf33ac145ee93a0aa6fc666c0e0&ckck=1> (2018).
9. E. A. Association, "Aluminium in Cars–Unlocking The Light-Weighting Potential," *European Aluminium Association*, Brussels (2013).
10. E. Aluminium, The Aluminium Effect. <https://www.european-aluminium.eu/about-aluminium/the-aluminium-effect> (2018).
11. T. Başer, "Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı", *Mühendis ve Makine Dergisi*, vol. 53, pp. 51-58 (2012).

12. İnternet: "Alüminyum Nasıl Üretilir? ",
<https://malzemebilimi.net/aluminyum-nasil-uretilir.html> (2018).
13. İnternet: Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD),
www.talsad.org.tr (2010).
14. İnternet: Maden Teknik ve Arama (MTA), "Boksit"
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/boksit>
15. U.S. Geological Survey, *TA Strategy Team* (2017).
16. Erman Car, "Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim Süreçleri", *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu*, Yayım No:2 (1998).
17. İnternet: Alüminyumda Geri Dönüşümün Önemi,
<https://www.yesiltaylar.com.tr/tr/blog/aluminyumda-geri-donusumun-artan-onemi> (Eylül 2017).
18. İnternet: Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD),
www.talsad.org.tr
19. The Aluminium Association, *Aluminium Statistical Review* (1988).
20. Askeland, R.D., "The Science and Engineering Of Materials, 3rd ed.", *Wadsworth Publishing Company*, 812 (1994).
21. Akdoğan Eker, A., "Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları Ders Notları", *Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, İstanbul (2008).
22. Polmear, I.J., E. Arnold Publishers, *Light Metals*, London (1981).
23. S.M. Jigajinni, K. Venkateswarlu, S.A. Kori, Effect of a grain refiner cum modifier on mechanical properties of Al–7Si and Al–11Si alloys, *Met Mater Int*, 19 pp. 171-181 (2013).
24. K.G. Basavakumar, P.G. Mukunda, M. Chakraborty, "Dry sliding wear behaviour of Al–12Si and Al–12Si–3Cu cast alloys", *Mater Des*, 30 pp. 1258-1267 (2009).
25. İnternet: Alüminyum-Silisyum Döküm Alaşımlarına Genel Bir Bakış,
Dökümhane.net.
<https://www.dokumhane.net/2015/06/29/aluminyum-silisyum-dokum-alasimlarina-genel-bir-bakis> (2015).
26. D. Apelian, "Aluminum cast alloys: enabling tools for improved performance," *North American Die Casting Association* (2009).
27. J. Gilbert Kaufman and Elwin L. Rooy, "Aluminum alloy castings: properties, processes, and applications", *Asm International* (2004).

28. Mohammadreza Zamani, "Al-Si Cast Alloys-Microstructure and Mechanical Properties at Ambient and Elevated Temperatures", *Jönköping University, School of Engineering*, 2017.
29. Murray J.L., McAlister A.J., The Al-Si (Aluminum-Silicon) system, *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, 5, 74-84 (1984).
30. M. Warmuzek, "Aluminum-Silicon Casting Alloys," *Atlas of Microfractographs*, (2004).
31. J. Brown, Foseco non-ferrous foundryman's handbook: *Butterworth-Heinemann*, (1999).
32. Cho, Y.H., et al., Effect of strontium and phosphorus on eutectic Al-Si nucleation and formation of beta-Al₅FeSi in hypoeutectic Al-Si foundry alloys, *Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science*, 39A(10): p. 2435-2448 (2008).
33. Beton, R. H., Rollason, E. C., "Hardness reversion of dilute aluminium-copper and aluminium-copper-magnesium alloys", *Journal Of The Institute Of Metals*, 86: 77-85 (1958).
34. Savaşkan, T., "Malzeme Bilgisi ve Muayenesi", *Derya Kitapevi*, Trabzon, 193-195 (2004).
35. İnternet: GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ALÜMİNYUM ARAŞTIRMA VE UYGULAMA MERKEZİ, GENEL ALÜMİNYUM, <http://web.gtu.edu.tr/aluminyum/> (2018).
36. İnternet: Seykoç Alüminyum, Isıl İşlem, <http://www.seykoc.com.tr/icerik/isil-islem?dil=tr> (2017).
37. Doğan. M., Alüminyumun Isıl İşlemi, *Marmara Üniversitesi F.B. Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, (1989).
38. İnternet: Yaşlandırma işlemi, Dönüşüm Isıl İşlem, <http://www.donusumisilistem.com/yaşlandırma.html> (2011).
39. İnternet: Bodycote, Çözeltiyeye alma ve yaşlandırma: Alüminyum alaşımlar, <https://www.bodycote.com/tr/> (2019).
40. İnternet: Kocaeli Üniversitesi, "Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları", <https://docplayer.biz.tr/12743335-Aluminyum-alasimlarinin-isil-islemlerinin-esasi.html> (2012).
41. G. K. Sigworth and T. A. Kuhn, "Grain refinement of aluminum casting alloys," *International Journal of Metalcasting*, vol. 1, pp. 31-40, (2007).

42. D. G. Ibarra, "Control of grain refinement of Al-Si alloys by thermal analysis," *Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University*, Montreal: Ottawa, Canada, (1999).
43. E. Samuel, B. Golbahar, A.M. Samuel, H.W. Doty, S. Valtierra, F.H. Samuel, Effect of grain refiner on the tensile and impact properties of Al-Si-Mg cast alloys, *Mater Des*, 56 pp. 468-479 (2014).
44. F. Crossley and L. Mondolfo, "Mechanism of grain refinement in aluminum alloys," *JOM*, vol. 3, pp. 1143-1148, (1951).
45. L. Backerud, "How does a good grain refiner work," *Light Metal Age*, vol. 41, pp. 6-&, (1983).
46. P. Mohanty and J. Gruzleski, "Mechanism of grain refinement in aluminium," *Acta Metallurgica et Materialia*, vol. 43, pp. 2001-2012, (1995).
47. Kurt, B. ve Orhan N., "Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş Ti-6Al-4V alaşımı ve 316 paslanmaz çelik çiftinin ara yüzey mikroyapısının incelenmesi", *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 3 (3): 65-69, 8, (2005).

ÖZGEÇMİŞ

Almila BAHADIR 1993 yılında Karabük'te doğdu. İlk öğrenimini Karabük'te, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde öğrenime başladı. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği anabilim dalına yüksek lisans öğrencisi olarak başladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Şirinevler mah. Atlıhan cad. Altanlar apt.

42/2 Merkez/KARABÜK

Tel : 0545 713 71 38

E-posta: almilabhdr93@gmail.com