

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

**ENJEKSİYON PRES DÖKÜM YÖNTEMİYLE
ÜRETİLEN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA ALAŞIM
ELEMENT ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma YEŞİL

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yıldız Yarah ÖZBEK

Aralık 2020

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

**ENJEKSİYON PRES DÖKÜM YÖNTEMİYLE
ÜRETİLEN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA ALAŞIM
ELEMENT ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma YEŞİL

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 29.12.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile
kabul edilmiştir.**

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fatma YEŞİL

29.12.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Yıldız YARALI ÖZBEK’e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Öğretim Üyelerine teşekkür ederim.

Tez süresince çalışmış olduğum AYHAN METAL PRES DÖKÜM SAN. TİC. AŞ çalışanlarına, numune çalışması süresince yardımlarını esirgemeyen Arif BİLİMLİ, Engin MARANCI, Tarık ŞAHİN’e ve dökümde çalışan operatörlere, meslektaşlarım olan Alpaslan DİNÇ’ e, İbrahim OCAKCIOĞLU’na, yüksek lisans için beni teşvik eden, kendi engin bilgileriyle yoluma ışık tutan ZAFER SAVUR’a, özellikle de yöneticim olan Aynur AYHAN ve Yücel AYDIN’a;

Tüm kararlarımda yanımda olan ve desteklerini her zaman yanımda hissettiğim Babam Hacı YEŞİL’e, annem Fikriye YEŞİL’e ve ablam Setenay YEŞİL’e;

En çok vazgeçtiğim zamanlarda kendime güvenmemi sağlayan Meryem SARIMEHMET’e ve Semih YİĞİT’e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
ALÜMİNYUM ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması	3
2.2. Alüminyumun Özellikleri	3
2.2.1. Alüminyumun fiziksel ve mekanik özellikleri	4
2.3. Alüminyum Döküm Yöntemleri	5
2.3.1. Basınçlı döküm.....	6
2.3.1.1. Sıcak kamaralı döküm işlemi.....	6
2.3.1.2. Soğuk kamaralı döküm işlemi	7
2.3.1.3. Direk enjeksiyonlu döküm işlemi	8
2.3.2. Kokil döküm.....	8
2.3.2.1. Kokil döküm yönteminin avantajları	9
2.3.2.2. Kokil döküm yönteminin dezavantajları	9
2.3.3. Hassas döküm yöntemi	10
2.3.3.1. Hassas döküm yönteminin avantajları	11

2.3.3.2. Hassas döküm yönteminin dezavantajları	11
2.3.3.3. Kum kalıba döküm yöntemi	12
2.3.4. Kum kalıba döküm yönteminin avantajları	12
2.3.4.1. Kum kalıba döküm yönteminin dezavantajları	13
2.4. Alaşım Elementlerinin Etkisi	13
2.4.1. Bakırın etkisi	13
2.4.2. Silisyumun etkisi	13
2.4.3. Magnezyumun etkisi	14
2.4.4. Manganezin etkisi	14
2.4.5. Çinkonun etkisi	14
2.4.6. Titanyumun etkisi	15
2.4.7. Demirin etkisi	15
2.4.8. Nikelin etkisi	15
2.4.9. Sodyumun etkisi	16
2.5. Alüminyum- Silisyum Alaşımları	16
2.6. Döküm Hataları	17
2.6.1. Sıvı metal kirliliği	17
2.6.2. Türbülanslı döküm	18
2.6.3. Porozite	18
2.6.4. Çekilme boşluğu	18
2.6.5. Segregasyon	18
2.6.6. Artık Gerilmeler	19
 BÖLÜM 3.	
YORULMA	20
3.1. Yorulma Tarihi	20
3.2. Alüminyum Alaşımlarında Yorulma Davranışı	21
3.3. Yorulma Etkisiyle Kırılma	22
3.4. Yorulma Deneyleri	24

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
4.1. Enjeksiyon Pres Döküm Yöntemiyle Numunelerin Hazırlanması.....	26
4.2. Kesme İşlemi.....	27
4.3. Mikro-Sertlik Ölçümleri.....	28
4.4. Bakalite Alma.....	28
4.5. Metalografik Çalışmalar.....	28
4.6. SEM- EDS Analizleri.....	28
4.7. XRD (X Işını Kırınım) Analizi	29
4.8. Yorulma Testi.....	29

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR	31
5.1. Mikro Sertlik Sonuçları.....	31
5.2. Optik Mikroskop Görüntüleri.....	33
5.3. SEM ve EDS Analizi.....	36
5.4. X Işını Difraksiyonu Yöntemi.....	43
5.5. Yorulma Deneyi Sonuçları.....	45
5.5.1. Yorulma deneyinden elde edilen kırılma yüzeylerinin incelenmesi	48

BÖLÜM 6.

TARTIŞMA VE SONUÇ	63
6.1. Öneriler.....	65

KAYNAKÇA.....	66
---------------	----

ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
----------------	---

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al_2O_3	: Alüminyum oksit
H_2O	: Su
AL	: Alüminyum
CU	: Bakır
EDS	: Enerji dağılım spektroskopi
H_2SO_4	: Sülfirik asit
HF	: Hidrojen Florür
MG	: Magnezyum
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SI	: Silisyum
SiO_2	: Silisyum dioksit
Tİ	: Titanyum
XRD	: X ışını kırınımı
YMK	: Yüzey merkezli kübik yapı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sıcak Kamaralı Döküm Makinası.....	7
Şekil 2.2. Soğuk Kamaralı Döküm Makinası	8
Şekil 2.3. Döküm işleminden önce kalıp yüzeylerine refrakter malzemenin püskürtülmesi	9
Şekil 2.4. Kokil kalıpta iki parçalı dökümün gösterilmesi.....	9
Şekil 2.5. Kum kalıp örneği	12
Şekil 2.6 Al-Si denge diyagramı	16
Şekil 2.7. Al-%5Mg alaşımlarında tane segregasyonu olan döküm yapısının şematik gösterimi	19
Şekil 3.1. Malzeme türüne bağlı olarak yorulma karakteristiği	21
Şekil 3.2. Wöhler ve hasar çizgileri eğrisi	22
Şekil 3.3. Yorulma çatlak oluşum safhaları	23
Şekil 3.4. Çatlak ilerlemesi ve yönü.....	24
Şekil 3.5. Yorulma Tipleri	24
Şekil 3.6. Yorulma testinde kullanılan sinüzoidal yükleme.....	25
Şekil 4.1. Yorulma deney numunesi	29
Şekil 4.2. Yorulma test cihazı	30
Şekil 5.1. ENAC46200 alaşımlı numunelerde sertliğe bakır etkisi	32
Şekil 5.2. ENAC43400 alaşımlı numunelerde sertliğe magnezyum etkisi	32
Şekil 5.3. ENAC46200 alaşımlı numunelerin (a) x10 büyütme, (b) x50 büyütme optik fotoğrafları	33
Şekil 5.4. %2,4Cu içeren numunelerin (a) x10 büyütme, (b) x50 büyütme optik fotoğrafları	34
Şekil 5.5. %2,7Cu içeren numunelerin (a) x10 büyütme (b) x50 büyütme optik fotoğrafları	34

Şekil 5.6. ENAC43400 alaşımlı numunelerin (a) x10 büyütme, (b) x50 büyütme optik fotoğrafları	35
Şekil 5.7. %0,4Mg içeren numunelerin (a) x10 büyütme, (b) x50 büyütme optik fotoğrafları	35
Şekil 5.8. %0,6Mg içeren numunelerin (a) x20 büyütme, (b) x100 büyütme optik fotoğrafları	35
Şekil 5.9. ENAC46200 alaşımlı numunelerin (a) x3000 büyütme, (b) x10000 büyütme SEM fotoğrafları.....	36
Şekil 5.10. ENAC46200 alaşımlı numunenin EDS Fotoğrafı	37
Şekil 5.11. %2,4Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin (a) x3000 büyütme, (b) x10000 büyütme SEM fotoğrafı.....	37
Şekil 5.12. %2,4Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunenin EDS Fotoğrafı.....	38
Şekil 5.13. %2,7Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin (a) x3000 büyütme, (b) x10000 büyütme SEM fotoğrafları	38
Şekil 5.14. %2,7Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin EDS Fotoğrafı.....	39
Şekil 5.15. ENAC43400 alaşımlı numunelerin (a) x3000 büyütme, (b) x10000 büyütme SEM fotoğrafları.....	40
Şekil 5.16. ENAC43400 alaşımlı numunelerin EDS Fotoğrafı	40
Şekil 5.17. %0,4Mg içeren ENAC43400 alaşımlı numunelerin (a) x5000 büyütme, (b) x10000 büyütme SEM fotoğrafları	41
Şekil 5.18. %0,4Mg içeren ENAC43400 alaşımlı numunelerin EDS fotoğrafı.....	41
Şekil 5.19. %0,6Mg içeren numunelerin (a) x3000 büyütme, (b) x10000 büyütme SEM fotoğrafları	42
Şekil 5.20. %0,6Mg içeren numunelerin EDS fotoğrafı	42
Şekil 5.21. ENAC46200 alaşımlı, ağırlık %2,4Cu ve ağırlık %2,7Cu içeren numunelerin XRD Paterni.....	44
Şekil 5.22. ENAC43400 alaşımlı, ağırlık %0,4Mg içeren ve ağırlık %0,6Mg içeren numunelerin XRD Paterni.....	44
Şekil 5.23. Teste kopan numune örneği	46
Şekil 5.24. ENAC 46200 alaşımlı, ağırlık %2,4Cu içeren ve ağırlık %2,7Cu içeren numunelerin gerilme- çevrim sayısı eğrileri	47

Şekil 5.25. ENAC43400 alaşımlı ve ağı. %0,4Mg içeren numunelerin gerilme-çevrim sayısı eğrisi	48
Şekil 5.26. ENAC46200 alaşımlı numunenin a) 80 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 80 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 90 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 90 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	49
Şekil 5.27. ENAC46200 alaşımlı numunenin a) 70 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 70 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	50
Şekil 5.28. ENAC46200 alaşımlı numunenin a) 50 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 50 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	50
Şekil 5.29. %2,4Cu içeren alaşımlı numunenin a) 90 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 90 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 80 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 80 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	51
Şekil 5.30 %2,4Cu içeren alaşımlı numunenin a) 70 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 70 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	52
Şekil 5.31. %2,4Cu içeren alaşımlı numunenin a) 50 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 50 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	52
Şekil 5.32. %2,7Cu içeren alaşımlı numunenin a) 90 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 90 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 80 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 80 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	53
Şekil 5.33. %2,7Cu içeren alaşımlı numunenin a) 70 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 70 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	54

Şekil 5.34. %2,7Cu içeren alaşımlı numunenin a) 50 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 50 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	54
Şekil 5.35. ENAC43400 alaşımlı numunenin a) 75 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 75 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 90 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 90 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	55
Şekil 5.36. ENAC43400 alaşımlı numunenin a) 45 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 45 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	56
Şekil 5.37. Ağ. %0,4Mg içeren alaşımlı numunenin a) 75 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 75 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 90 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 90 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	57
Şekil 5.38. Ağ. %0,4Mg içeren alaşımlı numunenin a) 45 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 45 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü	58
Şekil 5.39. ENAC46200 alaşımlı numuneden alınan a) 50 MPa’ da alınan EDS fotoğrafı b) 90 MPa’ da alınan EDS fotoğrafı	59
Şekil 5.40. Ağ. %2,4Cu içeren alaşımın a)50 MPa’ da kırılan numunenin EDS fotoğrafı b) 90 MPa’da kırılan numunenin EDS Fotoğrafı	59
Şekil 5.41. %2,7Cu içeren alaşımın a)50 MPa’ da kırılan numunenin EDS fotoğrafı b) 90 MPa’da kırılan numunenin EDS Fotoğrafı	60
Şekil 5.42. ENAC 43400 alaşımlı numunenin a)45 MPa’ da kırılan numunenin EDS fotoğrafı b) 90 MPa’da kırılan numunenin EDS Fotoğrafı	61
Şekil 5.43. %0,4Mg içeren numunenin a) 45 MPa’ da kırılan numunenin EDS fotoğrafı b) 90 MPa’da kırılan numunenin EDS Fotoğrafı	61

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması	3
Tablo 3.1. Yorulmaya etki eden iç ve dış etkenler.....	20
Tablo 3.2. R değeri ile gösterilen yorulma yükü modları	25
Tablo 5.1. Deneyde kullanılan numunelerin spektral analiz ile belirlenmiş alaşım yüzdeleri.....	31
Tablo 5.2. Deneyde kullanılan numunelerin brinel olarak belirlenmiş sertlik değerleri.....	31
Tablo 5.3. ENAC46200 alaşımlı numunenin EDS Analiz Sonuçları	37
Tablo 5.4. %2,4Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin EDS analiz sonuçları	38
Tablo 5.5. %2,7Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin EDS analiz sonuçları	39
Tablo 5.6. ENAC43400 alaşımlı numunelerin EDS analiz sonuçları.....	40
Tablo 5.7. %0,4Mg içeren ENAC43400 alaşımlı numunelerin EDS analiz sonuçları	41
Tablo 5.8. %0,6Mg içeren numunelerin EDS analiz sonuçları.....	42
Tablo 5.9. ENAC46200 alaşımlı numunelerin yorulma deney sonuçları	45
Tablo 5.10. %2,4Cu içeren numunelerin yorulma deney sonuçları.....	45
Tablo 5.11. %2,7Cu içeren numunelerin yorulma deney sonuçları.....	45
Tablo 5.12. ENAC43400 alaşımlı numunelerin yorulma deney sonuçları	45
Tablo 5.13. %0,4Mg içeren numunelerin yorulma deney sonuçları	46
Tablo 5.14. ENAC46200 alaşımlı numunenin 50MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi.....	59
Tablo 5.15. ENAC46200 alaşımlı numunenin 90MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi.....	59

Tablo 5.16. %2,4Cu içeren numunenin 50MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi	60
Tablo 5.17. %2,4Cu içeren numunenin 90MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi	60
Tablo 5.18. %2,7Cu içeren numunenin 50MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi	60
Tablo 5.19. %2,7Cu içeren numunenin 90MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi	60
Tablo 5.20. ENAC 43400 alaşımlı numunenin 45MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi.....	61
Tablo 5.21. ENAC 43400 alaşımlı numunenin 90MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi.....	61
Tablo 5.22. %0,4Mg içeren numunenin 45MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi	61
Tablo 5.23. %0,4Mg içeren numunenin 90MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi	62

ÖZET

Anahtar kelimeler: ENAC43400, ENAC46200, pres enjeksiyon, alaşım element etkisi

Bu alışmada, ENAC 43400 külçesine ve ENAC 46200 külçesine yüzde oranları değiştirilerek Mg ve Cu elementleri ilave edilmiş olup, farklı oranlarda ilave edilmiş olan alaşımların döküme olan katkısını incelemek hedeflenmiştir. Aynı alaşıma sahip numunelere farklı yüzdeliklerle belirli alaşım elementleri ilave edilerek mekanik testler uygulanmıştır. Bu doğrultuda üretilen numuneler çeşitli testlerden geçirilmiş ve alaşımın etkisi gözlemlenmiştir. Aynı zamanda porozite tayini testi ile belirli ölçekte porozite içeren parçanın yük altında nasıl tepki vereceği incelenmiş olup, alaşım içeriğinin poroziteye etkisi sorgulanmıştır. Yük altında Mg alaşımının etkisiyle alaşım oranlarına bağlı olarak mukavemetin artması sonucuna ulaşılmıştır. 3 farklı numune alınmasıyla stabil durumdaki (ENAC43400) numune ile belirli oranda eklenen Mg ile yapılan kıyaslama sonucunda beklenen mukavemet artışına ulaşılmıştır. Buna ek olarak ENAC 46200 numuneleri içinde koroziif ortama dayanıklılık test edilmesi amacıyla aynı alaşım özellikli numunelere farklı yüzdeliklerde Cu ilave edilerek sonuçlar alınmıştır. Yapılan yorulma numunesi ve korozyon denemesinde Cu oranının belli değere kadar koroziif etki yarattığı sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmada elde edilen bulgulara göre, beklenen şekilde Mg ve Cu alaşım elementlerinin dkm özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

THE EFFECT OF ALLOY ELEMENTS ON ALUMINIUM ALLOYS PRODUCES BY INJECTION PRESS CASTING METHOD

SUMMARY

Keywords: ENAC43400, ENAC46200, press injection, alloy element effect

In this study, the effects of alloying elements added to the samples made using the injection press casting method on the casting method were investigated Mg and Cu elements were added to ENAC 43400 ingots and ENAC 46200 ingots by changing the percentages, and it was aimed to examine the contribution of alloys added in different proportions to the casting. Specific alloying elements with different percentages were added to the samples with the same alloy and mechanical tests were applied. Samples produced in this direction have been subjected to various tests and the effect of the alloy has been observed. In addition, in order to test the resistance to corrosive environment in ENAC 46200 samples, results were obtained by adding different percentages of Cu to the same alloyed samples. It has been concluded that Cu rate has a corrosive effect up to a certain value in the fatigue sample and corrosion test. According to the findings obtained in the study, it was concluded that Mg and Cu alloy elements improved casting properties as expect.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Döküm genel hatlarıyla, sıvı halde bulunan hammaddenin istenilen bir kalıba dökülmesiyle uygun şeklin oluşturulma durumudur. Alüminyum alaşımları hafiftir, karmaşık şekiller ve ince duvarlar için yüksek boyutsal stabiliteye sahiptir. Alüminyum iyi korozyon direnci ve mekanik özelliklere, yüksek termal elektrik iletkenliğine ve yüksek sıcaklıklarda mukavemete sahiptir [1].

Kalıplar veya kalıp döküm takımları, dökümlerin çıkarılmasına izin vermek için en az iki bölümde alaşım takım çeliklerinden yapılır. Modern kalıplar ayrıca dökümde delikler, dişler ve istenen diğer şekilleri üretmek için hareketli kızaklara, göbeklere veya diğer bölümlere sahip olabilir. Sabit kalıp delikleri, erimiş metalin kalıba girmesine ve boşluğu doldurmasına izin verir. Ejektör yarısında genellikle erimiş metali boşluğa yönlendiren yerler bulunur [2].

Basıncılı dökümde, iki kalıp yarısı makinenin hidrolik basıncıyla kilitlenir ve birlikte tutulur. 2 kalıbın oluşturduğu boşluklara kalıp ayırma çizgisi olarak adlandırılır. Alüminyum alaşımı döküm özelliklerinin iyi olması, yoğunluğunun düşük olması, korozif özelliğinin olması ve döküm yöntemlerine uyumluluğu nedeniyle en çok tercih edilen metal grupları arasındadır.

Silisyum, alüminyuma ilave edilen en bilinen alaşım elementidir. Alüminyum-Silisyum alaşımları mükemmel döküm özelliği ve iyi korozif direnç isteyen uygulamalarda oldukça tercih edilmektedir. Magnezyum, alüminyuma ilave edilen diğer bir alaşım elementidir. Korozyona karşı gösterdiği direnç ve kaynaklanabilme özelliği ile ve yüksek mukavemet istenen uygulamalarda özellikle tercih edilmektedir [2].

Bu çalışmada ise Al-Si alaşımlı (farklı yüzdeliklerde) ENAC43400 ve ENAC46200 alaşımlarına ilave edilen farklı yüzdeliklerde Mg ve Cu ilavesinin sertlik, korozyon ve aşınma gibi mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada ergitilmiş ENAC43400 külçesinden numune alındıktan sonra, belirli yüzdeliklerde Mg elementi ilave edilerek numune alınmıştır. Yüzdeliklerle ilgili ilerleyen yerlerde değinilmiştir. Aynı işlem ergitilmiş ENAC46200 külçesinden numune alınmış ve belirli yüzdeliklerde Cu ilave edilerek numune alınmıştır. Aynı külçeden çekme numunesi kalıbıyla çekme numuneleri basılmıştır. Numuneler basıldıktan sonra soğutulmaya bırakılmış olup, yolluklarından ayrılmış olup çapakları temizlenmiştir. Basılan numunelere spektral analiz ile elementel analizi yapılmıştır.

Numuneler kesme işlemine tabii tutularak mikro yapı için uygun boyutlara getirilerek bakalite alma yapılmıştır. Bakalite alma işleminden sonra 200'den başlayarak 1200'e kadar zımparalanmış olup daha sonra parlatma işlemi yapılmıştır. Dağlama işlemi de yapılarak metalografik işlemlere tabi tutulmuştur. Metalografik işlemi tamamlanan numuneler optik mikroskopta incelenmiştir. Daha sonra SEM ve XRD işlemine tabi tutularak, Brinell olarak sertliklerine bakılmıştır.

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM ÖZELLİKLERİ

2.1. Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması

Döküm alaşımlarının sınıflandırılması ve isimlendirilmesi kimyasal kompozisyona göre yapılmaktadır. Uluslararası olarak kabul edilen isimlendirme U.S Aluminium Association tarafından alüminyum alaşımların sınıflandırılmasında kullanılır. Bu dizilime göre Tablo 2.1.'de görülebileceği üzere bu gösterimde ilk rakam majör alaşımlandırma elementini göstermektedir [1].

Tablo 2.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [1].

SINIFLANDIRMA	TEMEL ALAŞIM ELEMENTİ	SINIFLANDIRMA	TEMEL ALAŞIM ELEMENTİ
1xx.x	Alaşımlandırılmamış Alüminyum	6xx.x	Kullanılmıyor
2xx.x	Bakır	7xx.x	Zn
3xx.x	Silis ile Mg veya Cu	8xx.x	Sn
4xx.x	Si	9xx.x	Kullanılmıyor
5xx.x	Mg		

Bu sınıflandırmada 1xx.x grubunda (1xx) alaşım içerisindeki en az alüminyum içeriğini belirtmektedir. Örneğin 180.x dizilimi %99,80 saflığındaki alüminyumunu ifade etmektedir. Noktadan sonraki hane ürün şeklini nitelendirmektedir. Bu dizilimde 0, dökümler için 1 ise külçeler içindir [1]. 2'den 9'a kadar olan grupta noktanın solunda bulunan iki rakam sadece grup içerisindeki alaşımları ayırt etmek için kullanılmaktadır. Noktanın sağındaki rakam ise ürün şeklini ifade etmektedir [1].

2.2. Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum alaşımlarının sektörde çok kullanılmasının en önemli özelliği hafifliği ve $2,7g/cm^3$ olan yoğunluğudur. Bakırın yoğunluğu $8,93g/cm^3$ ve çeliğin yoğunluğu $7,83g/cm^3$ olup alüminyum neredeyse bu yoğunlukların üçte birine denk gelmektedir.

Bakırın elektrik ve ısı iletkenliği alüminyuma kıyasla daha iyidir. Fakat Isı iletkenliği/yoğunluk ve elektrik iletkenliği/yoğunluk değerleriyle kıyaslandığında alüminyumun özelliği ortaya çıkmaktadır. Fiyat performansı olarak bakıra kıyasla daha ucuzdur. Bu özelliklerinden dolayı havacılık sektöründe alüminyum alaşımları oldukça kullanılmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri içerdiği Cu, Zn, Si, Mg, Fe ve Ti gibi alaşım elementlerinin etkisi ile yükselir. Alüminyuma çok az miktarda katılan bu alaşım elementleri alüminyumun YMK kristal kafes yapısında yer alıp katı ergiyik oluşturarak mukavemetini artırır. Alaşım elementinin yapı içerisinde miktarının artması ile mukavemet de artar fakat malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti azalır. Uygulanan şekil verme işlemi ile de mekanik özellikleri artırılabilir [3].

Alüminyum aynı zamanda işlenebilme kabiliyeti, korozyon ortama karşı dayanımı, mekanik özellikleri ve fiziksel özellikleri ile de tercih edilmektedir. Demirin oksit yapısı pas oluştururken, alüminyumun oksit yapısı Al_2O_3 koruyucu tabaka oluşturarak yüzeyden parça şeklinde kopmaz [4].

2.2.1. Alüminyumun fiziksel ve mekanik özellikleri

Yer kabuğunda %8 oranında bulunan alüminyum, periyodik cetvelin 3A grubunda bulunur. Atom numarası 13 olup, atom ağırlığı ise 26,981538 g/mol’ dır. İyon çapı 0,86 Å olan alüminyumun, atom çapı ise 1,43 Å’dür. Alüminyum, yüzey merkezli kübik kristal kafeslerinden oluşmuştur ve $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ den ergime noktası olan $658\text{ }^{\circ}\text{C}$ ‘ye kadar kararlıdır, yani fiziksel bir dönüşüm göstermez.

Yüksek saflıktaki alüminyum, alaşımlı alüminyuma nazaran çok daha yumuşak ve elastiktir. Ayrıca mekanik mukavemeti de daha düşüktür. Saflık oranına bağlı olarak elastiklik modülü artar. Aynı zamanda Alüminyum metalinin saflığı arttıkça, sertliği düşer. Yapılan deneyler, artan saflık derecesi ile çekme mukavemetinin azaldığını göstermiştir.

Yüksek saflıktaki alüminyumda kopma anında kesit yüzeyinin küçülmesi en fazladır. Bu durum alüminyumun saflığının artmasıyla süneklik oranının artması şeklinde yorumlanabilir [3].

Alüminyumun saflık derecesi arttıkça ergime derecesi de yükselir. Katı halden sıvı hale geçerken metalin hacmi büyür. %99,65 alüminyum içeren metalde bu büyüme %6,25 civarında iken; %99,75 alüminyum içeren metalde de %6,60 büyüme gözlenir. Hem sıvı ve hem de katı alüminyumun yoğunluğu, artan saflık derecesiyle orantılı olarak düşer. Alüminyumun saflık derecesi büyüdükçe, ısı ve elektrik iletkenliği de buna paralel olarak artar.

2.3. Alüminyum Döküm Yöntemleri

Döküm yöntemi basit ya da komplike yapıya sahip parçaların üretiminde kullanılmaktadır. Dökülen malzemelerin ağırlıkları döküm türüne bağlı olarak birkaç gramdan birkaç tona kadar geniş bir skalada değişiklik göstermektedir. Döküm yönteminin tercih edilmesinin birçok avantajı vardır. Bunlar başlıca şöyledir;

- Komplike parçaların üretimine imkân sağlaması,
- Yüksek adetli seri üretim hızı,
- Üretilen ürünlerin daha az talaşlı imalata ihtiyaç duyması,
- Farklı metal ve alaşımlarına uygulanabilmesi,
- Farklı ağırlık için döküm yönteminin uygun olması,
- Aynı parçanın tercihe göre farklı döküm yöntemleriyle de dökülebilmek ihtimalinin olması.

Başlıca döküm yöntemleri;

- Kum kalıba döküm,
- Kokil kalıba döküm,
- Basınçlı döküm
- Hassas döküm [3].

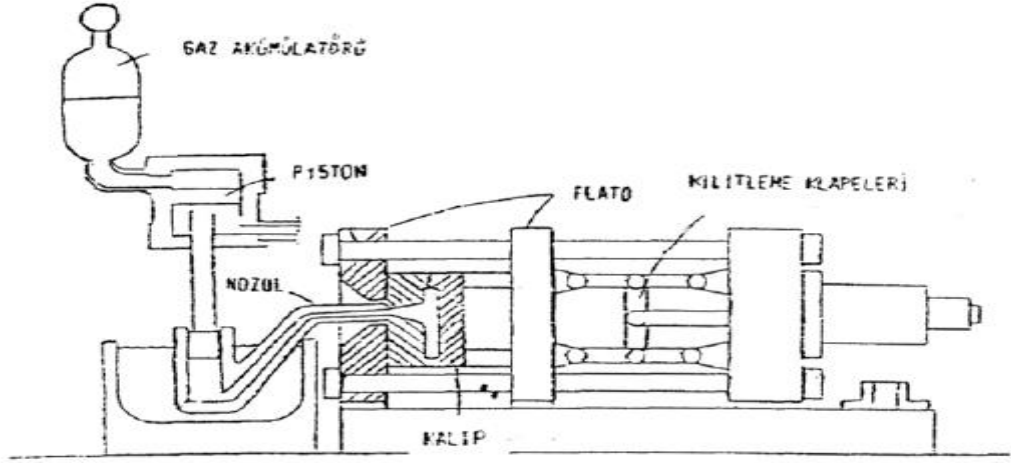
2.3.1. Basınçlı döküm

Basınçlı döküm, hidrolik sistemle çalışan bir makine yardımıyla sıvı metalin yüksek basınç ile yüksek hızda istenilen şekilde bulunan kalıba enjekte edilmesiyle tarif edilen döküm yöntemidir.

Basınçlı dökümde seri ve çok sayıda parça üretimi, temiz yüzey ve karmaşık şekillerin kolay şekilde dökülmesi gibi avantajları vardır [5]. Bu döküm yöntemiyle çoğunlukla Alüminyum, bakır, magnezyum, çinko bazlı metaller dökülmektedir. Bu yöntem, döküm yöntemine bağlı olarak 3'e ayrılır.

2.3.1.1. Sıcak kamaralı döküm işlemi

Genel olarak kalıp, kalıp kilitleri, piston, nozül, gaz akümülatörü ve sıvı metal haznesinden oluşan bu sistem esas olarak H.H. Dohler tarafından geliştirilmiştir [5]. Ergimiş olarak bulunan metalin silindire dolmasına müsaade edecek şekilde piston seviyesinin yükselmesiyle birlikte bir kapı açılır. Pistonun aşağı doğru hareketi ile metalin silindire aktığı ağız kapanır. Bunun ardından piston yardımıyla basınç altında sıvı metal boynu ve nozuldan geçerek kalıbı doldurur. Metal katılaştıktan sonra pistonun konumu aşağı durumdayken kalıp açılarak döküm parçası elde edilir. Sıcak kamaralı döküm yöntemiyle ince cidarlı malzemelerin dökümü diğer yöntemlere nazaran daha uygundur [6]. Aynı zamanda ergime sıcaklığı düşük metaller için oldukça tercih edilir.



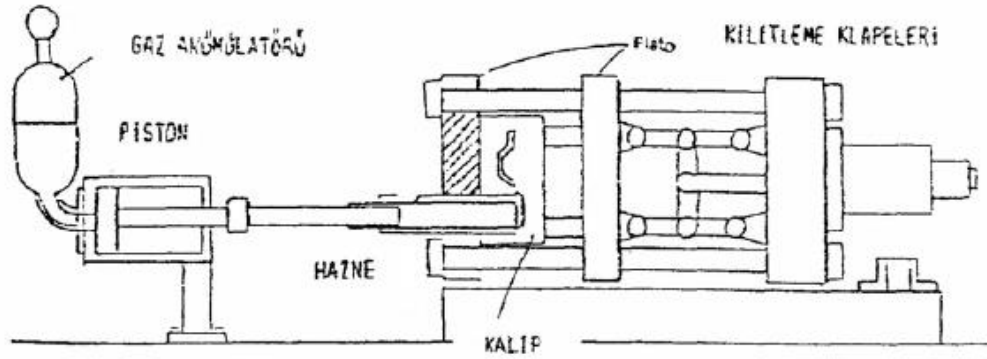
Şekil 2.1. Sıcak Kamaralı Döküm Makinası [5].

2.3.1.2. Soğuk kamaralı döküm işlemi

Diğer döküm yöntemlerinden farkı döküm potasının makinaya bitişik olmayıp bağımsız bir pota şeklinde olmasıdır. Soğuk kamaralı makinalarda sistem bir kepçe vasıtasıyla potadan alınan sıvı metal makinanın ocak denilen haznesine boşaltılması ve pistonun hareketi ile çalışmaktadır. Harekete geçirilen piston haznedeki sıvı metali yüksek bir basınçla kalıp boşluğuna doldurur. Ergimiş metal silindire döküm ağzı veya döküm deliğiyle aktarılır [5].

Pistonun ileri hareketi ile döküm deliği kapanır ve metal yüksek basınç altında kalıba enjekte edilir. Kalıp boşluğunu doldurması gerekende daha fazla metal silindir içerisine aktarılır. Bu durum kalıp boşluğunda bulunan alaşımı katılaşıncaya kadar basınç altında tutma görevini üstlenir. Fazla olan döküm parçası ile metal dışarı itilir, sonrasında parçadan kesilerek ayrılır [6].

Sıvı metal ile kalıp arasındaki ısı transferi sonucunda kalıp içerisinde katılaştıran metal, kalıbın açılması ile makinadan alınır ve kalıp tekrar yağlanarak bir sonraki çevrime geçilir (Şekil 2.2.) [6].



Şekil 2.2. Soğuk Kamaralı Döküm Makinası [6].

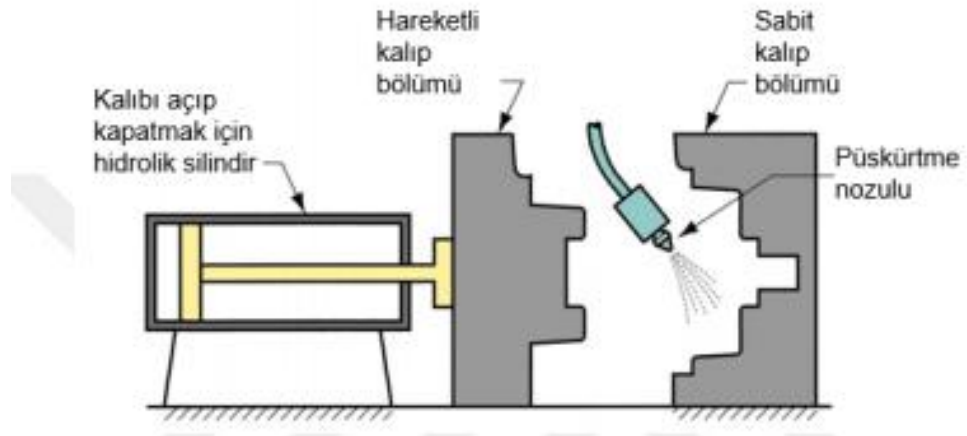
2.3.1.3. Direk enjeksiyonlu döküm işlemi

Bu yöntem çok fazla kullanılmamakta olup, ergime sıcaklığı düşük olan polimer ve metallerin dökülmesinde kullanılmaktadır. Bu döküm yönteminde sıcak hazneden kalıp boşluğuna püskürtme sistemiyle püskürtülmesi ile kalıp ergimiş metal ile dolar. Diğer yöntemler gibi kalıp açılarak parça alınır. Ancak diğer yöntemlerin (sıcak ve soğuk kamaralı) yaygınlaşmasıyla bu yöntemin kullanılması azalmıştır [5].

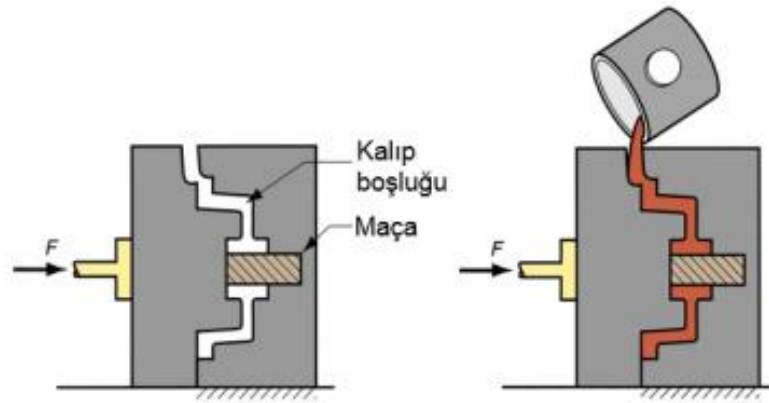
2.3.2. Kokil döküm

Kokil döküm; döküm parça üretimi eritilmiş halde bulunan metalin kokil olarak isimlendirilen metal kalıba dökülmesiyle elde edilen döküm yöntemidir. Kalıbın iç yüzeyini oluşturan boşluk istenilen döküm parçanın şeklini oluşturur. Katılaşma esnasında hacim azalması oluşur. Oluşan hacim azalması sisteme sıvı metal doldurularak tamamlanır. Döküm kalıplarında yer alan besleyiciler ve çıkıcılardan gerekli metal karşılanır. Kokil dökümün en önemli işlevi sistemden ısının uzaklaştırılmasıdır. Kum kalıba döküm yöntemiyle karşılaştırıldığında tane boyutunun küçültmesi ve metali çabuk soğutması gibi özellikleriyle öne çıkar [7].

Aynı zamanda kokil kalıp metal kalıp kullanmasıyla kum kalıba döküm yönteminden ayrılır [8]. Kokil kalıba döküm işlemi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Döküm işleminden önce kalıp yüzeylerine refrakter malzemenin püskürtülmesi [8].



Şekil 2.4. Kokil kalıpta iki parçalı dökümün gösterilmesi [8].

2.3.2.1. Kokil döküm yönteminin avantajları

- Döküm işlemi için küçük bir alana ihtiyaç duyar.
- Bu döküm yöntemi tek parçadan oluşmaktadır. Dolayısıyla diğer yöntemlere göre daha mukavemetli sayılabilir.
- Dökülen parçaların yüzey kalitesi iyidir [8].

2.3.2.2. Kokil döküm yönteminin dezavantajları

- Düşük sıcaklıklarda eriyen metallerin dökümü ile kısıtlıdır.
- Sadece küçük parçaların dökümü için uygundur.

- Seri üretim için ekonomik hale gelmektedir [8].

2.3.3. Hassas döküm yöntemi

Hassas döküm yönteminde 2 farklı yöntem uygulanmaktadır. Dereceli hassas döküm ve seramik kabuklu hassas döküm olarak incelemek mümkündür [9]. Seramik kabuklu hassas döküm yöntemi esas; istenilen modelin balmumundan model yapısı oluşturulur. Yine mumdan yapılmış gövdeye hazırlanan model yapıştırılır. Oluşturulan yapı seramik banyosuna daldırılarak dış kısımda ince tabaka şeklinde yayılması sağlanır. Dışı sert seramik kaplı parça otoklav fırınına sokularak mum yapısının buharlaşarak kaybolmasına ve seramik yapının kalması sağlanır. Modelin boşalttığı boşluğa sıvı metal dökülerek istenilen parçanın döküm hali elde edilmiş olur. Metal soğuma işleminden sonra seramik malzeme kırılarak parça elde edilir. Elde edilen parçaya yüzey temizleme ve çapak alma işlemi uygulanır [10]. Hassas döküm üretim aşamaları aşağıdaki sırayla özetlenebilir.

- Mum model üretimi
- Model ağacı oluşturma
- Refrakter kaplama
- Mum eritme
- Döküm
- Kalıp kırma
- Kesme ve taşlama [9].

Dereceli hassas döküm yöntemi esas; bu yöntemde demir esaslı ve demir dışı alaşımlar için ayrı sınıflandırmak gerekmektedir. Demir dışı alaşımlar için modelde ön kaplamaya ihtiyaç yoktur. Anca demir esaslı alaşımlarda modele ön kaplamaya ihtiyaç duymaktadır.

1000°C daha yüksek sıcaklıklarda eriyen metal dökümü için mum salkımı refrakter çamura daldırılarak ön kaplama işlemi uygulanır. Kalıp harcının düzgün olabilmesi ve model ile bir bütünlük sağlayabilmesi için kalıplama masasına titreşim işlemi

uygulanır. Kaplama sonrası 95-150°C ısıtılarak mum dışarıya aktarılır [10]. Genel hatlarıyla dereceli hassas döküm aşamaları aşağıdaki gibidir.

- Kalıba mum enjekte edilmesi
- Mum model elde edilmesi
- Modeller salkıma monte edilmesi
- Derece kalıp harcı ile doldurulması
- Kalıp malzemesi katılaştıktan sonra mumun eritilmesi
- Isıtılmış kalıba metal dökülmesi
- Kalıbın kırılarak parçanın alınması
- Parçaların salkımdan kesilmesi ve nihai ürüne ulaşma [10].

2.3.3.1. Hassas döküm yönteminin avantajları

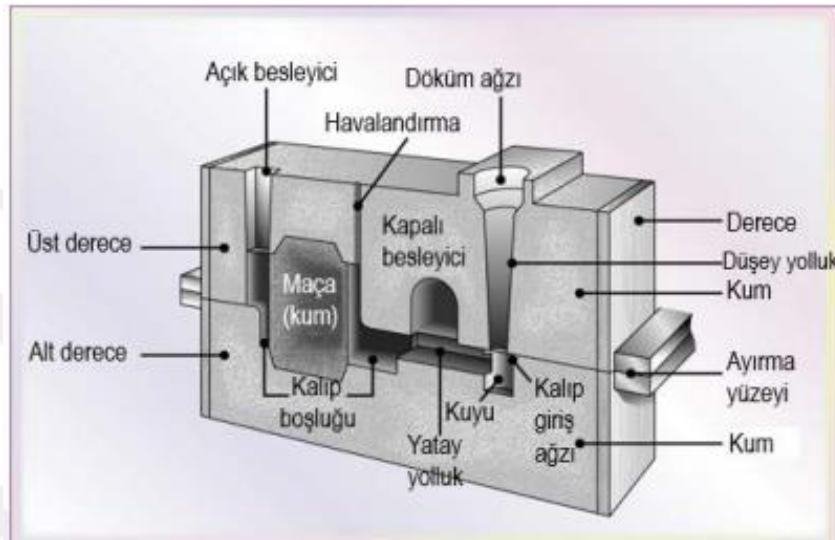
- Aynı anda yüksek üretime olanak sağlar
- Elde edilen ürünün yüzey kalitesi yüksektir.
- Diğer döküm yöntemleriyle dökülemeyecek kadar kompleks malzemelerin üretimine imkân sağlaması
- Çevreye uygun bir üretime sahip olması
- Fazla makine kullanımına ihtiyaç duymaması
- İstenilen alaşımı seçebilme imkânı
- Üretimin maliyet açısından düşük olması
- Nihai ürünün kolay işlenebilir olması

2.3.3.2. Hassas döküm yönteminin dezavantajları

- Bu döküm yöntemiyle üretilen parçaların ölçü ve ağırlıkları sınırlıdır.
- 5 kg'den büyük parçaların imalatında döküm öncesi için gerekli ön hazırlık işlemleriyle maliyeti yükselmektedir. Dolayısıyla ağırlığı düşük parçalar için daha ekonomiktir [11].

2.3.3.3. Kum kalıba döküm yöntemi

Kum kalıba döküm yöntemi, döküm yöntemleri arasında önemli bir yere sahiptir. Yüksek sıcaklıkta eriyen neredeyse tüm alaşımlar bu döküm yöntemiyle dökülebilir. Dökümü istenilen parçanın ebatı bu döküm yöntemi için pek önemli değildir. Aşağıdaki şekilde kum kalıp örneğini teşkil etmektedir.



Şekil 2.5. Kum kalıp örneği [8].

Bu döküm yönteminde bağlayıcı içeren kumdan maça ve kalıplar yapılmaktadır. Bağlayıcı genel anlamda SiO_2 , kil ve sudan oluşmaktadır. Döküm yapılan parçanın katılaştıktan sonra parçanın kalıptan düzgün ve rahat çıkabilmesi için bağlayıcının bu esnada dayanımının az olması istenmektedir [12].

2.3.4. Kum kalıba döküm yönteminin avantajları

- İstenilen parça dökümünün yapımında kullanılan kumların bozulduktan sonra tekrar kullanılabilir.
- Döküm parçanın soğuma esnasında çatlama olmadan büzülmesine imkân sağlamaktadır.
- Kalıp boşluğundan hava ve gazların kumda bulunan boşluklardan ayrılmasına izin vermektedir [8].

2.3.4.1. Kum kalıba döküm yönteminin dezavantajları

- Soğuma esnasında çekme boşluğu oluşmaktadır [8].
- Mukavemet ve erozyon direnci düşüktür (Kum Kalıba Döküm, tarih yok).
- Yüksek yüzey kalitesi sağlayamamaktadır (Kum Kalıba Döküm, tarih yok).
- Döküm esnasında kalıp genişlemesi nedeniyle çapak oluşumuna neden olmaktadır [8].
- Parçada sızdırmazlık hatası nedeniyle soğuk birleşme meydana gelmektedir.
- Mikro yapı dengesizliği nedeniyle segregasyon oluşumuna neden olur [8].

2.4. Alaşım Elementlerinin Etkisi

2.4.1. Bakırın etkisi

Alüminyuma ilave edilen temel alaşımlardandır. Genellikle %1-12 oranında katılır. Alaşımdaki bakır miktarı arttıkça alaşımın akıcılığı, çekme dayanımı ve sertliği artar [13]. Bakır iç büzölmeleri azaltarak, alaşımın işlenme kabiliyetini artırır [14].

Bakır genel olarak sertlik, dayanım, iyi döküm özelliği katar. Ancak sıcak yırtılmaya karşı mukavemeti azalttığından dökümü zorlaştırır. %5 ten fazla ilave edilmesi durumunda mekanik işlenmesi zorlaşır. Ayrıca bakır oranına bağlı olarak elektrik iletkenliği ve korozyon direnci düşer [2].

2.4.2. Silisyumun etkisi

Silisyum ilavesiyle kaynak kabiliyeti, akışkanlık, korozyon direnci özelliklerinde iyileşme olur. Ancak silisyumun artması ile talaş kaldırma zorlaşmaktadır [2].

Döküm alaşımlarında %12'ye kadar Si alaşımının yüksek sıcaklık dayanımı, alaşımın akıcılığını artırır [14]. Silisyum içeren fazın şekil ve dağılımı mekanik özelliklere katkısında etkin rol oynamaktadır. Küçük ve yuvarlak şekilde dağılım gösteren si fazı

yüksek oranda mukavemet sağlarken, fazın iğne şeklinde dağılımı ile çekme mukavemeti artarken, sünekliği, yorulma mukavemeti azalır [2].

2.4.3. Magnezyumun etkisi

Magnezyum ilavesi bir cürufleşme meydana getirdiği için alüminyum alaşımlarının dökümünü zorlaştırır [14].

Magnezyum ilavesiyle yüksek mukavemet, korozyon direnci ve kaynak kabiliyetini artırır. Ayrıca Al-Si ötektik altı alaşımlarında demir elementinin yaptığı olumsuz etkileri giderir. Ancak süneklik özelliğini azaltır. Aynı zamanda Mg ilavesiyle Al-Si alaşımları ısıtılma ile sertleşebilme kabiliyeti kazanır [2].

2.4.4. Manganezin etkisi

Manganez, korozyon dayanımına olumsuz etki etmeden yeniden kristalleşme sıcaklığını 50-60°C ye kadar artırır. Alüminyum içinde çok az erir (%0,3). Ergime derecesini yükseltir. Alüminyum içinde % 0,1'i geçerse alüminyum, demir ve silisyum ile birleşerek ergime derecesi yüksek metaller arası bileşikler oluşturarak dibe çöker. Bu malzeme çok serttir [15].

Aynı zamanda Mg etkisi gibi demir elementinin Al-Si alaşımına yaptığı olumsuz etkileri gidererek mekanik mukavemet ve korozyon direncini artırır [2]. Aynı zamanda manganez tane küçültücü rol oynar [14].

2.4.5. Çinkonun etkisi

Çinko ilavesi işlenme kabiliyetini, çekme mukavemetini artırır. Özellikle magnezyumla beraber ilave edilirse haddelenme kabiliyetini artırdığı gibi yüksek çekme ve darbe mukavemeti de sağlar [14].

Çinko %0.50 ' nin üzerinde olduğu zaman alaşımın korozyon direncini azaltır [15]. Çinko Al-si alaşımlarında çökelme sertleşmesine sebep olarak aşınma direncini artırır [2].

2.4.6. Titanyumun etkisi

Titanyum tane küçültücü olarak rol oynar. Aynı zamanda tane küçültücü etkisi olduğundan alüminyumda çözünen hidrojen gazının neden olduğu porozitelerin katılaşmada ebatlarını küçültür ve bunların homojen dağılımını sağlayarak daha tok bir döküm elde edilir. Böylece sünekliği artırır. Ti ilavesi %0,05-0,2 arasında ilave edilirler. Basınçlı döküm alaşımlarına Ti ilavesi zararlıdır. Çünkü Ti İlavesi akışkanlığı azaltır, bu durum ise döküm sırasında zorluk çıkartır. Aynı zamanda basınçlı dökümde oluşan hızlı soğuma ile küçük taneler kendiliğinden oluşur [15]. Çekme mukavemetini de artırırken, ısı iletkenliğini düşürür [2].

2.4.7. Demirin etkisi

Yüksek si içeren alaşımlarda kaba kristalli ve gevrek yapıya neden olan demir, bu tip alaşımlarda minimum seviyede tutulmalıdır. Bazı alüminyum alaşımlarında yüksek sıcaklık mukavemetini artırır [2].

Alüminyumdaki fe oranı %0,20'yi geçerse süneklik, tokluk ve korozyon direncini azaltır. Mn ilavesiyle bu özelliklerin iyileşmesi söz konusu olabilir (Teknik Bilgiler: Kılıçlar hurda, tarih yok).

2.4.8. Nikelin etkisi

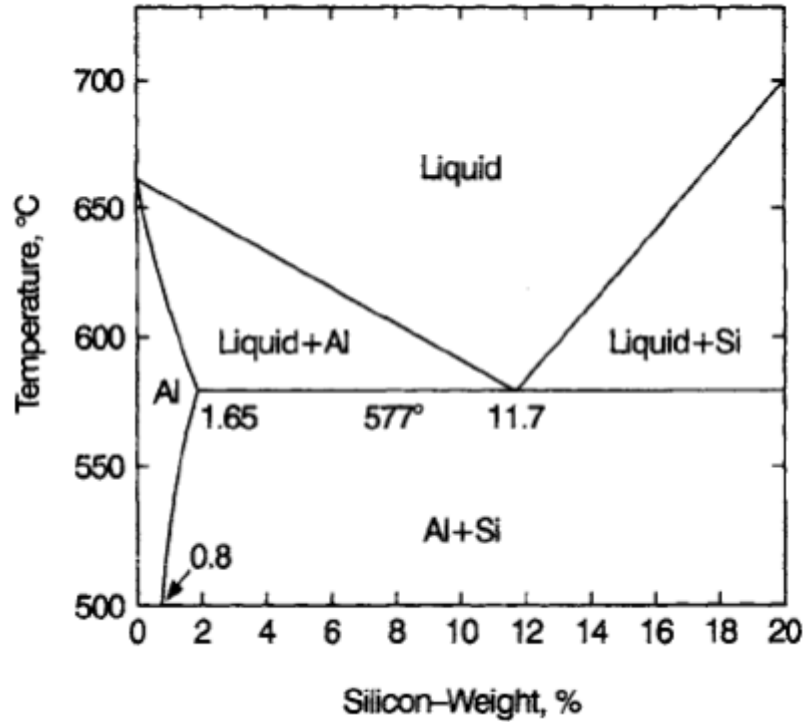
Al-Si alaşımlarına ilave edilen Ni elementi yüksek aşınma direnci ve düşük genleşme katsayısı özelliklerini artırır [2]. Genellikle yüksek sıcaklıklarda, yüksek dayanım ve sertlik istenen alaşımlara katılır [14].

2.4.9. Sodyumun etkisi

İç yapıyı modifiye edici eleman olarak katılır. %0,001 ile %0,003 oranlarında Na ilavesi ile ince ötektik malzeme yapısı elde edilir [2].

2.5. Alüminyum- Silisyum Alaşımları

Silisyum, sıvı metale bir yandan akışkanlık sağlarken, diğer yandan dökülen parçada çekinti oluşma eğilimini de azaltıyor. Aynı zamanda alüminyum ve silisyumun yoğunluk değerleri birbirine yakın olması nedeniyle yapıda homojen olarak dağılırlar [16]. Silisyumun ana alaşım elementi olarak bulunduğu alüminyum alaşımları, yüksek akıcılık, döküm sırasında düşük çekme, iyi korozyon direnci, kaynak edilebilirlik ve düşük ısıl genleşme katsayısı gibi önemli avantajlara sahiptir [17].



Şekil 2.6 Al-Si denge diyagramı [9].

Alüminyum- Silisyum denge diyagramı ele alındığında, tablodan da anlaşılabacağı üzere ağırlıkça %12,5'den düşük alaşımlar ötektik altı olarak isimlendirilirken, sıcaklığın düşmesiyle birlikte sırayla α -Al faz oluşumu ve ötektik reaksiyon gerçekleşir.

Silisyumun alüminyum içerisindeki düşük çözünürlüğünden dolayı silisyum alüminyum matris içerisinde çökelti oluşturmakta bu da alaşımın mekanik özelliklerine önemli katkılar yapmaktadır. Fakat Si miktarındaki artış Al-Si alaşımının uzama değerlerinde azalmaya neden olmaktadır [18].

Ötektik altı ve sıcaklığın hızlı düşürülerek oluşturulan hızlı soğutulmuş ötektik Al-Si alaşımlarında, Al dendritler halinde bulunur. Alüminyum dendritlerinin yapıda bulunduğu ve yüksek çekme dayanımının istendiği durumlarda silisyum değerinin ötektik değer altında tutulması gerekmektedir [19].

Ötektik altı alaşımına Cu ilave edilmesi durumunda termal olarak iletkenlik ve işlenebilirlik artarken, Mg ilavesi genel olarak yaşlanma sertleşmesi için ilave edilir. Mg oranının 0,3'den yüksek olması yapıda intermetalik bileşiğin oluşmasına neden olurken mekanik özelliği olumsuz etkilemektedir [16].

Ötektik üstü, silisyum içeriğinin %12,5'den yüksek olduğu durumdur. Bu durumda süneklik kabiliyeti düşüktür ancak aşınma dirençleri ötektik altı durumuna göre yüksektir. Si artışı ötektik altı alaşımın tersine ötektik üstü alaşımlarda mukavemet artırıcı etkiye sahiptir [16].

2.6. Döküm Hataları

2.6.1. Sıvı metal kirliliği

Hammadde olarak kullanılan sıvı metalin sağlıklı ürün alınabilmesi için empüritelerden arınmış olmalıdır. Sıvı metal temizliğinin tam anlamıyla yapılamaması durumunda dökülen parçanın mukavemet değeri düşük olur, dökümü yapılan malzemenin sonrası işlemlerinde boyama vb gibi prosesler uygulanması için fırınlama

yapılması durumunda portakallanma gibi yüzey hataları ortaya çıkar. Fireyi artırarak verimi düşürür [16].

2.6.2. Türbülanslı döküm

Sıvı metalin akış hızı türbülans yaratma konusunda en önemli etkidir. Sıvı metalin ilerleyişi esnasında metalin hareketiyle oksitler katlanıp tabaka oluşturularak mekanik özellikleri düşürür [16].

2.6.3. Porozite

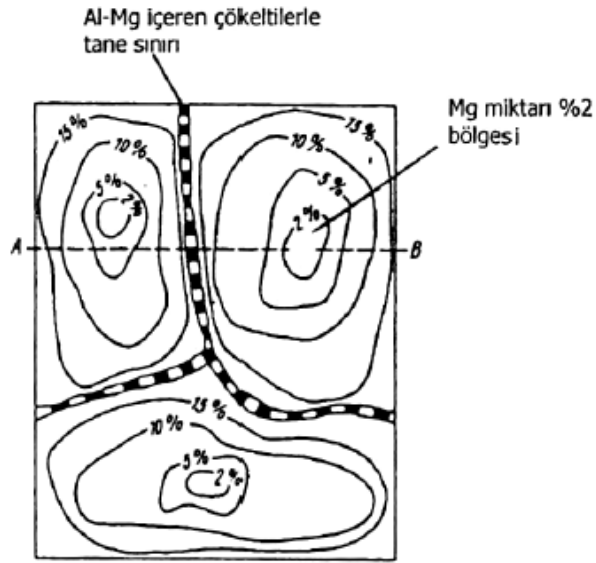
Döküm sırasında en çok karşılaşılan problemlerden biri olan porozite problemi, hacimsel çekintileri minimize etmek için sıvı metalin taneler arası bölgeleri besleme eksikliğinden ya da katılaşma sırasında gazın çözeltide çökmesi sebebiyle oluşmaktadır. Döküm anında kalıpta oluşan ve dışarı atılamayan gazlardan meydana gelmektedir. Döküm sırasında oluşan gaz boşluklarının azaltılması için gaz giderme işlemi uygulanır [16] [20].

2.6.4. Çekilme boşluğu

Metaller hacim farklılığından dolayı katılaşırken büzülürler. Sıvı metal ile beslenemeyen kalın kesitlerde meydana gelen boşluklardır. Kalıp ve parça tasarımıyla çekilme boşluğu hatası oranı düşürülür. Çekme boşluklarını minimize etmek için besleyiciler kullanılır. Döküm parçasının katılaşması sırasında oluşan çekilme boşluklarını sıvı ile doldurmak için besleyiciden takviye yapılır [20] [16].

2.6.5. Segregasyon

Yapıdaki üniform dağılımdan alaşım elementlerinin sapması segregasyon olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak parça içerisinde kimyasal bileşim farklılıklarının oluşması durumudur. Döküm sıcaklığının çok yüksek ya da soğuma hızının yavaş olduğu durumlarda yoğunluklu olarak gözlenir [2] [21].



Şekil 2.7. Al-%5Mg alaşımlarında tane segregasyonu olan döküm yapısının şematik gösterimi [14].

2.6.6. Artık Gerilmeler

Farklı üretim işlemlerinin akabinde parçada bulunmaya devam eden elastik gerilmeler, kalıntı gerilimler olarak adlandırılır. Döküm, kaynak ve ısıtım işlemi sonucunda yapıda bulunan ısısal değişimler, artık gerilmenin temel sebebi olarak gösterilebilir [16].

BÖLÜM 3. YORULMA

3.1. Yorulma Tarihi

Yorulma konusu hakkında ilk çalışmalar "Agust Wöhler" tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Wöhler, demiryolu vagonlarının aksları üzerine yorulma deney cihazını kullanmıştır. Bu deneyde uygulanan yükün büyüklüğü üzerinde çalışma yürütülmüştür. Yorulma olayında gerilme aralığının uygulanan maksimum gerilmeden daha önemli olduğu sonucu çıkmıştır. Gerilmeye karşı çevrim sayısı diyagramları kullanılarak belirli bir gerilme değerinin altındaki numunelerin kırılmadığı görülmüştür [22].

Malzemelerin tekrarlı olarak yüklere maruz kalması, bu yüklerin bir seviyenin üzerine çıkmasıyla mikro çatlak oluşur. Bu mikro çatlakların boyutunun belirli bir boyuta ulaşmasıyla malzemede ani olarak kırılma meydana gelir. Yorulmaya karşı her malzemenin çalıştığı ortam ve koşula göre farklı davranış sergiler [23].

Çentik başlangıcına sebep olabilecek şekil ve yüzey etkilerinden, aşırı yükleme, servis şartlarının uygunsuzluğu gibi farklı durumlar yorulma kırılmalarının çoğunluğunu oluşturur. Kırılmaya neden olacak etkenler tabloda verilmiştir.

Tablo 3.1. Yorulmaya etki eden iç ve dış etkenler [23].

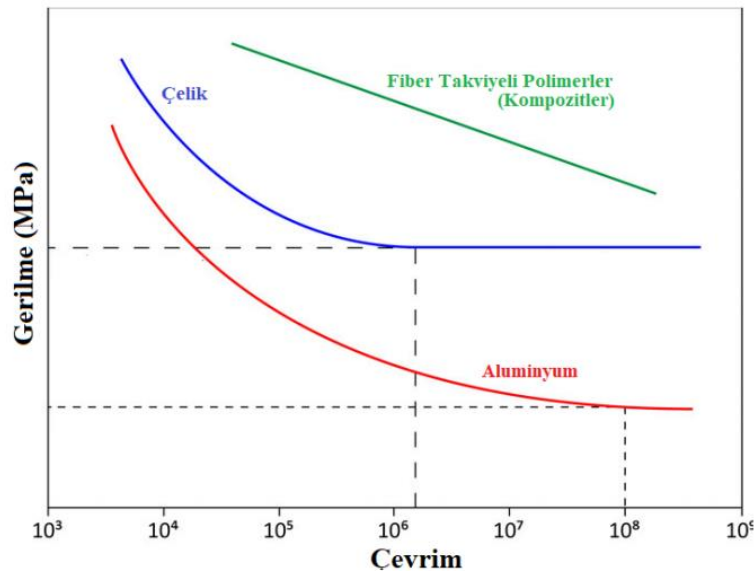
Dış etkenler	İç etkenler
Talaşlı işlem sonrası oluşan taşlama izleri vb.	Cüruf kalıntılarının çok olduğu bölgeler, gaz porozitesi, inklüzyonlar, tane sınırına yerleşen çökeltiler
Kuvvet etki noktaları	
Kuvvet doğrultularının değiştiği yerler: cıvata başları vb.	
Diğer yüzey hataları: hadde, dövme hataları	

3.2. Alüminyum Alaşımlarında Yorulma Davranışı

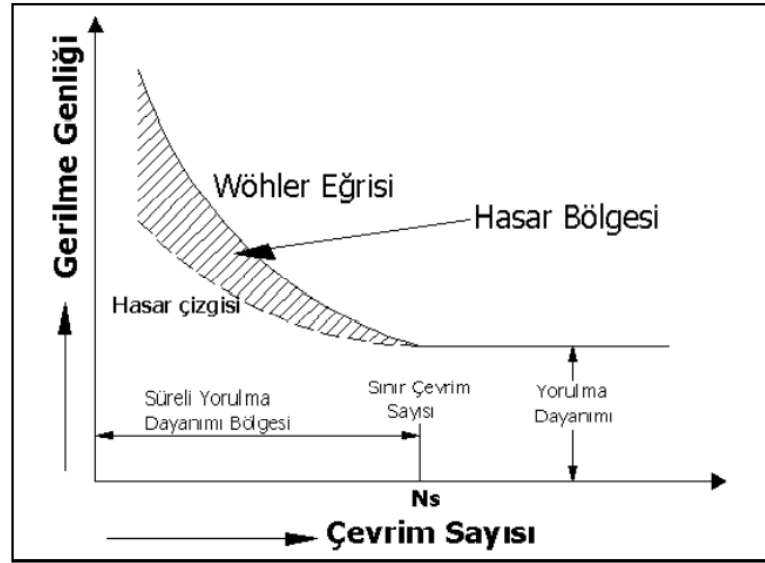
Sabit ya da farklı yük altında çalışan mekanik parçalarının davranışlarına karar vermede yorulma önemli bir etkidir. Yorulma, %85-90 oranında malzeme hasarlarında temel hata olarak görülmektedir. S-N eğrileri parçanın tekrarlı olarak sabit yüklere maruz bırakılarak yük miktarı ve çevrim ömrünün ölçülmesiyle elde edilir. Alüminyum alaşımlarının tekrarlı yüklere maruz kaldığı ve farklı çalışma ortamlarında yorulma davranışını izlemek için S-N eğrilerinden yararlanılır. Bu kapsamda kaydedilen çevrim sayısı ve yük ile oluşturulan grafik malzemenin S-N eğrisini oluşturur [24].

Bazı malzeme gruplarında sabit olarak kalan yüklemde parçanın kopmadığı görülür. Çevrim ömrü artmasına rağmen kopma gözlenmediğinden S-N eğrisi yatay olarak devam eder ve malzemenin bu değerin altındaki yüklemelerde sonsuz bir çevrim ömrüne sahip olduğu varsayılır [24].

Çelik malzemeler sonsuz ömre sahiptir. Bu eğride 10^6 çevrimi yorulma sınırı olarak kabul edilmektedir. Ancak alüminyumda yorulma sınırı yoktur. Dolayısıyla alüminyum için tasarımında yorulma davranışının incelenmesi önemlidir.



Şekil 3.1. Malzeme türüne bağlı olarak yorulma karakteristiği [24].



Şekil 3.2. Wöhler ve hasar çizgileri eğrisi [23].

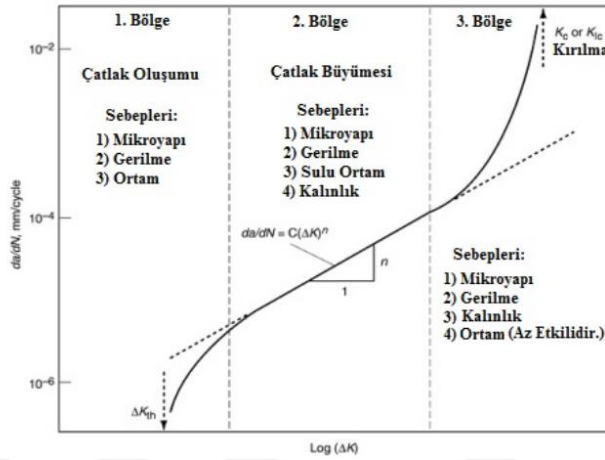
3.3. Yorulma Etkisiyle Kırılma

Yorulma zorlamasında kuvvet veya moment artma veya azalma göstermektedir. Yorulma esnasında şekil değişimleri malzemenin kristal kafesi tarafından tolere edildiği sürece problem yoktur. Tolere edildiği sürece kırılma gerçekleşmez. Kalıcı şekil değiştirmeler ise kristal kafesin farklı bölümlerinin yeni denge durumu elde edilene kadar ötelenmesiyle oluşurlar. Malzemenin kristal yapısı kayma düzlemlerinin kristal kafesindeki konumuyla ilgilidir [23].

Dislokasyonların oluşumu ve ilerlemesi ile tekrarlı yüklemeler sonucu yapıda oluşan kayma açıklanabilir. Yorulma zorlamaları sırasında da bir miktar yapıda pekleşme oluşmaktadır. Pekişme az da olsa yükleme frekansına da bağlıdır. Pekişme sonucu yapıda değişikliklerin oluştuğunu metalografik incelemeler göstermektedir [23]. Kalıcı şekil değiştirmelerin birikmesi sonucu malzemenin belirli noktalarında oluşan mikro çatlaklar yorulma davranışını belirler. Oluşan mikro ve makro çatlaklar birleşerek yorulma kırılmasına yol açar.

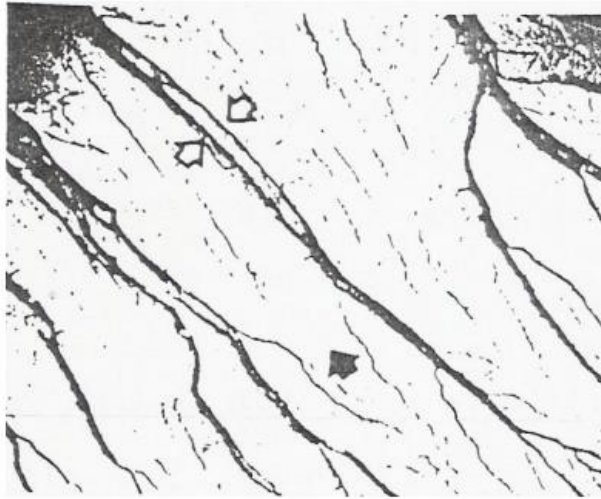
Hasar genellikle yüzey veya yüzeyin hemen altında başlar. Ancak malzeme hata durumuna bağlı olarak iç kısımda da bulunabilir. Buna bağlı olarak yorulma kırılması 3 kademeyle oluşur.

1. Kademe; çatlak oluşumu (genellikle kristal kafesinde bulunan hatalar ve kalıntı gerilmelerinin bulunduğu yerlerde başlar.)
2. Kademe; çatlak büyümesi (mikro çatlaklar birleşerek daha büyük çatlaklara neden olur.
3. Kademe; oluşan çatlak parçanın kopma durumuna geldiği büyüklüğe kadar devam etmektedir [23].

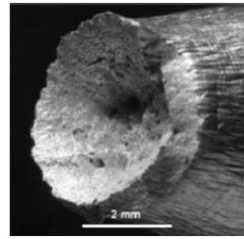


Şekil 3.3. Yorulma çatlak oluşum safhaları [23].

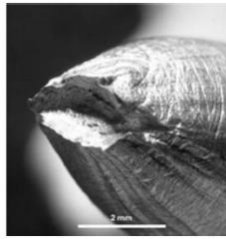
Kırılma olayı bir çatlak ile başlar. Bir çatlaktan öbür çatlağa atlayarak ilerler. Kırılma yolu bir çatlağı takip ederken kristalografiktir. Çatlak ilk olarak karşılaştığı hattı geçer. Yanında bir tane varsa düzensiz olarak ayrılır. Yeterli boyuta geldiğinde kalan kısım yükü taşıyamaz ve parça kırılır [23].



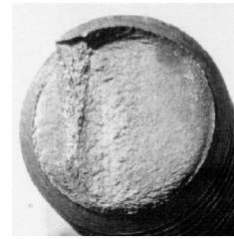
Şekil 3.4. Çatlak ilerlemesi ve yönü [23].



Cup and Cone (Koni ve çanak) tipi kırılma



Sünek kırılma



Gevrek kırılma



Freze tipi kırılma

Şekil 3.5. Yorulma Tipleri [25].

3.4. Yorulma Deneyleri

Yorulma deneyi sinüzoidal yükleme ile yapılır. Çeşitli formüllerle değerlere karar verilebilir. Maksimum ve minimum gerilmenin belli olmasıyla diğer gerilme parametrelerine ulaşmak mümkündür.

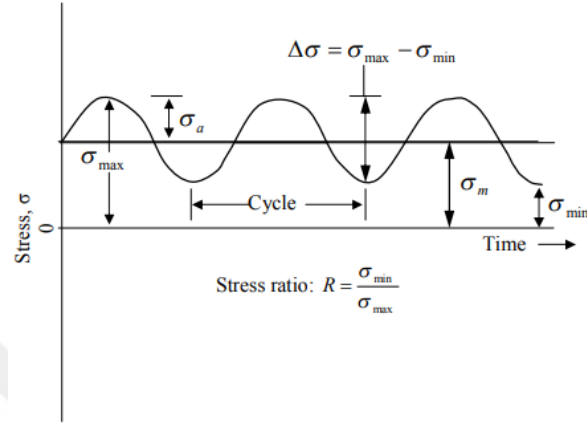
$$\sigma_r = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$$

$$\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2$$

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$$

$$R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$$

σ_r = Gerilme dağılımı, σ_m = ortalama gerilme, σ_a = gerilme genliği ve R= gerilme oranını verir [22].



Şekil 3.6. Yorulma testinde kullanılan sinüzoidal yükleme [26].

Gerilme oranı yorulma yükünün modunu vermektedir. Aşağıdaki tabloda modu gösterilmektedir.

Tablo 3.2. R değeri ile gösterilen yorulma yükü modları [22].

Yorulma Gerilme Oranı	Yorulma yükü modu
R-1	Statik yükleme
R-0	Çekme- Yüksüz
0<R<1	Çekme-Çekme
R- -1	Çekme, Basma, Tam değişken
1<R<0	Çekme- Basma

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Enjeksiyon Pres Döküm Yöntemiyle Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada ENAC 46200 olarak tanımlı alaşıma değişik oranlarda Cu ilavesi yapılarak etkisi görülmesi amaçlanmıştır. Öncelikle %2.109 olan ve bunun akabinde aynı alaşımlı külçenin yüzde oranı %2,4Cu ve son numune olan aynı alaşımlı külçeye yüzde oranı %2,7Cu elde edilerek üç farklı alaşım elde edilerek özellikleri incelenmiştir.

Buna ek olarak ENAC 43400 olarak tanımlı külçeden numune alınmış olup, (Mg oranı %0,3) aynı alaşımlı ancak farklı “Mg yüzde oranlı” %0,4Mg ve %0,6Mg içeren numuneler hazırlanmıştır. Bu alaşımların mekanik özellikleri incelenmiştir.

Deney numuneleri pres makinelerinde problemli parçanın kalıbında (Motor parçası) basılmıştır. Pres döküm nedeniyle öncelikle kalıp belirli sıcaklığa kadar eritilmiş olup, maden ısıtılmıştır. Pota dolumu sonrası çekirdeklenmeyi sağlamak adına gaz alma tableti dökülmüştür. Potadaki maden iyice karıştırıldıktan sonra empüriteler temizlenmiştir.

Kalıp ve madenin istenilen değere kadar yükselmesi sonucu kalıp öncelikle su bazlı yağ ile yağlanmış olup daha sonra hava tutularak yağın kalıbı iyice sarması ve homojenlik sağlanmıştır. Döküm özellikleri iyileştirildikten sonra ilk 10 baskı döküm boşluğu olasılığı nedeniyle fireye ayrılmıştır. Bu özellikler sağlandıktan sonra ilk numunemiz ENAC43400 alaşımlı basılmıştır. Sonra belirli gramlarda artırarak Mg oranı %0,4’e çıkarılmıştır. Basılan malzemelere öncelikli olarak spektral analiz alınarak oranları belirlenmiştir. Belirli oranda potaya Mg ilave edilerek spektral analiz ile kontrol edilmiştir. %0,4 oranında potanın Mg olması durumunda tekrar parça

basılmıştır. Her bir numuneden 5'er adet numune alınmıştır. 4 gözlü bir kalıptır. Daha sonra tekrar belirli oranlarda Mg katılarak spektral analiz ile kontrol edildikten sonra numune alınmıştır.

Farklı bir kalıpta potaya ENAC46200 hammaddesi doldurulmuştur. Dolan hammaddeye ergitme işlemi yapılmıştır. Ergitme işlemi sonrası homojenizasyon için gaz alma tableti atılmıştır.

Gaz alma sonrası pota iyice karıştırılarak hammaddenin alaşımlarının iyice homojenleşmesi sağlanmıştır. Tabloda belirtilen elementleri ihtiva eden analizden numune alınmıştır. 2 gözlü kalıptır. Sonrasında Cu ilave edilerek öncelikle %2,4Cu oranında artırılmıştır. Spektral analiz ile kanıtlandıktan sonra numune alınmıştır. Sonrasında potaya tekrar Cu ilave edilerek pota karıştırılmıştır. %2,7Cu ihtiva ettiği durumda potadan tekrar numune alınmış olup 6 farklı grup numuneler hazırlanmıştır. Çekme numuneleri için ENAC43400 ve ENAC46200 numuneleri basılırken aynı potadan çekme numuneleri basılmıştır.

Numuneler basıldıktan sonra yolluk ve hava ceplerinden arındırılmak için trim makinesine tabii tutulmuştur. Trim makinesinden geçirilip yolluk ve hava ceplerinden ayrılan numuneler için çapak alma ve zıMParalama işlemi yapılarak fazlalıklardan kurtarılmıştır. Bu işlem ile numuneler hazır hale gelmiştir.

4.2. Kesme İşlemi

Numunelere belirli bölgelerinden kesme işlemi yapılarak inceleme yapılacak şekile getirilmiştir. Kesme işlemi için 400 mm'lik Treno-M kesme taşı ile Strues Labotom-3 marka kesme cihazı kullanılmıştır.

4.3. Mikro-Sertlik Ölçümleri

Mikrosertlik ölçümlerinde Struers Duramin markalı Brinell sertlik ölçüm cihazı kullanılmış olup, malzemenin kalınlığına uygun olan 2,5 mm'lik bilya ile ölçüm gerçekleştirilmiştir.

4.4. Bakalite Alma

Optik ve SEM görüntülerinin alınabilmesi için numuneler öncelik olarak metalografik hazırlanmalıdır. İlk olarak kesilen malzemeler iletken bakalit tozu kullanılarak bakalite alınmıştır. Bakalite alma işlemi Struers Labopress-1 marka bakalit cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

4.5. Metalografik Çalışmalar

Bakalite alınan numunelerde optik mikroskop ile inceleme yapılabilmesi için sırasıyla 60, 120, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 mesh'lik MetaServSic zıMParalar kullanılarak yüzey kalitesi iyileştirilmiştir. İstenilen yüzey temizliği sağlandıktan sonra numuneler parlatılmıştır. Su ile temizlenip kurutulan numunelere Keller ile (5 ml HF, 10 ml H_2SO_4 , 85 ml H_2O) dağlama işlemi uygulanmıştır. Zeiss AX10 model optik mikroskop yardımıyla dağlanmış numunelerin optik görüntüleri farklı büyütme ölçeklerinde alınarak incelenmiştir.

4.6. SEM- EDS Analizleri

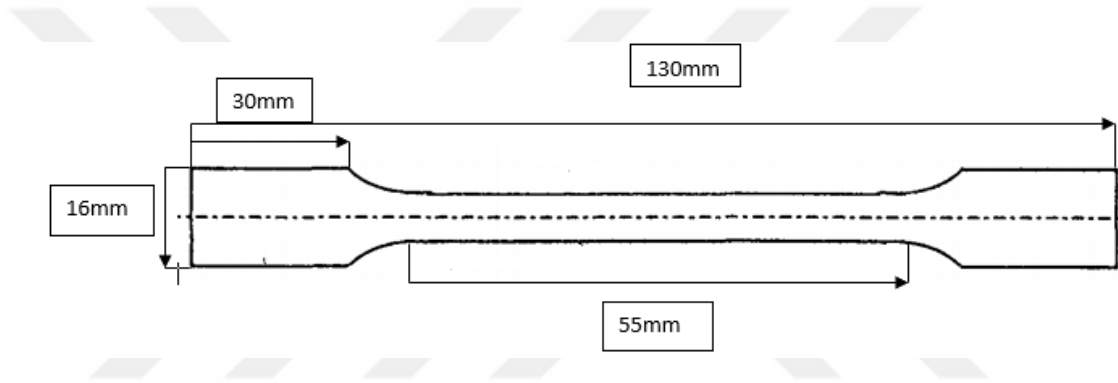
Üretilen numunelerin tane yapısı, morfolojisi ve boyutu JEOL JSM-6060 LV marka taramalı elektron mikroskobu ile farklı büyütme ölçeklerinde SEM-EDS analiz görüntüleri alınmıştır.

4.7. XRD (X Işını Kırınım) Analizi

XRD analizi için RIGAKU XRD D/MAX/2200/PC marka cihaz kullanılmıştır. ENAC 43400 ve ENAC46200 alaşımlı numunelere ilave edilen Mg ve Cu ilavesinin faz analizinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır.

4.8. Yorulma Testi

Yorulma deneyi için kullanılan numunelerin şematik gösterimi Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



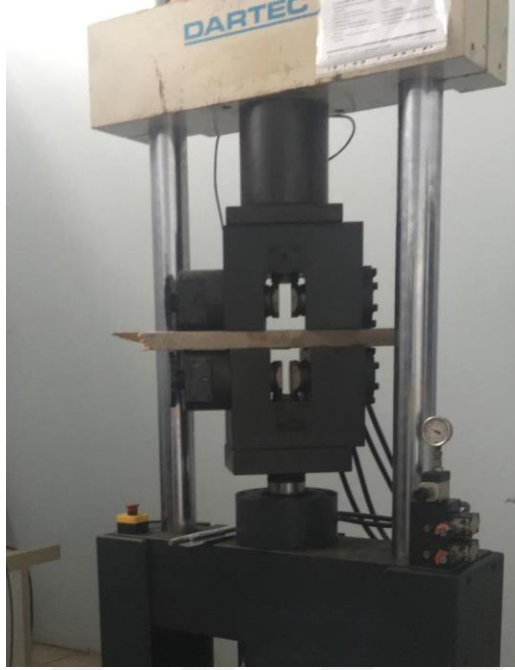
Şekil 4.1. Yorulma deney numunesi

Yorulma deneyi Dartec test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bu programda maksimum, minimum gerilme değerleri ve frekans verileri girilerek test yapılmaktadır.

Yorulma deney sonucunda kopan parçaların kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda incelenmiş olup, kimyasal analizler aynı mikroskopta EDS kullanılarak yapılmıştır.

Sabit genlikli yorulma deneyinde uygulanan yük sinüs eğrisi şeklindedir. Deney numune kopana kadar devam etmiştir. $R=0,1$ oranında olup 4 Hz frekans değerinde yapılan deneyde maksimum yük olarak 18kN seçilmiştir.

Deney için kullanılan cihaz Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Yorulma test cihazı

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada enjeksiyon pres döküm yöntemiyle farklı alaşım içeriklere sahip ve bunlara ekstra ilave edilen Mg ve Cu elementleriyle oluşturulan yeni deney numunelerinin yüzdeleri spektral analiz cihazıyla belirlenmiş olup Tablo 5.1.'de verilmektedir.

Tablo 5.1. Deneyde kullanılan numunelerin spektral analiz ile belirlenmiş alaşım yüzdeleri

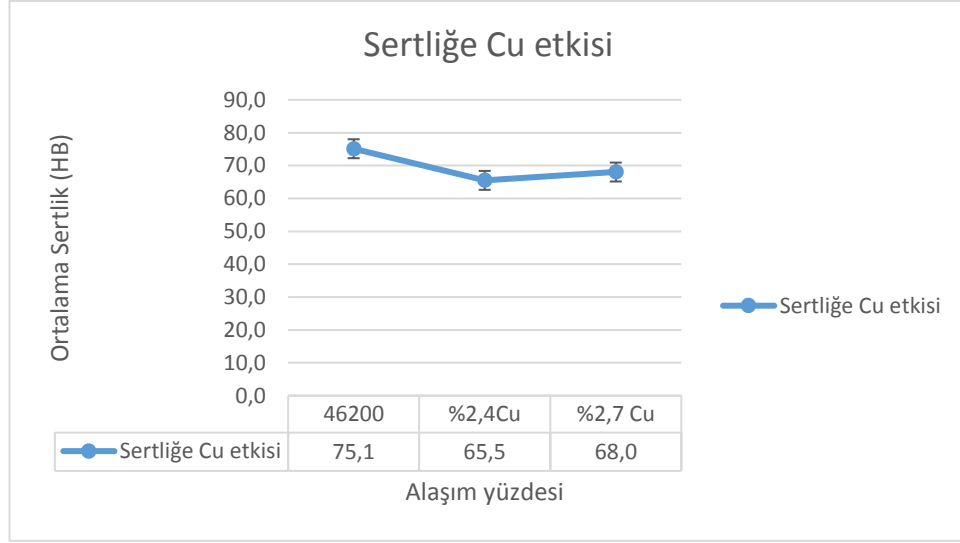
	%Al	%Si	%Fe	%Cu	%Mg	%Zn	%Mn	%Ni	%Ti	%Pb	%Sr	%Cr
46200	87,681	8,5	0,727	2,109	0,097	0,623	0,183	0,009	0,019	0,036	0,005	0,011
%2,1Cu	86,84	8,9	0,749	2,434	0,119	0,68	0,171	0,019	0,023	0,047	0,005	0,013
%2,4Cu	87,148	8,448	0,657	2,735	0,124	0,612	0,189	0,012	0,019	0,041	0,005	0,01
%2,7Cu	89,391	9,24	0,694	0,099	0,3	0,054	0,201	-	0,005	-	0,005	0,009
43400	89,09	9,39	0,71	0,098	0,443	0,052	0,194	-	0,009	-	0,005	0,01
%0,4Mg	88,709	9,63	0,711	0,101	0,585	0,044	0,189	-	0,013	0,006	0,005	0,009
%0,6Mg												

5.1. Mikro Sertlik Sonuçları

Brinell sertlik testleri sonucunda elde edilen değerler Tablo5.2.'de verilmektedir. %Cu etkisinin sertlik değerine etkisi Şekil 5.1.'de görülmektedir.

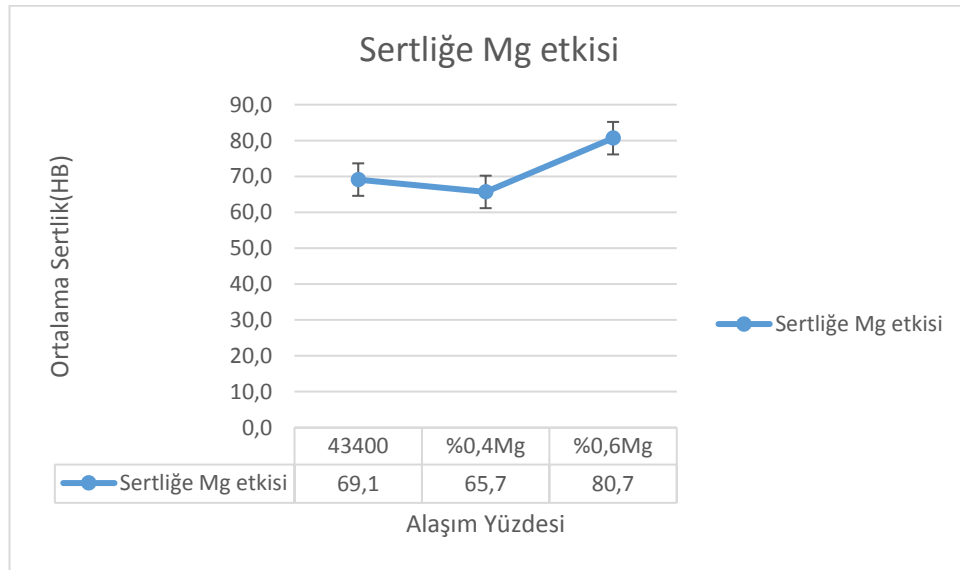
Tablo 5.2. Deneyde kullanılan numunelerin brinel olarak belirlenmiş sertlik değerleri

Alaşım Yüzdesi	1.Sertlik (HB)	2.Sertlik (HB)	3.Sertlik (HB)	4.Sertlik (HB)	Ortalama
46200	70,9	86,9	61,8	80,9	75,1
%2,4Cu	60,7	59,4	76,4		65,5
%2,7Cu	61,5	78,7	63,9		68
43400	70,4	72,1	66	68	69,1
%0,4Mg	74,5	72,4	65,4		70,8
%0,6Mg	77,6	81,7	80,5	82,7	80,6



şekil 5.1. ENAC46200 alaşımlı numunelerde sertliğe bakır etkisi

ENAC46200 alaşımlı numunelerin sertliğine bakıldığında en yüksek sertlik alaşım elementi ilavesiz olan 1. Grup numunelerdir. %2,7Cu ilavesi ile %2,4Cu içeren numune kıyaslandığında Cu oranının %2,7'ye çıkarılması durumunda bir miktar arttığı görölmektedir. Cu içeren numuneler için Cu miktarının sertlik ile doğrudan bir ilişki gözlenmemiştir. ENAC46200 numunelerinde sertliğinin, Cu miktarının artırıldığı numunelerin sertlik değerinden düşük olduğu gözlemlenmiştir. %Cu oranı doğrusal olarak sertlik değerlerinde etkili olmamıştır.

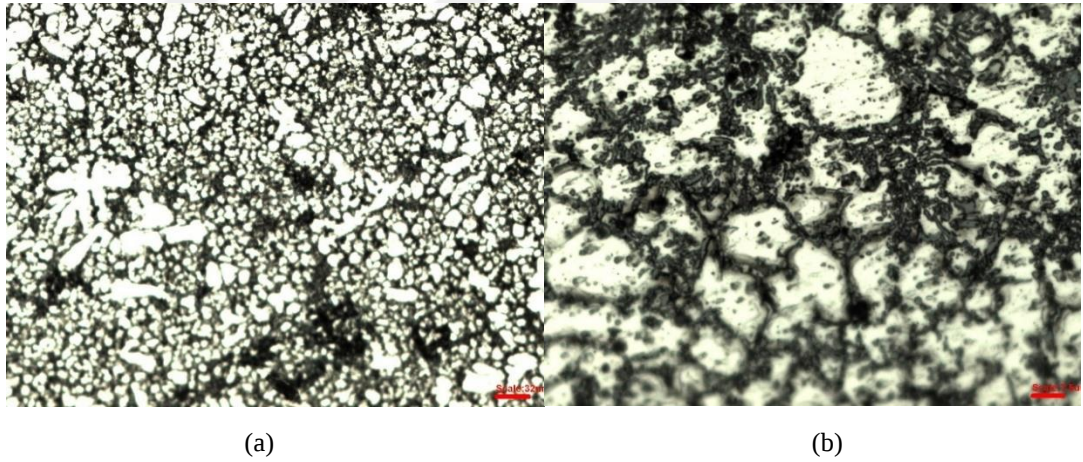


şekil 5.2. ENAC43400 alaşımlı numunelerde sertliğe magnezyum etkisi

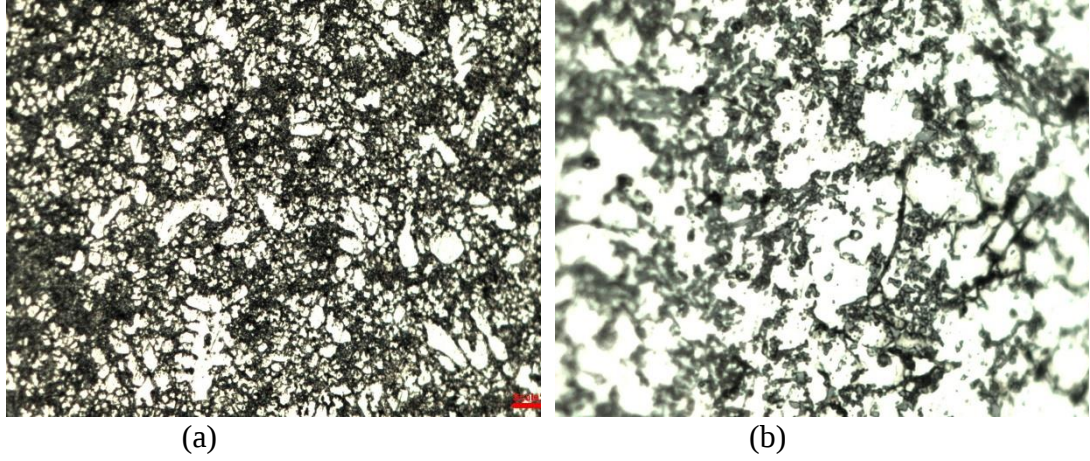
Mg miktarının artırıldığı numuneler için Mg oranı arttıkça kademeli olarak sertliğin arttığı gözlenmiştir. Sertleşme mekanizmasının dislokasyonların hareketine engel olan, XRD sonucunda da pik vererek varlığını kanıtlayan Mg_2Si fazlarının oluşumundan ileri geldiği düşünülmektedir. Dolayısıyla sertlik artışını bu duruma bağlamak muhtemeldir. Mg içeriğinin artışı ile birlikte sertlik sürekli artış göstermektedir. En yüksek sertlik yine en yüksek Mg ilave oranı olan %0,6 Mg ilavesi ile elde edilmektedir. %0,3Mg içeren alaşım ile %0,6 Mg içeren alaşımın sertliği kıyaslandığında %0,3Mg içeren alaşım sertliği 69,1HB iken %0,6Mg içeren alaşımın sertliği 80,6HB' ye artış göstermiştir.

5.2. Optik Mikroskop Görüntüleri

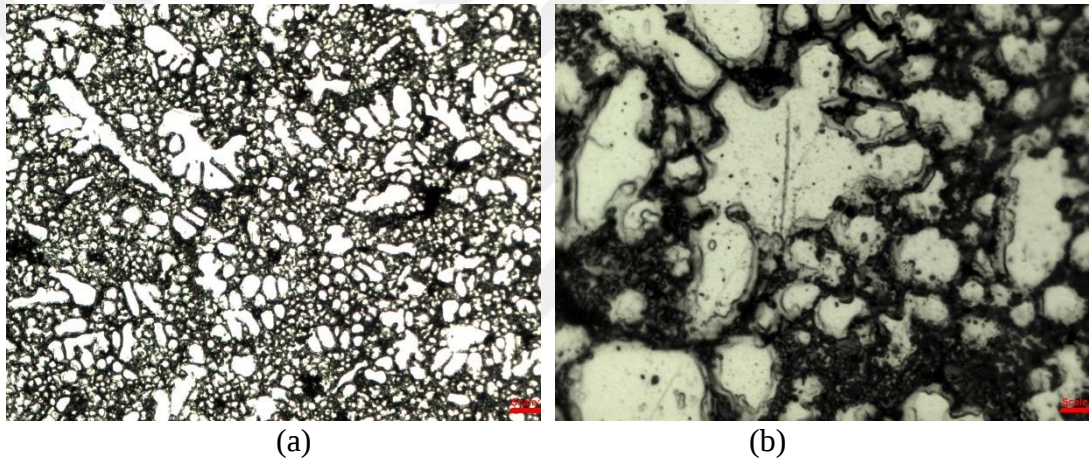
Şekil 5.3.'de ENAC 46200 numunelerinin, Şekil 5.4. %2,4 Cu içeren, Şekil 5.5. ve Şekil 5.6.'da %2,7 Cu içeren numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmektedir.



Şekil 5.3. ENAC46200 alaşımlı numunelerin (a) x10 büyütme, (b) x50 büyütme optik fotoğrafları

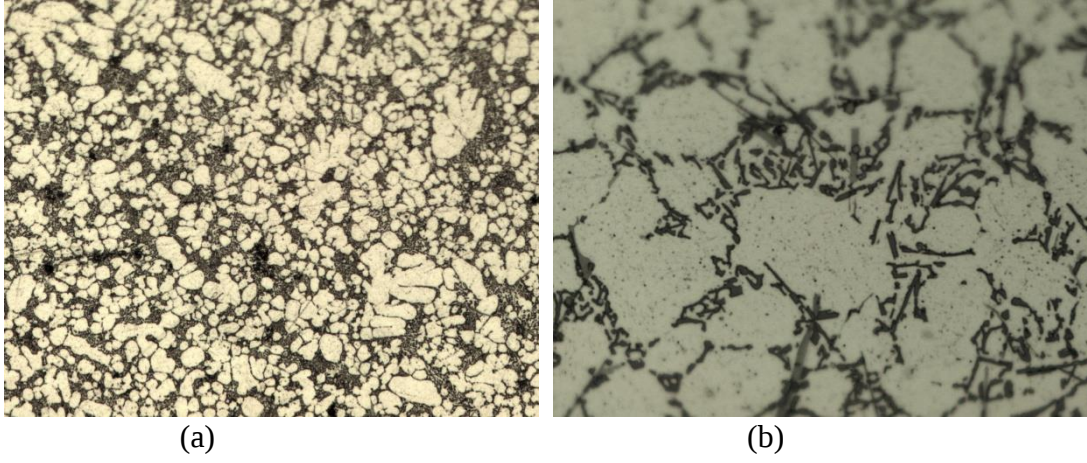


Şekil 5.4. %2,4Cu içeren numunelerin (a) x10 büyütmeli, (b) x50 büyütmeli optik fotoğrafları

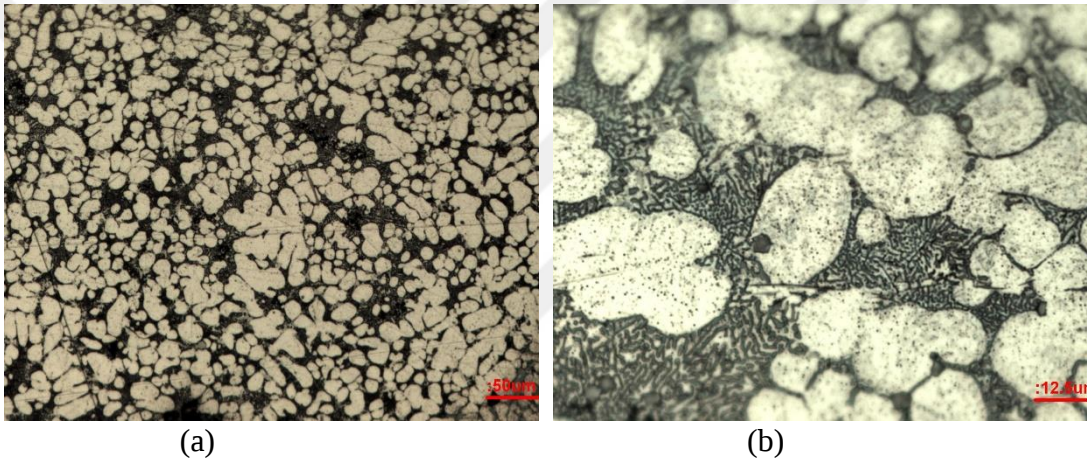


Şekil 5.5. %2,7Cu içeren numunelerin (a) x10 büyütmeli (b) x50 büyütmeli optik fotoğrafları

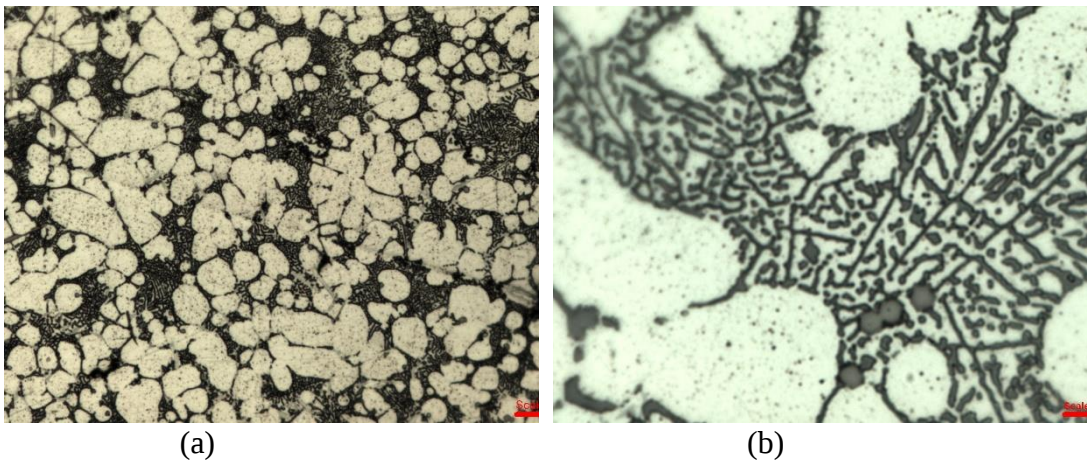
Al-Si alaşımasının içyapısının alüminyumca zengin α fazı, primer silisyum ve ötektik Al-Si fazlarından oluştuğu görülmüştür. Cu oranının artmasıyla XRD sonucunda da görüleceği üzere yapıda CuAl_2 oluşmuştur. Cu ilavesinin mikroyapıyı az miktarda bozduğu görülmektedir. Cu oranının en yüksek olduğu (%2,7Cu) mikroyapıda daha eşit eksenli dendrit yapı görülmektedir. Si yapıların daha küresele yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6. ENAC43400 alaşımlı numunelerin (a) x10 büyütme, (b) x50 büyütme optik fotoğrafları



Şekil 5.7. %0,4Mg içeren numunelerin (a) x10 büyütme, (b) x50 büyütme optik fotoğrafları



Şekil 5.8. %0,6Mg içeren numunelerin (a) x20 büyütme, (b) x100 büyütme optik fotoğrafları

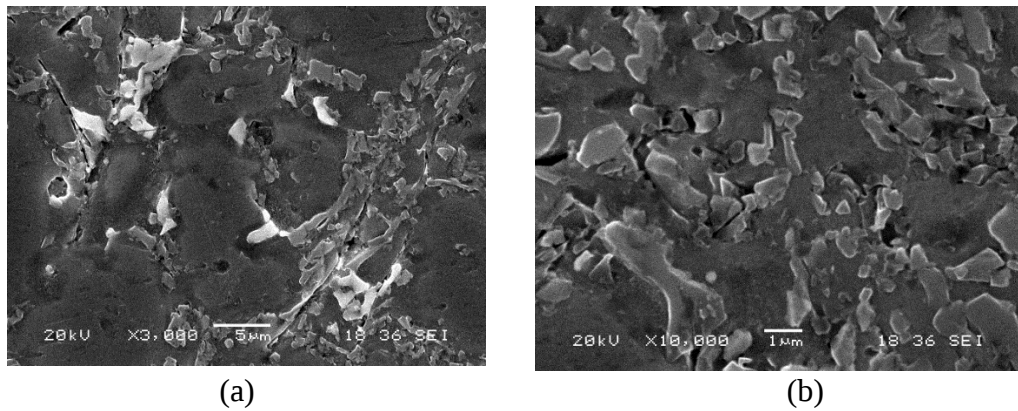
Şekil 5.7. ve 5.8.'de %Mg içeriğinin mikroyapıya etkisi görülmektedir. Değişik büyütmelerde mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

Şekilde 5.7.'de ki mikroyapı iğne şeklindeki açık gri renkli faz (Si elementi), ötektik yapı, çin yazısı şeklindeki yapı (Mg_2Si) ve beyaz renkli matristen (Al) oluşur. Mg oranının arttıkça Si iğnelerinin ve Mg_2Si bileşenlerinin incelendiği gözlenmiştir. Aynı zamanda Si parçacıklarının morfolojisi, Mg içeriğini arttıkça düzensiz hale geldiği görülmektedir. Alaşımın Mg içeriği arttıkça, parçacıklarının hacim oranı ve boyutu artmıştır. Mg ilavesinin mikro yapısal özellikleri etkilediği görülmektedir. Mg oranının artması ile intermetalikler ve ötektik Si fazı incelmıştır, α -Al tanelerinin miktarı artmıştır.

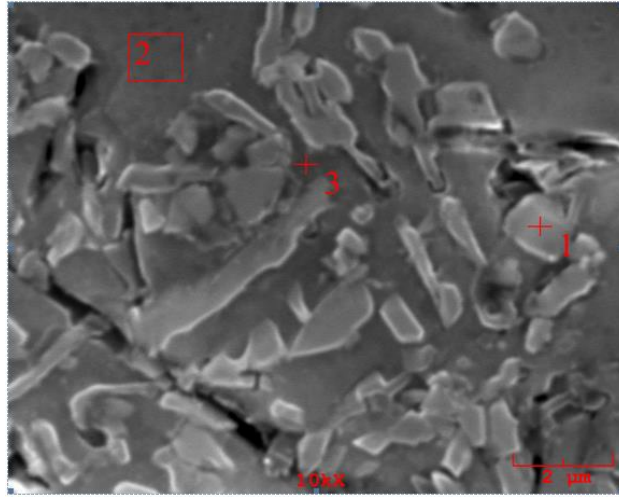
5.3. SEM ve EDS Analizi

Başlangıç numuneleri olan ENAC46200 alaşımlı numune ve ENAC43400 alaşımlı numuneye belirli oranlarda alaşım elementi olarak eklenen Cu ve Mg ilavesiyle yapının morfolojisi ve elementel analizi SEM ve EDS analizleri yardımıyla incelenmiştir.

Şekil 5.9.'den 5.14'e kadar ENAC46200 alaşımlı numune, ağı. %2,4 Cu ve ağı. %2,7Cu içeren numunelerin sem fotoğrafları verilmiştir. Tablo 5.3.'den 5.5'kadar EDS analizleri verilmiştir.



Şekil 5.9. ENAC46200 alaşımlı numunelerin (a) x3000 büyütmeli, (b) x10000 büyütmeli SEM fotoğrafları

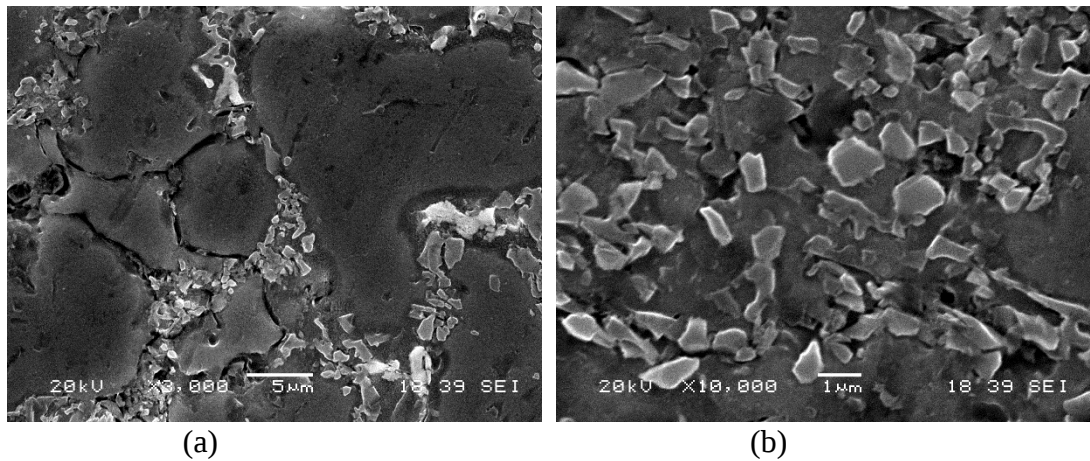


Şekil 5.10. ENAC46200 alaşımlı numunenin EDS Fotoğrafi

Tablo 5.3. ENAC46200 alaşımlı numunenin EDS Analiz Sonuçları

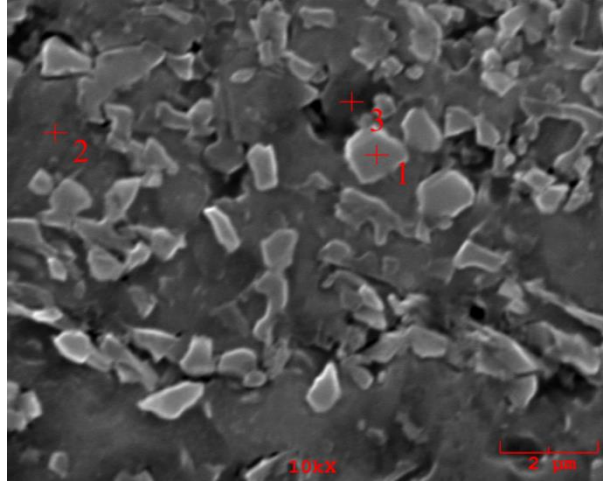
No	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Cr	%Mn	%Fe	%Ni	%Cu	%Zn	%Pb
1	0,09	62,002	35,840	0,064	0,123	0,186	0,417	0,054	0,305	0,346	0,569
2	0,2	95,234	3,221	0,192	0,099	0,097	0,067	0,000	0,231	0,250	0,405
3	0,16	85,234	12,517	0,075	0,248	0,095	0,282	0,212	0,448	0,145	0,585

EDS fotoğrafındaki renk farklılığından anlaşılabileceği üzere 1 numaralı bölge silisyumdur. 2 numaralı bölge alfa- Alüminyumdur. 3 numaralı bölge Al ve silisyum bakımından zengin bölgedir. Cu oranı da göz önüne alındığında intermetalik oluşmuş olabilir.



Şekil 5.11. %2,4Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin (a) x3000 büyütülmeli, (b) x10000 büyütülmeli SEM fotoğrafı

Sem görüntülerine bakıldığında farklı büyütme ölçeklerine göre kısmen homojen yapı dikkat çekmektedir.

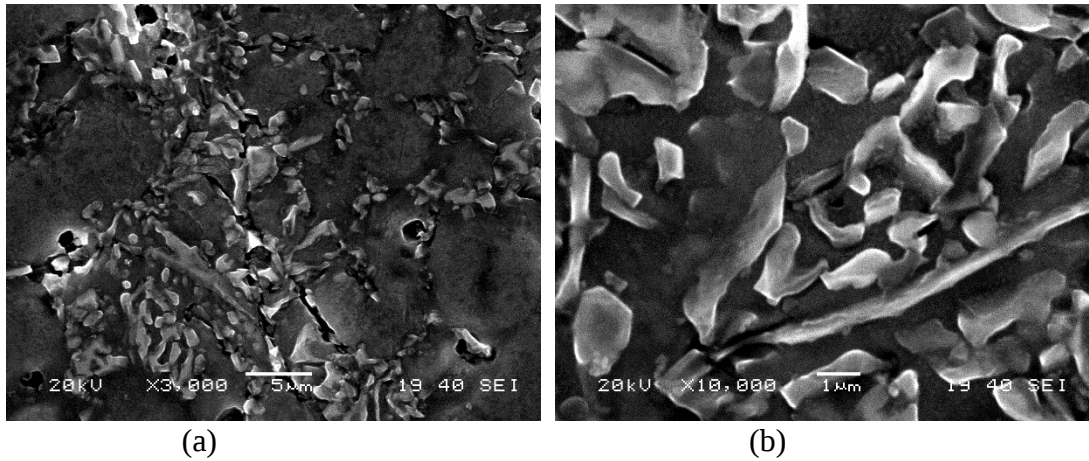


Şekil 5.12. %2,4Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunenin EDS Fotoğrafı

Tablo 5.4. %2,4Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin EDS analiz sonuçları

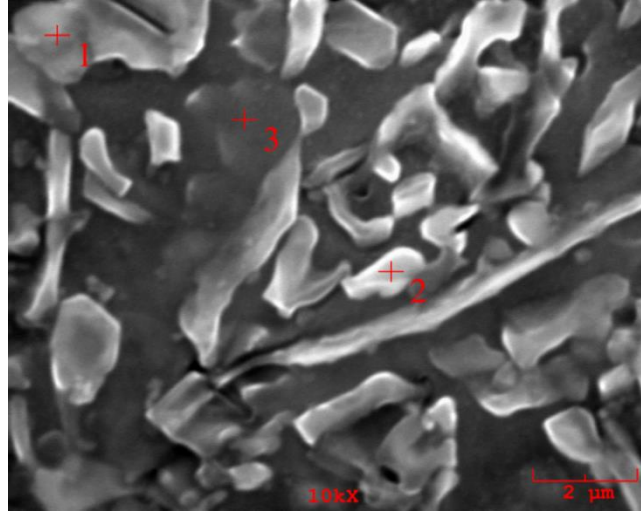
No	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Cr	%Mn	%Fe	%Ni	%Cu	%Zn	%Pb
1	0,159	73,068	25,051	0,076	0,092	0,157	0,030	0,395	0,310	0,663	0,000
2	0,230	77,670	19,544	0,145	0,000	0,062	0,054	0,339	0,834	0,240	0,882
3	0,105	85,200	12,724	0,084	0,018	0,032	0,040	0,417	0,610	0,770	0,000

EDS analiz sonucunda da görüleceği üzere 1 numaralı yapı silisyum elementine aittir. 2 numaralı yapı XRD sonucunda da belirtildiği gibi CuAl_2 yapısı olması muhtemeldir. 3 numaralı yapı Al elementine işaret etmektedir.



Şekil 5.13. %2,7Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin (a) x3000 büyütmeli, (b) x10000 büyütmeli SEM fotoğrafları

10.000 büyütmeli fotoğraflara bakıldığında Si plakalarının belirli yönde yöneldiği görülmektedir.



Şekil 5.14. %2,7Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin EDS Fotoğrafi

Tablo 5.5. %2,7Cu içeren ENAC46200 alaşımlı numunelerin EDS analiz sonuçları

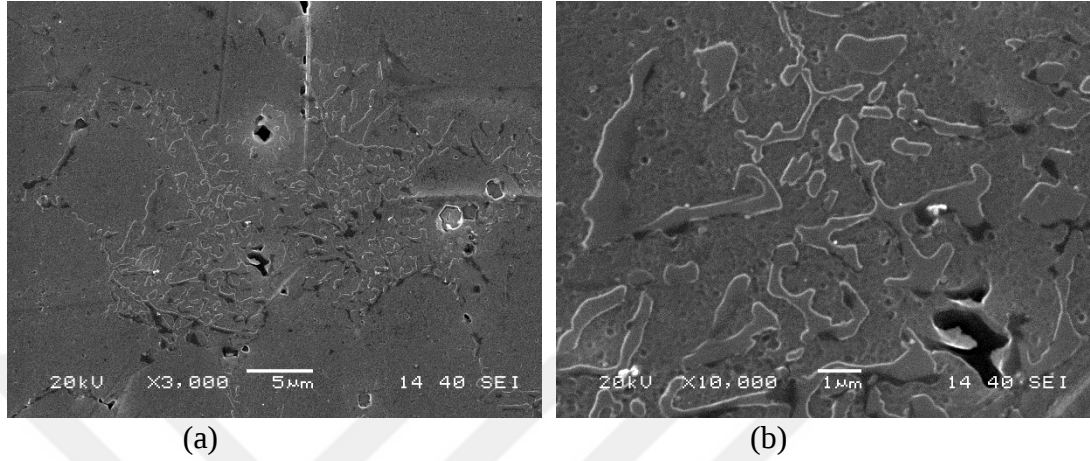
No	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Cr	%Mn	%Fe	%Ni	%Cu	%Zn	%Pb
1	0,169	75,765	21,312	0,072	0,020	0,011	3,100	0,361	0,712	0,652	0,616
2	0,087	70,217	27,679	0,254	0,125	0,040	0,085	0,431	0,303	0,395	0,386
3	0,232	78,658	18,936	0,024	0,003	0,128	0,091	0,299	0,402	0,576	0,653

1 numaralı bölge Al-Si-Cu bakımından zengin bölgedir. 2 numaralı bölge Sem fotoğrafında da söylendiği üzere Si plakalarıdır. 3 numaralı bölgenin Al olması muhtemeldir.

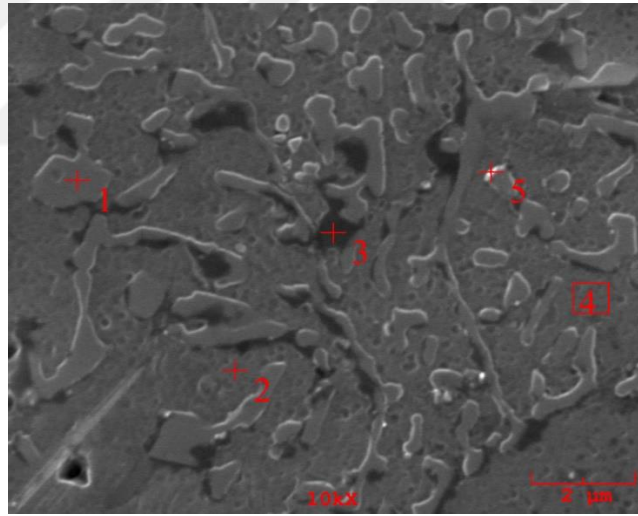
SEM görüntüleri incelendiğinde ENAC46200 ve Cu ilaveli alaşımlarda çatlaklar ve gözeneklerin olduğu görülmektedir. Bu durumu döküm ve kalıp sıcaklığı ile ilişkilendirmek doğru yaklaşımdır. Bu durumda gözenekliliğin artmasına ve sertlik değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. Yapıda Si elementinin belli yöne yönelmesi dikkat çekmektedir.

%2,4Cu içeren döküm parçalarında gözenek daha fazla görülmektedir. Bu durumda homojenizasyonun tam sağlanamaması olarak yorumlanabilir.

Şekil 5.15.'den 5.20'ye kadar ENAC43400 alaşımlı numune, ağ. %0,4Mg ve ağ. %0,6Mg içeren numunelerin sem fotoğrafları verilmiştir. Tablo 5.6.'den 5.8' de EDS analizleri verilmiştir.



Şekil 5.15. ENAC43400 alaşımlı numunelerin (a) x3000 büyütme, (b) x10000 büyütme SEM fotoğrafları

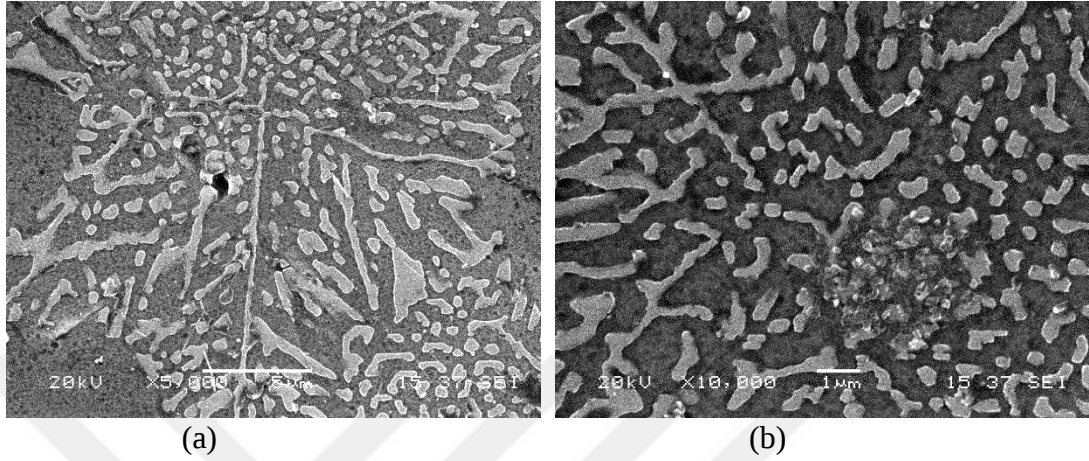


Şekil 5.16. ENAC43400 alaşımlı numunelerin EDS Fotoğrafi

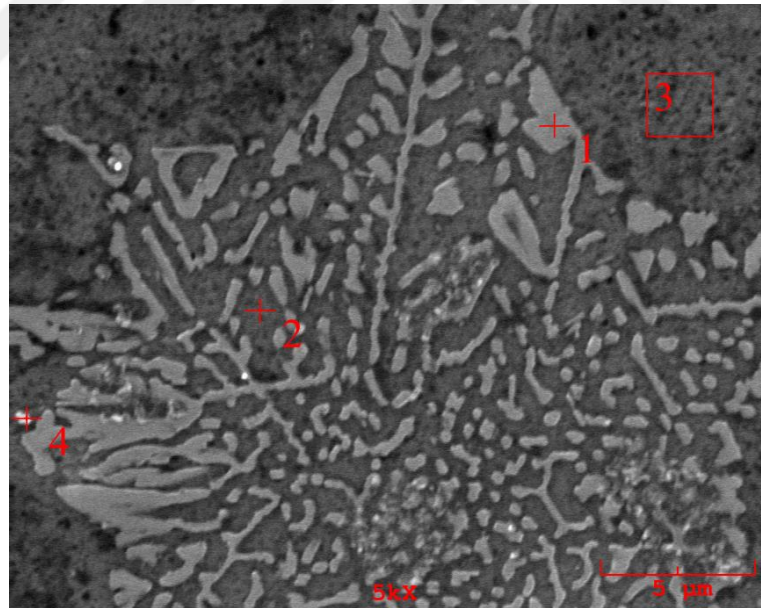
Tablo 5.6. ENAC43400 alaşımlı numunelerin EDS analiz sonuçları

No	%Mg	%Al	%Si	%Mn	%Fe	%Cu	%Zn
1	0,288	78,188	20,875	0,054	0,088	0,216	0,290
2	0,289	78,200	15,002	0,120	0,065	0,315	0,450
3	0,263	78,957	19,787	0,117	0,060	0,442	0,374
4	0,368	82,460	16,002	0,198	0,110	0,345	0,517
5	0,359	86,082	12,379	0,061	0,039	0,541	0,540

1 numaradan alınan EDS analizi sonucu Si elementine aittir. 4 numaralı yapı XRD sonucunda da pik verdiği üzere Mg_2Si bileşime ait olabilir. 5 numaralı nokta Al elementi bakımından yüksektir.



Şekil 5.17. %0,4Mg içeren ENAC43400 alaşımlı numunelerin (a) x5000 büyütme, (b) x10000 büyütme SEM fotoğrafları

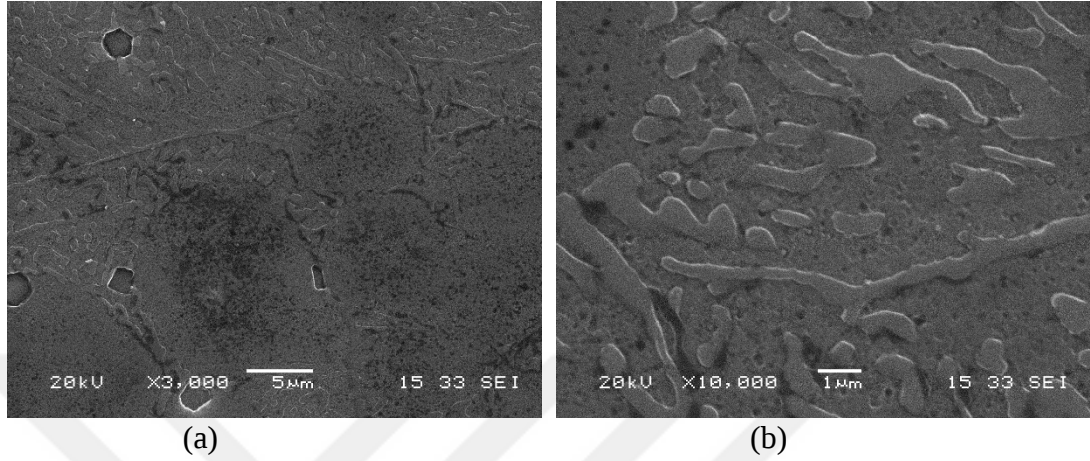


Şekil 5.18. %0,4Mg içeren ENAC43400 alaşımlı numunelerin EDS fotoğrafı

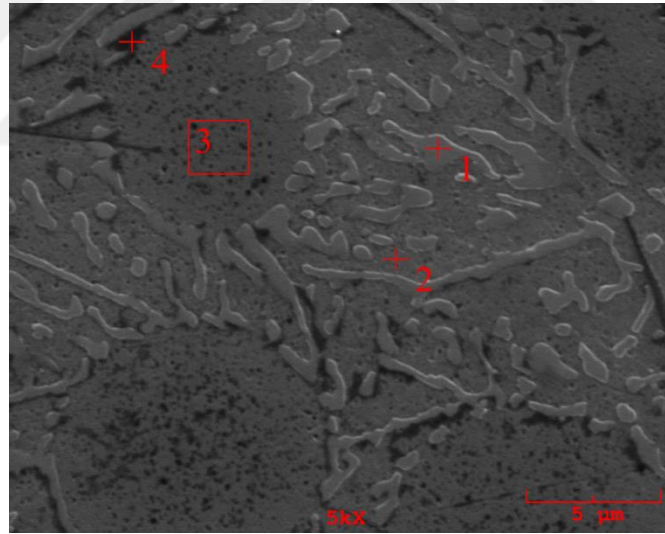
Tablo 5.7. %0,4Mg içeren ENAC43400 alaşımlı numunelerin EDS analiz sonuçları

No	%Mg	%Al	%Si	%Mn	%Fe	%Cu	%Zn
1	0,579	80,190	18,313	0,147	0,052	0,382	0,337
2	0,345	82,687	16,179	0,150	0,068	0,240	0,332
3	0,570	91,648	7,013	0,066	0,060	0,332	0,311
4	0,255	98,387	0,433	0,054	0,156	0,433	0,281

1 numaralı EDS sonuçlarına bakıldığında Mg ve Si bakımından en yüksek değere sahiptir. Bu durumda Mg_2Si elementine ait olabilir. 2 numaralı bölge Si elementine ait olabilir. 4 numaralı EDS sonucuna göre kesin olarak Al elementine aittir.



Şekil 5.19. %0,6Mg içeren numunelerin (a) x3000 büyütme, (b) x10000 büyütme SEM fotoğrafları



Şekil 5.20. %0,6Mg içeren numunelerin EDS fotoğrafı

Tablo 5.8. %0,6Mg içeren numunelerin EDS analiz sonuçları

No	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Cr	%Mn	%Fe	%Cu	%Zn	%Pb
1	0,340	80,375	17,565	0,117	0,052	0,036	0,069	0,46	0,326	0,604
2	0,398	77,770	20,523	0,109	0,078	0,111	0,149	0,33	0,528	0,000
3	0,232	96,617	1,401	0,000	0,000	0,105	0,085	0,32	0,314	0,928
4	0,558	68,553	29,281	0,123	0,104	0,065	0,076	0,32	0,299	0,619

3 numaralı nokta matris olan alfa-Al aittir. 2 ve 4 numaralı nokta Silisyum bakımından zengin bölgedir. 4 numaradaki Mg ve Si değerlerine bakıldığında 4 numara Mg_2Si da olabilir.

SEM görüntüsünde görünen koyu bölgeler Al ve Si alaşımların yoğunlukta olduğunu göstermektedir. Döküm yapısında oluşan dendrit yapı dikkat çekmektedir. Aynı zamanda yapıda bağlanmanın tam olamaması sonucunda porozitelerin olduğu görünmektedir.

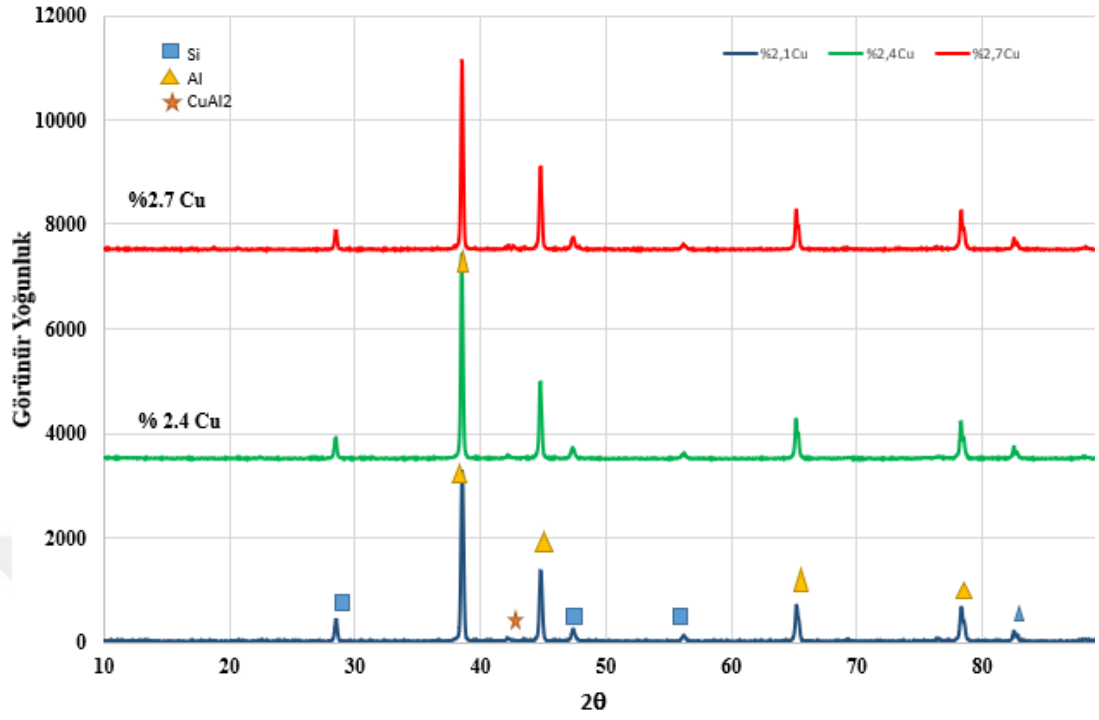
SEM/EDS çalışmaları intermetalik yapıların ve ayrık Si partiküllerinin özellikle ötektik bölgelerde var olduğunu göstermiştir. Si plakalarının belirli yönde yönelmeye eğilimli oldukları, dallanarak büyüme gösterdikleri görünmektedir.

Döküm parçalarında merkezden sınıra kadar değişen sıcaklık aralıkları vardır. Sem görüntüsünde açıkça görülebileceği gibi hızlı erime sonucunda dış bölümler daha hızlı erirken, ara bölge soğuma kontrollü olmadığı için soğuma gecikmiştir.

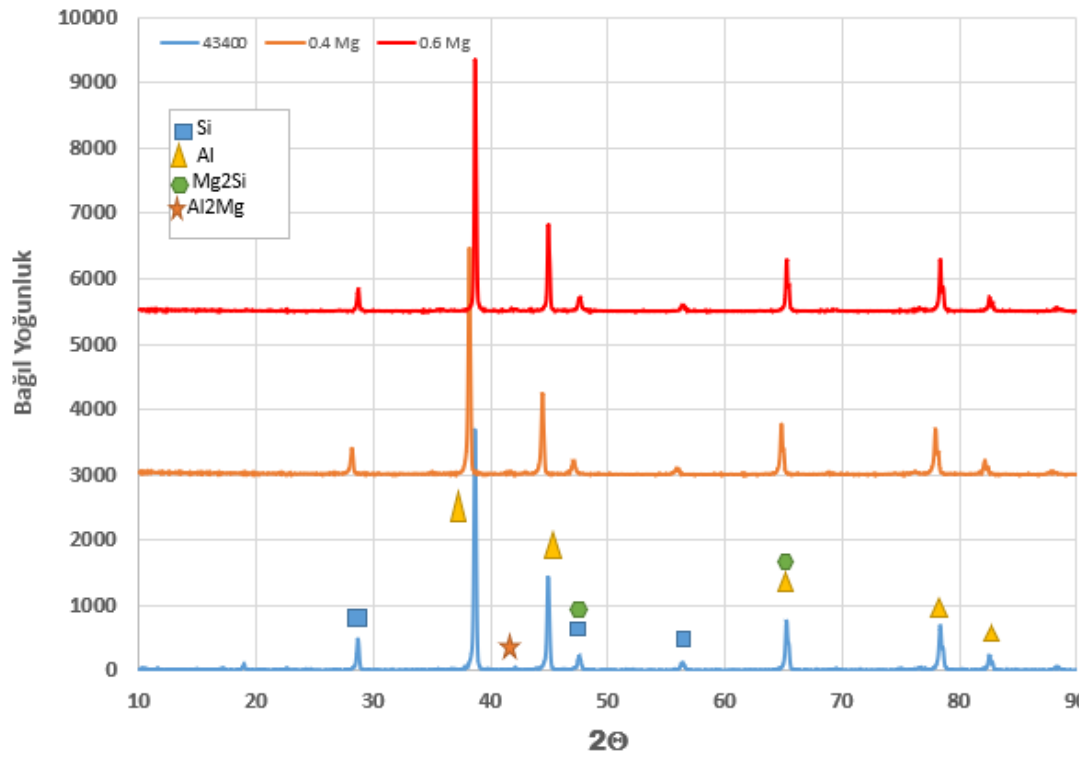
5.4. X Işını Difraksiyonu Yöntemi

Şekil 5.21.'de ENAC46200 numunesinin ve %2,4 Cu ve %2,7 Cu ilave edilmiş numunelerin XRD analizleri verilmektedir.

XRD sonuçlarına bakıldığında Al-Si oranlarının yoğunlukta olduğu görünmektedir. Aynı zamanda küçük pik şeklinde bakırın alüminyum ile $CuAl_2$ şeklinde bileşik yaptığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.21. ENAC46200 alaşımlı, ağı. %2,4Cu ve ağı. %2,7Cu içeren numunelerin XRD Paterni



Şekil 5.22. ENAC43400 alaşımlı, ağı. %0,4Mg içeren ve ağı. %0,6Mg içeren numunelerin XRD Paterni

İncelenen XRD paternlerine göre yapıda Al-Si alaşımlarının yoğunlukta olduğu görülmektedir. Al-Si esaslı alaşımlarda sertleşmeye neden olabilecek Mg_2Si ve Al_2Mg intermetalik fazlara rastlanmıştır. Spektrometre analizinde de görünen intermetalik bileşik yapabilecek elementler bulunmaktadır ancak oranının az olması nedeniyle intermetalik fazlar görünmemektedir.

5.5. Yorulma Deneyi Sonuçları

Yapılan deney sonucunda Cu ilavesinin ve Mg ilavesinin alaşımlarının yorulma dayanımlarına etkisi araştırılmıştır. Tablo 5.9.'dan Tablo 5.13.'e kadar 5 farklı gruba uygulanan gerilmeye karşılık çevrim sayısı tablosu verilmiştir.

Tablo 5.9. ENAC46200 alaşımlı numunelerin yorulma deney sonuçları

Uygulanan Kuvvet(N)	Uygulanan Gerilme (MPa)	Frekans (Hz)	Çevrim Sayısı
18000	90	4	6.160
16000	80	4	40.825
14000	70	4	62.567
12000	60	4	93.777
10000	50	4	305.689

Tablo 5.10. %2,4Cu içeren numunelerin yorulma deney sonuçları

Uygulanan Kuvvet(N)	Uygulanan Gerilme (MPa)	Frekans (Hz)	Çevrim Sayısı
18000	90	4	1.245
16000	80	4	37.487
14000	70	4	58.685
12000	60	4	78.862
10000	50	4	284.024

Tablo 5.11. %2,7Cu içeren numunelerin yorulma deney sonuçları

Uygulanan Kuvvet(N)	Uygulanan Gerilme (MPa)	Frekans (Hz)	Çevrim Sayısı
18000	90	4	1.594
16000	80	4	31.611
14000	70	4	45.842
12000	60	4	80.985
10000	50	4	270.760

Tablo 5.12. ENAC43400 alaşımlı numunelerin yorulma deney sonuçları

Uygulanan Kuvvet(N)	Uygulanan Gerilme (MPa)	Frekans (Hz)	Çevrim Sayısı
18000	90	4	585
15000	75	4	1.374
12000	60	4	35.227
9000	45	4	142.933

Tablo 5.13. %0,4Mg içeren numunelerin yorulma deney sonuçları

Uygulanan Kuvvet(N)	Uygulanan Gerilme (MPa)	Frekans (Hz)	Çevrim Sayısı
18000	90	4	5.600
15000	75	4	10.046
12000	60	4	67.975
9000	45	4	196.359

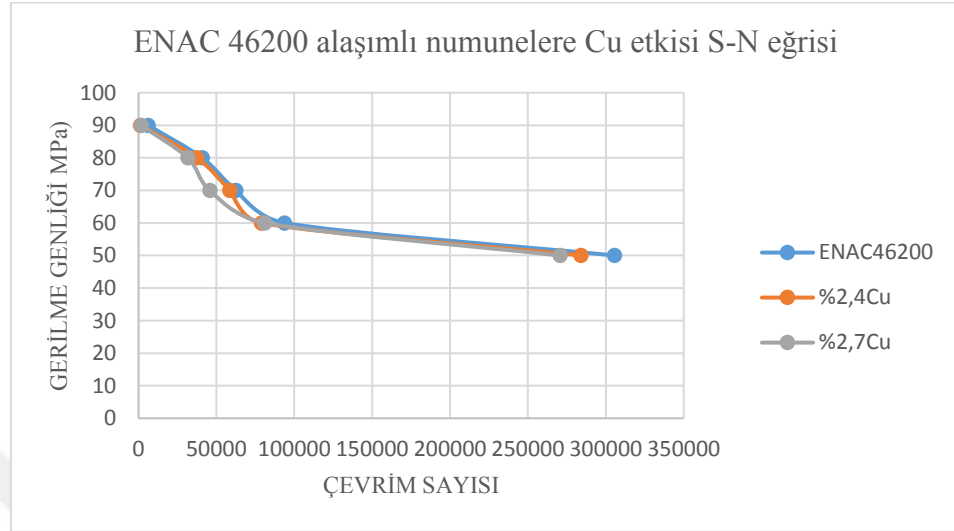
Yorulma deneyleri 0,1 sabit gerilme genliğinde gerçekleştirilmiş ve numuneler kopana kadar teste devam edilmiştir. Numunenin koptuğu çevrimde sayı alınıp gerilme-çevrim sayısı grafiği oluşturulmuştur. Test sonrası kırılan numunelere örnek Şekil 5.23.'te verilmiştir.



Şekil 5.23. Teste kopan numune örneği

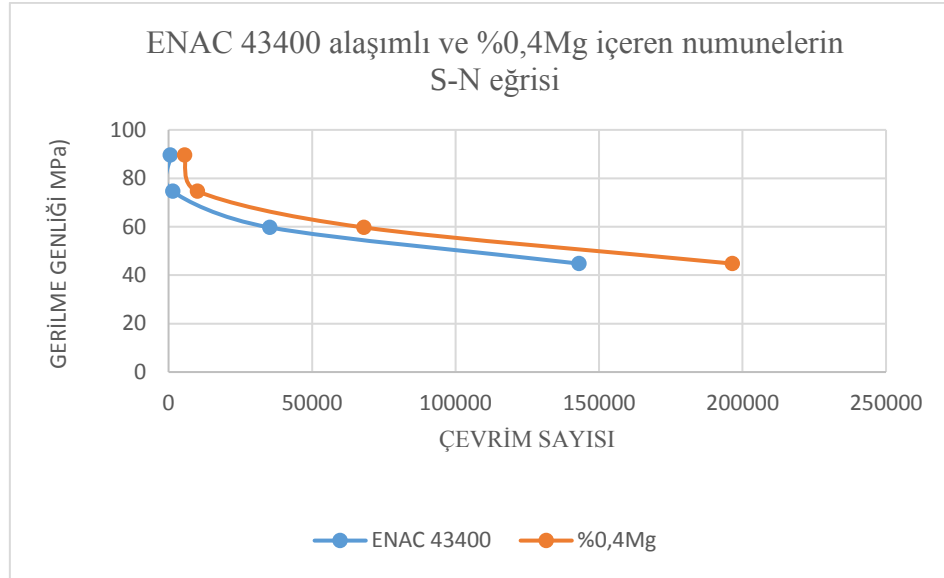
Şekil 5.24.'de ENAC46200, ağı. %2,4Cu içeren ve ağı. %2,7Cu içeren alaşımların S-N diyagramları verilmiştir. Gerilme-çevrim sayısı eğrilerinin literatürde verilen eğrilerle uyumlu olduğu ve etki eden gerilmenin azaldıkça çevrim sayısının parabolik olarak arttığı görülmektedir [27]. Verilen grafikten de anlaşılacağı üzere en yüksek yorulma dayanımı ENAC 46200 alaşımından elde edilmiştir. %2,4Cu içeren alaşımların %2,7Cu içeren alaşıma göre aynı gerilme etkisinde yorulma dayanımının biraz daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sertlik değerleri de göz önüne alındığında en yüksek sertlik değerine ENAC46200 alaşımlı numuneler sahipti ve en düşük sertlik değeri ağı.

%2,7Cu içeren numunelere aitti. Bu durumda yorulma dayanımı ve sertlik arasında paralellik söz konusudur [28].



Şekil 5.24. ENAC 46200 alaşımlı, ağ. %2,4Cu içeren ve ağ. %2,7Cu içeren numunelerin gerilme- çevrim sayısı eğrileri

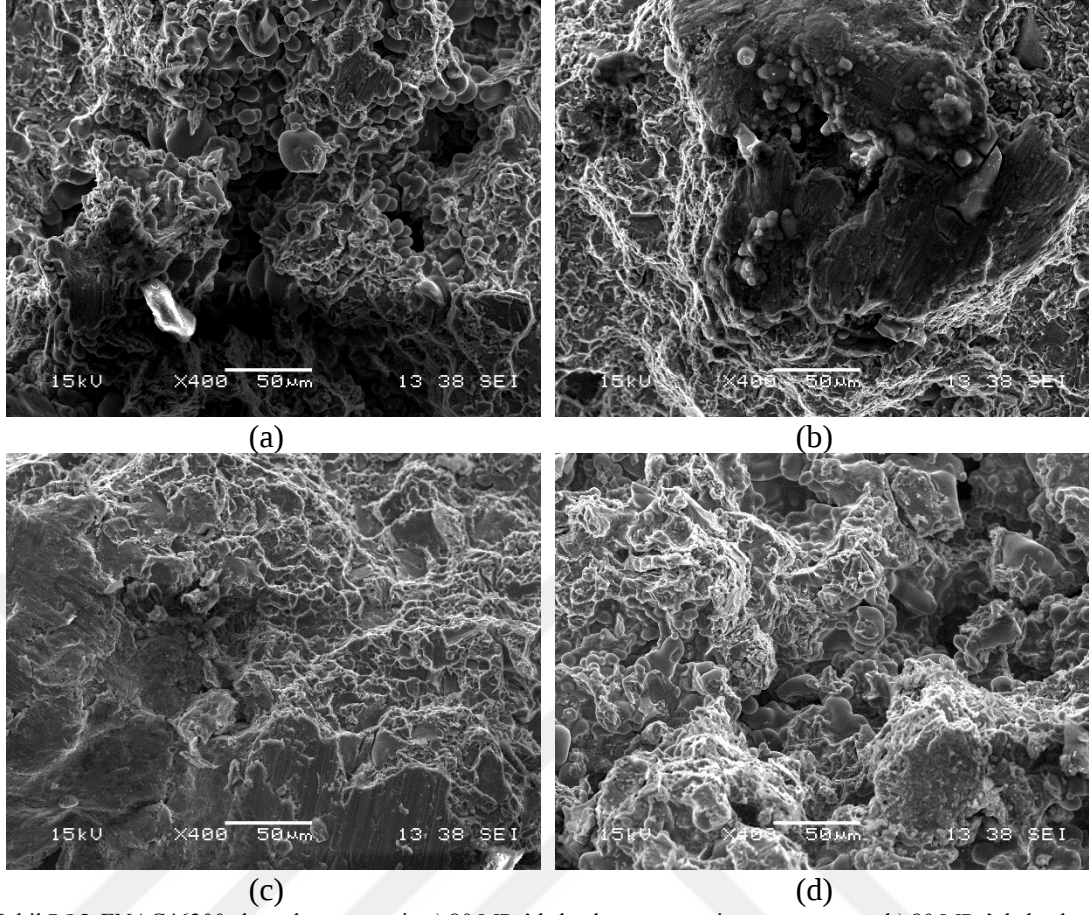
Şekil 5.25.'te ise ENAC43400 ve ağ. %0,4Mg içeren alaşımların gerilme-çevrim sayısı diyagramları verilmiştir. Aşağıdaki grafikten de anlaşılacağı üzere en yüksek yorulma dayanımı ağ. %0,4Mg içeren alaşımdan elde edilmiştir. Yorulma dayanımının artan sertlik ile doğru orantılı olduğu literatür araştırmalarında görülmektedir [28]. Bu kapsamda incelendiğinde ağ. %0,4Mg içeren alaşımın ENAC43400 alaşımından daha yüksek yorulma dayanımı göstermesi beklenen durumdur.



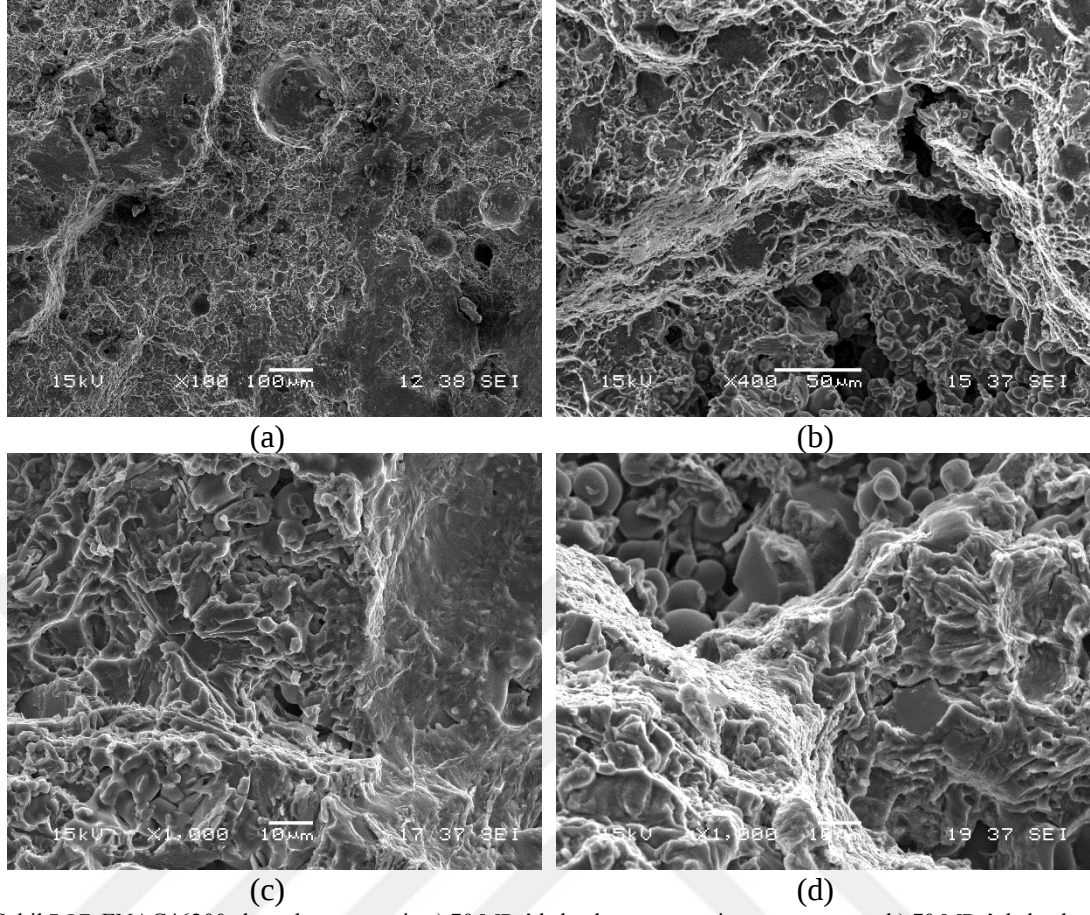
Şekil 5.25. ENAC43400 alaşımlı ve ağ. %0,4Mg içeren numunelerin gerilme-çevrim sayısı eğrisi

5.5.1. Yorulma deneyinden elde edilen kırılma yüzeylerinin incelenmesi

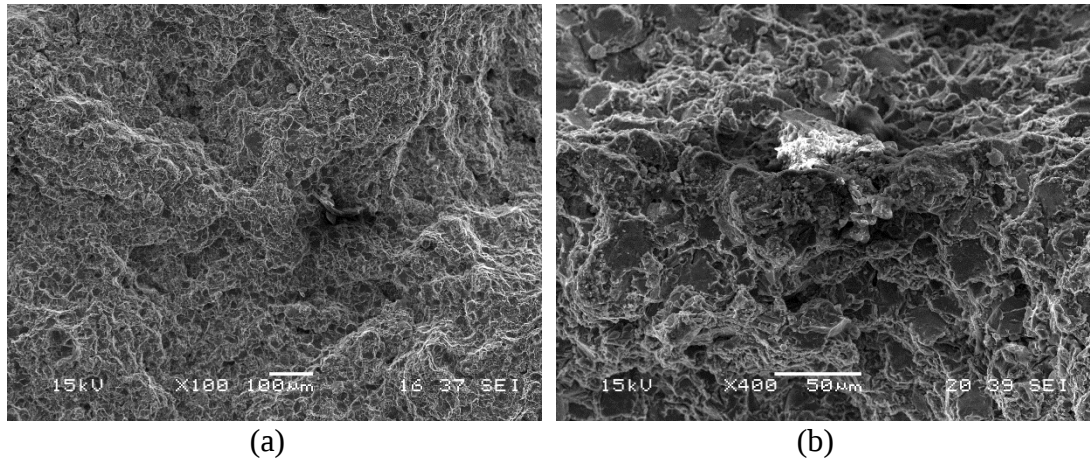
Deneyde kullanılan ENAC46200, ağ. %2,4 ve ağ. 2,7Cu içeren alaşımlara ait yorulma örneklerinin kırık yüzeylerini gösteren fotoğraflar Şekil 5.26.-5.34.'de verilmiştir. Şekillerden kırılma yüzeylerinin tipik yorulma yüzeyine benzer olup uygulanan gerilmeye göre sünek-gevrek bir kırılma davranışı gösterdiğini görüyoruz. Şekil 5.26.-5.34.'den bakır ilavesinin daha pürüzlü bir kırık yüzeye neden olduğu görülmektedir. Uygulanan gerilme miktarı düştükçe çevrim süresi artmaktadır. Bu durumda malzemenin kopan yüzeyinde sünek bir kırılma gözlemlenmektedir. Gerilme miktarının en yüksek olduğu 90MPa'da kırılan numunelerde ise daha gevrek bir kırılma söz konusudur. Sünek kırılmada lifli yapılar nehir çizgileri yorularak kırıldığına işaretler. Daha yüksek gerilme uygulandığı takdirde daha ani bir kırılma göstererek gevrek kırılma türünün daha yaygın olduğu gözlemlenmiştir.



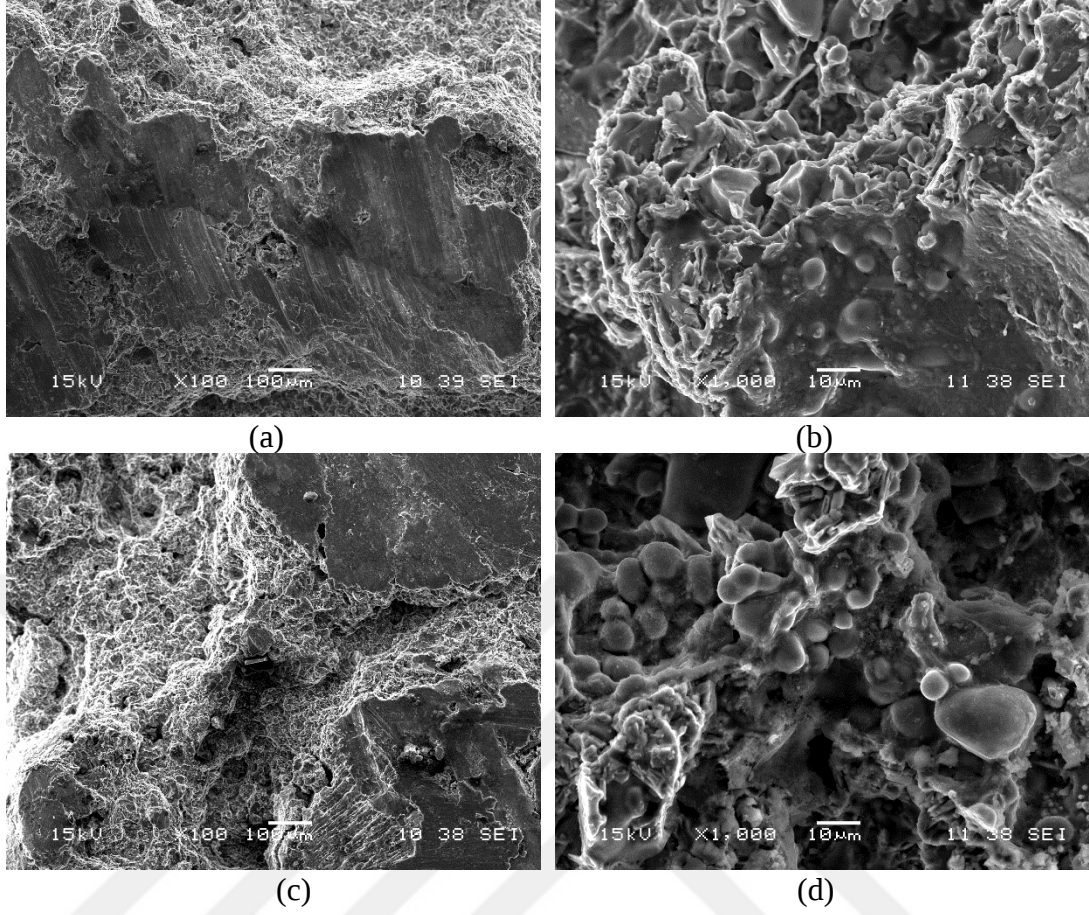
Şekil 5.26. ENAC46200 alaşımlı numunenin a) 80 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 80 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 90 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 90 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



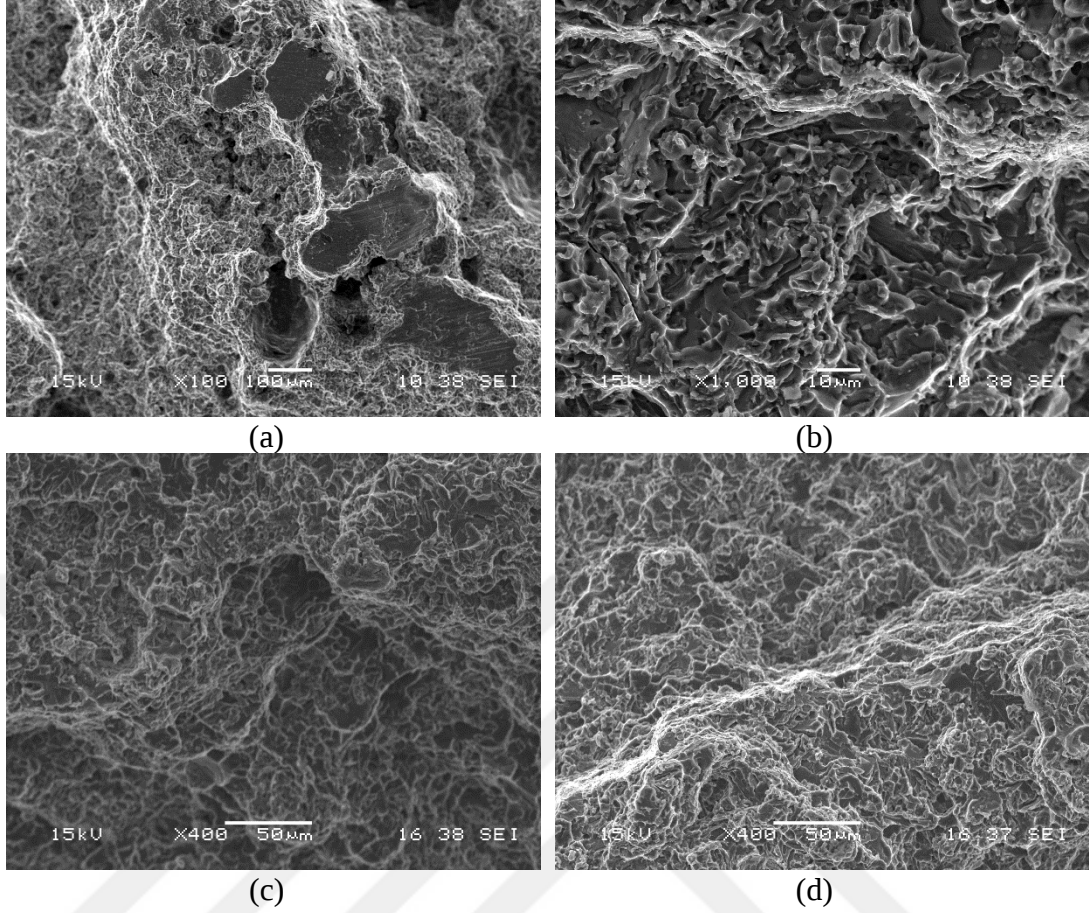
Şekil 5.27. ENAC46200 alaşımlı numunenin a) 70 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 70 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



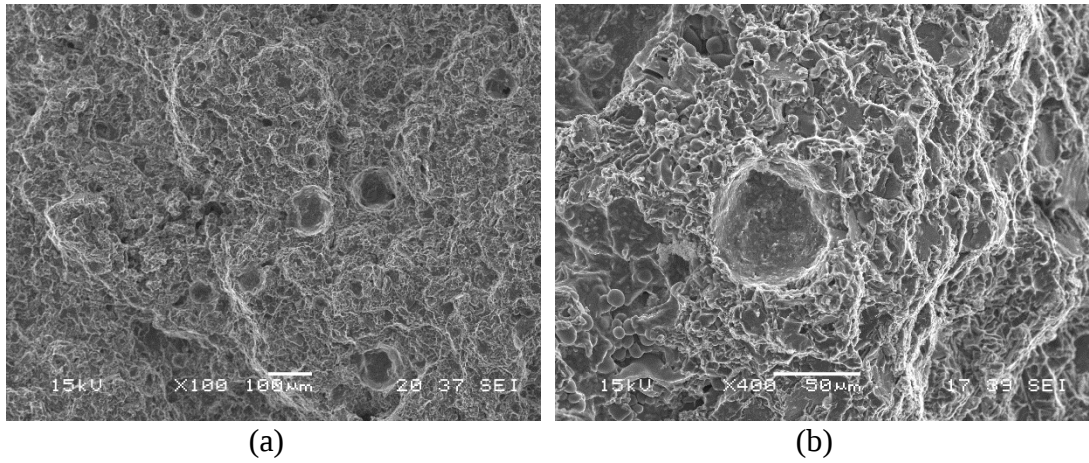
Şekil 5.28. ENAC46200 alaşımlı numunenin a) 50 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 50 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



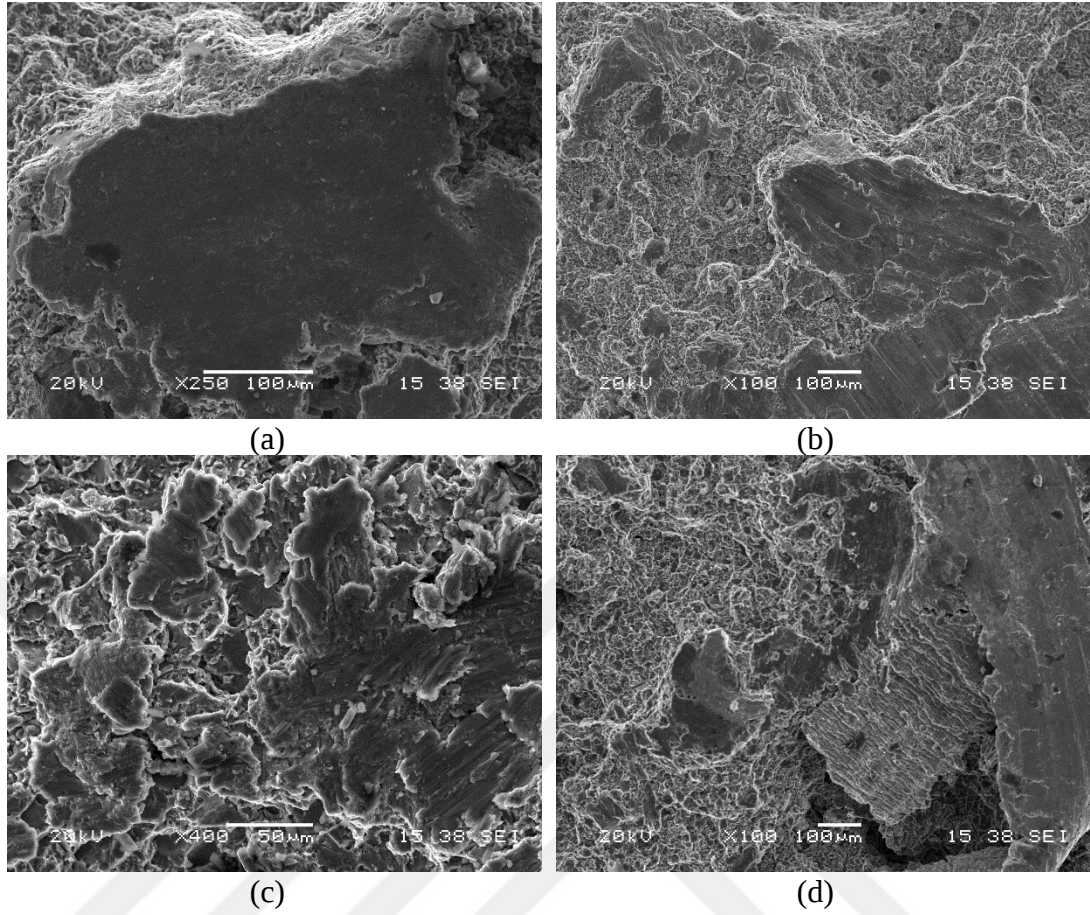
Şekil 5.29. %2,4Cu içeren alaşımlı numunenin a) 90 MPa'da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 90 MPa' da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 80 MPa'da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 80 MPa' da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



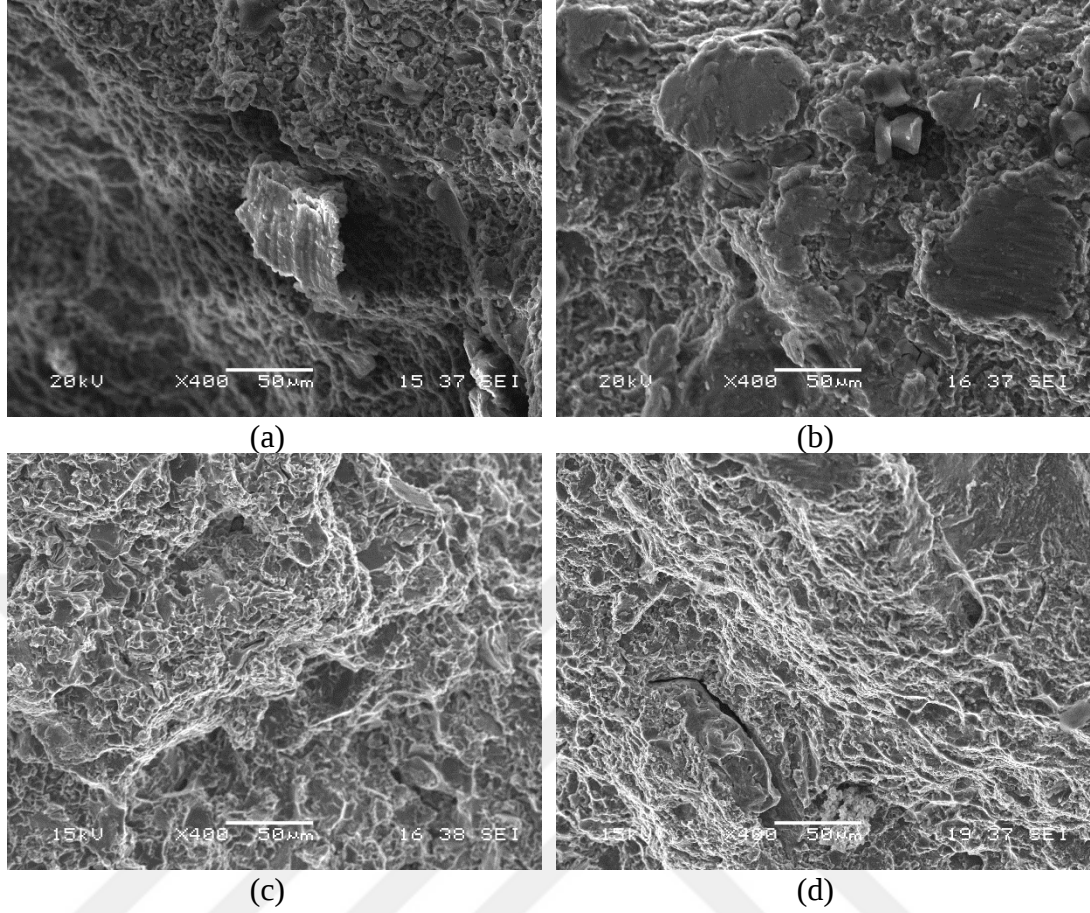
Şekil 5.30 %2,4Cu içeren alaşımlı numunenin a) 70 MPa'da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 70 MPa' da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa'da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa' da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



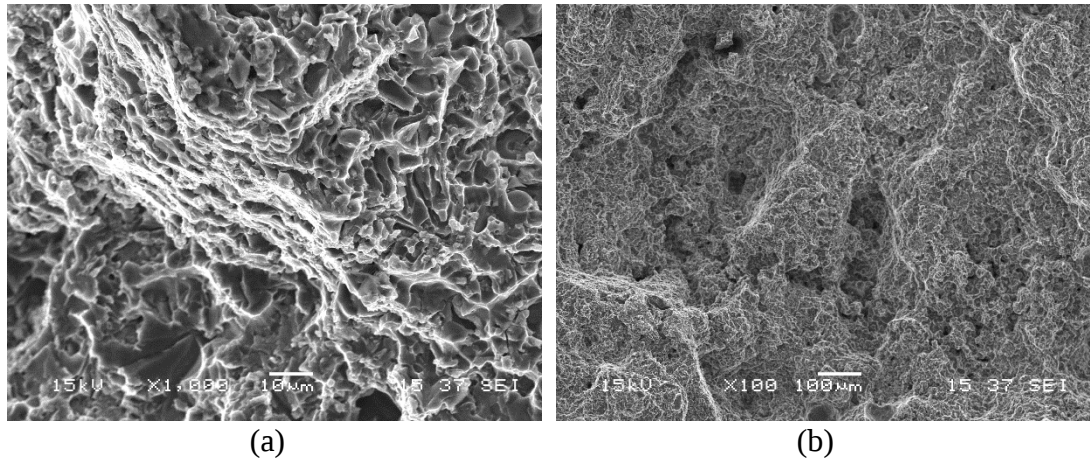
Şekil 5.31. %2,4Cu içeren alaşımlı numunenin a) 50 MPa'da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 50 MPa' da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



Şekil 5.32. %2,7Cu içeren alaşımlı numunenin a) 90 MPa'da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 90 MPa' da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 80 MPa'da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 80 MPa' da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



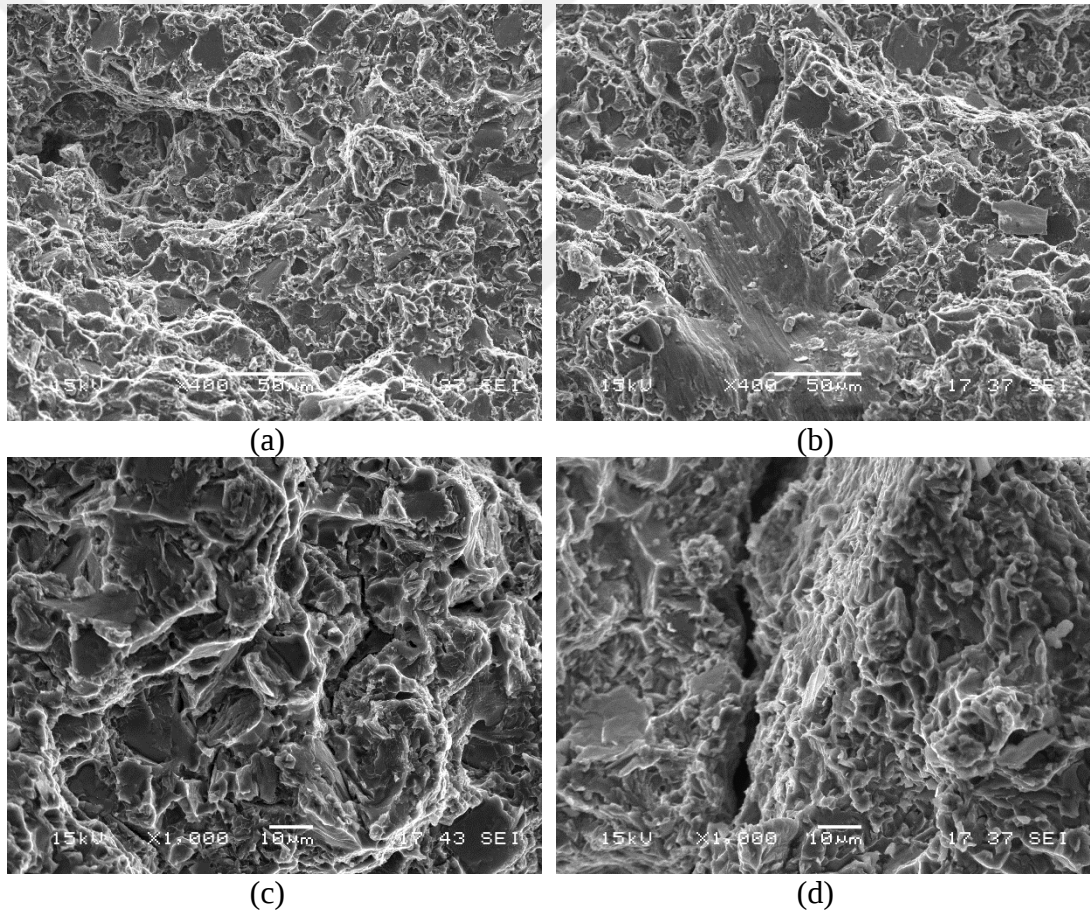
Şekil 5.33. %2,7Cu içeren alaşımlı numunenin a) 70 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 70 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



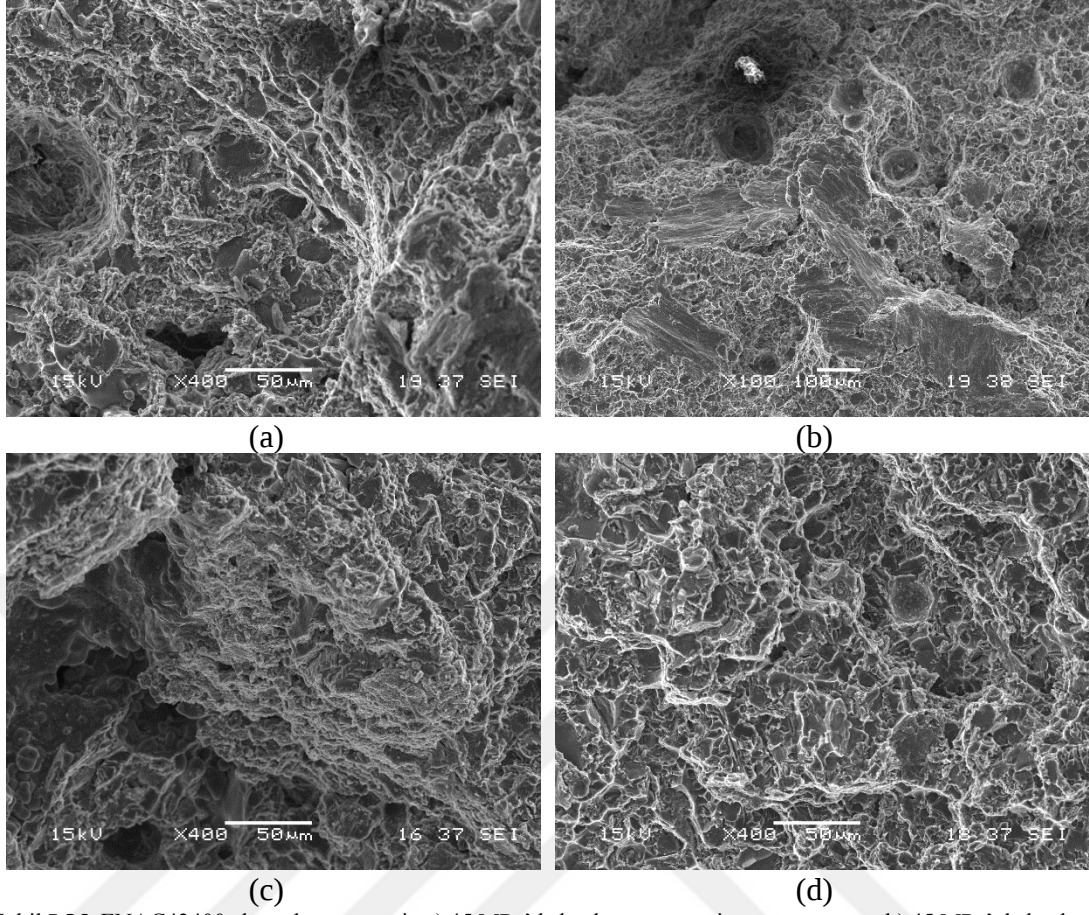
Şekil 5.34. %2,7Cu içeren alaşımlı numunenin a) 50 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 50 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü

Deneyde kullanılan ENAC43400 ve ağı. %0,4Mg içeren alaşımlara ait yorulma örneklerinin kırık yüzeylerini gösteren fotoğraflar Şekil 5.35.-5.38.’de verilmiştir.

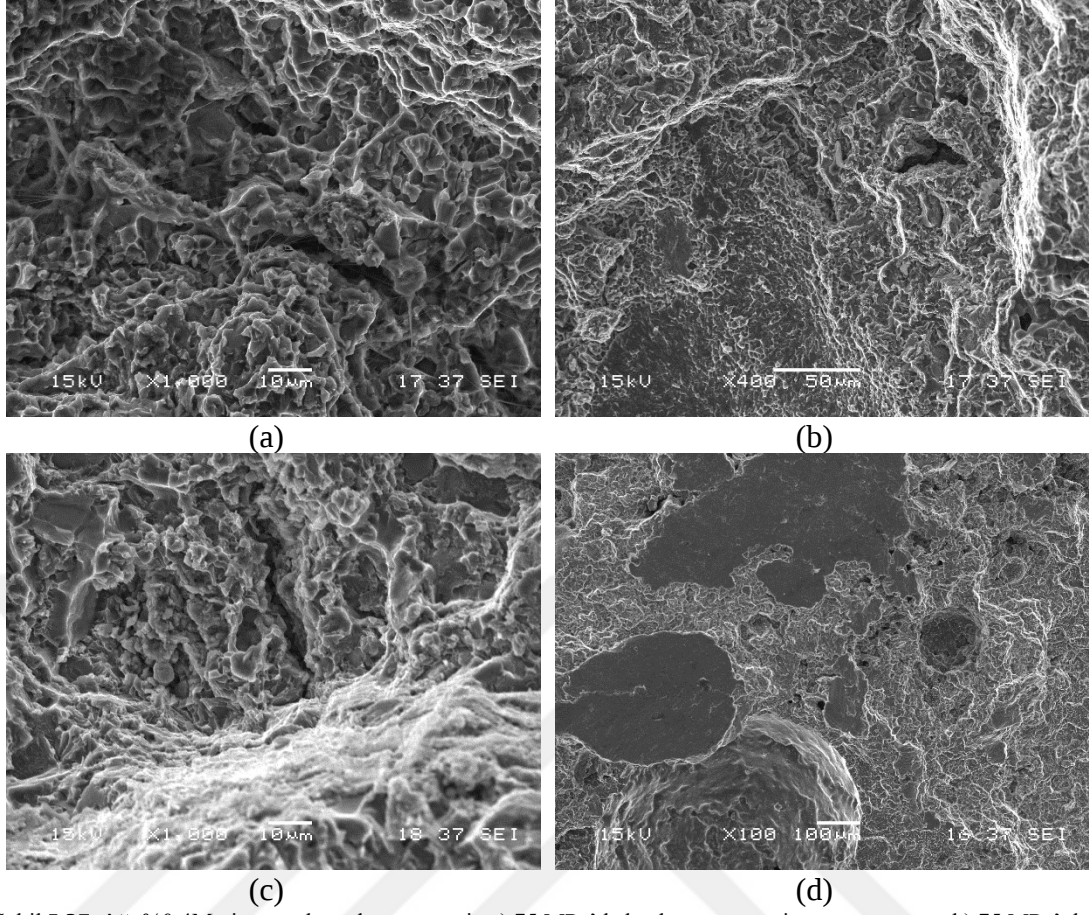
Şekillerden kırılma yüzeylerinin tipik yorulma yüzeyine benzer olup uygulanan gerilmeye göre sünek-gevrek bir kırılma davranışı gösterdiğini görüyoruz. ENAC43400 alaşımlı numunelerde yer yer yorulma çizgileri belirgin olarak görülmektedir. Magnezyum oranı arttıkça taneler nispeten düz yüzeyli ve farklı yönlenmiş kristalli bir görünüm sergilemektedir. Uygulanan gerilmeye bağlı olarak gerilme arttıkça görülen kırılma yüzeyinde daha gevrek bir kırılma göze çarpmaktadır. Ayrıca incelenen kırık yüzeylerde çatlaklar görülmektedir. Bu bakımdan kırılmaya neden olan çatlaklar muhtemelen malzemenin tane sınırından kaynaklanmaktadır. Malzemelerin üretimleri sırasında dentritik bir yapı sergilediklerinden dolayı keskin kenarlar oluşmuştur.



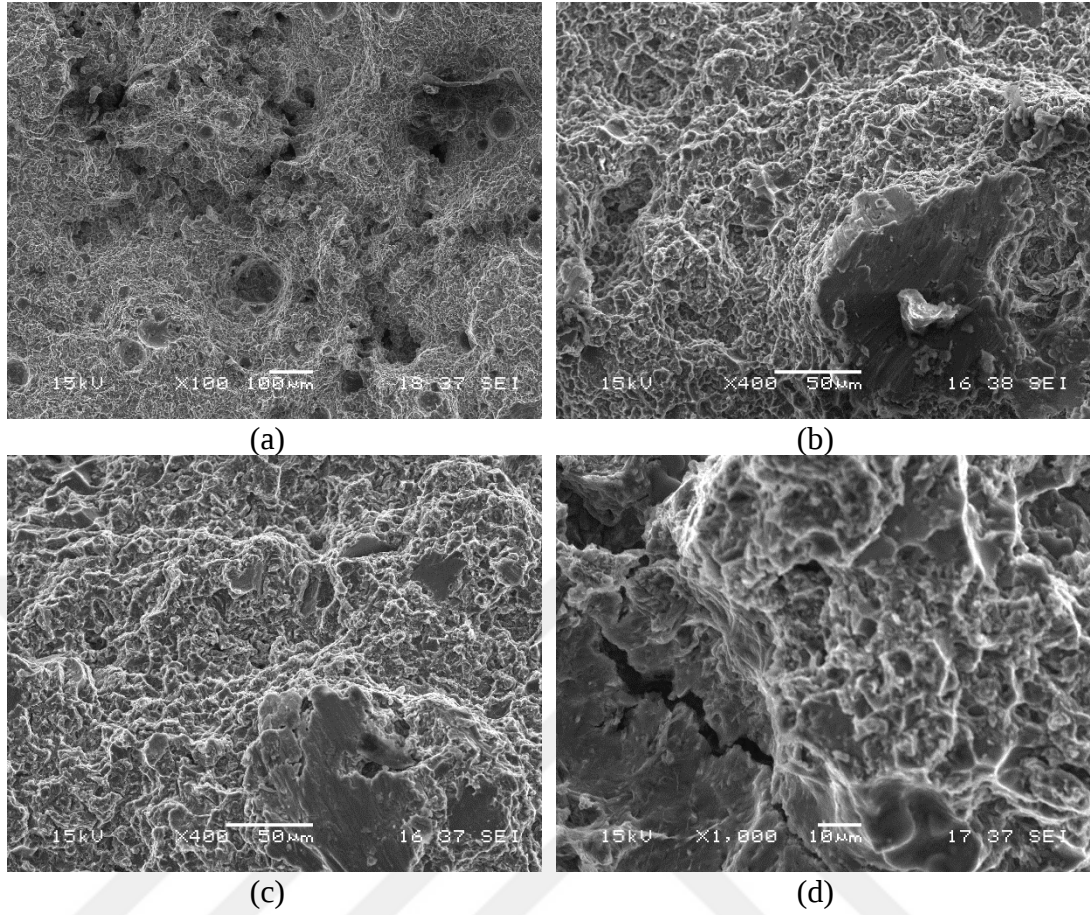
Şekil 5.35. ENAC43400 alaşımlı numunenin a) 75 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 75 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 90 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 90 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



Şekil 5.36. ENAC43400 alaşımlı numunenin a) 45 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 45 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa’da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



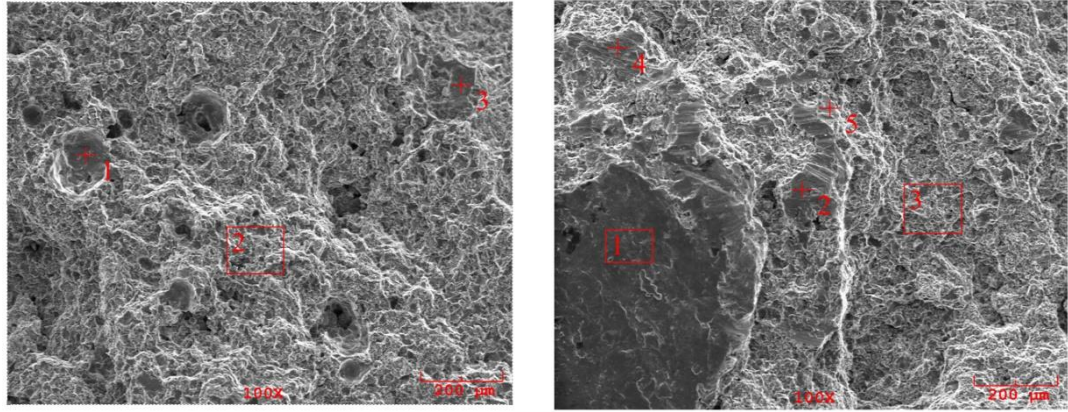
Şekil 5.37. Ağ. %0,4Mg içeren alaşımlı numunenin a) 75 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 75 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 90 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 90 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü



Şekil 5.38. Ağ. %0,4Mg içeren alaşımlı numunenin a) 45 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü b) 45 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü c) 60 MPa’da kırılan numunenin sem görüntüsü d) 60 MPa’ da kırılan numunenin diğer yüzeyinin sem görüntüsü

Sem incelemeleri sırasında yapıda inklüzyonlara rastlanmıştır. Bu yapıların yorulmaya etki ettiğini düşünülmektedir. Yapısını ve bileşimini anlamak için EDS ile analiz yapılmıştır. Buna göre ENAC46200, ağ. %2,4Cu ve ağ. %2,7Cu içeren numunelerin EDS analiz fotoğrafları Şekil 5.39.-5.41.’de verilmiştir. Fotoğrafta belirtilen noktalardan alınan EDS analiz sonuçları da Tablo 5.14.-5.19.’da verilmiştir. Her numune türü için en yüksek ve en düşük gerilme değerinde EDS değerleri verilmiştir. Şekil 5.39.(a)’da verilen 2 numaralı bölgede en yüksek oksijen değeri %1 olarak görülmüştür. Şekil 5.39.(b)’de ise 3 numaralı bölgede kurşun elementi %5 çıkmıştır.

Aynı şekilde diğer grup numunesi olan ENAC43400 ve ağ. %0,4Mg içeren numunelerin EDS fotoğrafları Şekil 5.42.-43.’te verilmiştir. Fotoğrafta belirtilen noktalardan alınan EDS analiz sonuçları da Tablo 5.20.-5.23.’te verilmiştir.



(a)

(b)

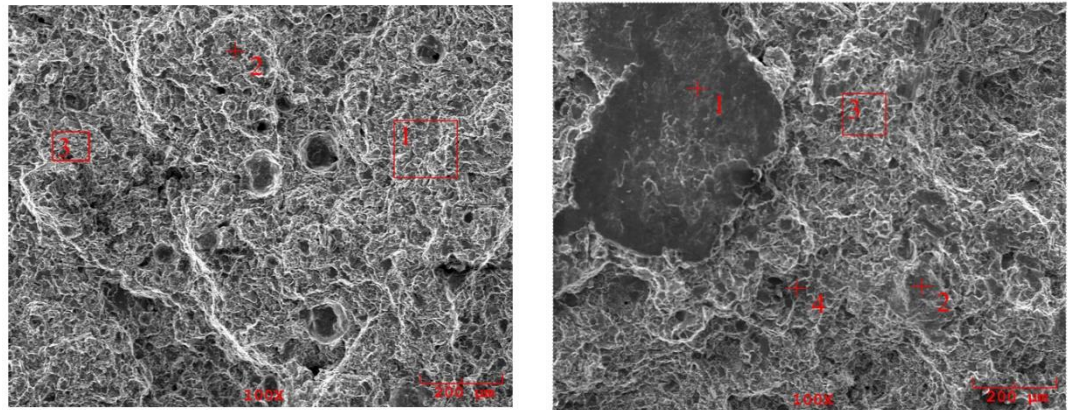
Şekil 5.39. ENAC46200 alaşımlı numuneden alınan a) 50 MPa’ da alınan EDS fotoğrafı b) 90 MPa’ da alınan EDS fotoğrafı

Tablo 5.14. ENAC46200 alaşımlı numunenin 50MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%O	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Cr	%Mn	%Fe	%Ni	%Cu	%Zn	%Pb
1	0,451	0,099	77,856	17,781	0,17	0,164	0,252	0,391	0,178	1,006	1,652	0
2	1,116	0,255	75,138	18,414	0,22	0,344	0,287	0,322	0,351	2,39	1,163	0
3	0,515	0,123	71,226	24,023	0,105	0,15	0,207	0,713	0,152	0,945	1,842	0

Tablo 5.15. ENAC46200 alaşımlı numunenin 90MPa’da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Mn	%Fe	%Ni	%Cu	%Zn	%Pb
1	0,554	83,49	10,118	0,252	0,337	3,516	0,694	0,569	0,469	0
2	0,179	89,379	6,011	0,087	0,106	0,246	0,272	0,58	0,827	2,313
3	0,164	81,817	10,854	0,076	0,143	0,39	0	0,712	0,486	5,358
4	0,573	78,219	19,17	0,046	0,039	0,239	0,287	0,583	0,844	0
5	0,156	96,244	2,122	0,179	0,141	0,123	0,178	0,531	0,326	0



(a)

(b)

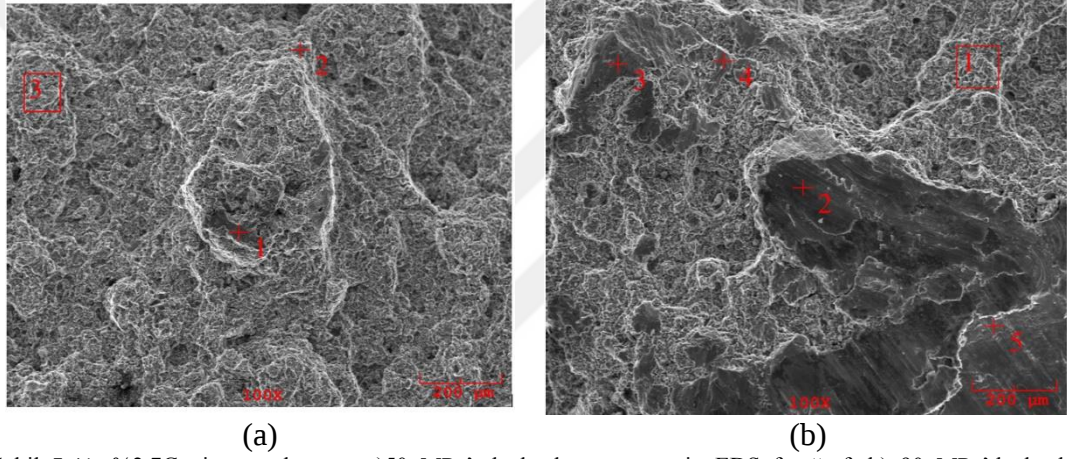
Şekil 5.40. Ağ. %2,4Cu içeren alaşımın a)50 MPa’ da kırılan numunenin EDS fotoğrafı b) 90 MPa’da kırılan numunenin EDS Fotoğrafı

Tablo 5.16. %2,4Cu içeren numunenin 50MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%O	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Cr	%Mn	%Fe	%Ni	%Cu	%Zn	%Pb
1	0,449	0,09	80,668	8,863	0,252	0,273	0,504	0,811	0,151	1,784	0,781	5,375
2	0	0,166	86,008	4,659	0,033	0,156	0,057	2,838	0,476	3,732	0,781	1,095
3	0,798	0,249	82,597	8,164	0,118	0,132	0,157	1,907	0,223	1,621	1,03	3,004

Tablo 5.17. %2,4Cu içeren numunenin 90MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Mn	%Fe	%Ni	%Cu	%Zn	%Pb
1	1,232	80,019	9,609	0,089	0,182	2,058	0,062	0,536	1,644	4,568
2	0,23	83,626	7,961	0,07	0,211	0,687	0,111	0,725	1,172	5,207
3	0,45	83,879	12,023	0,24	0,349	0,77	0,693	1,467	0,129	0
4	0,194	75,587	22,334	0,063	0,296	0,245	0,293	0,287	0,702	0



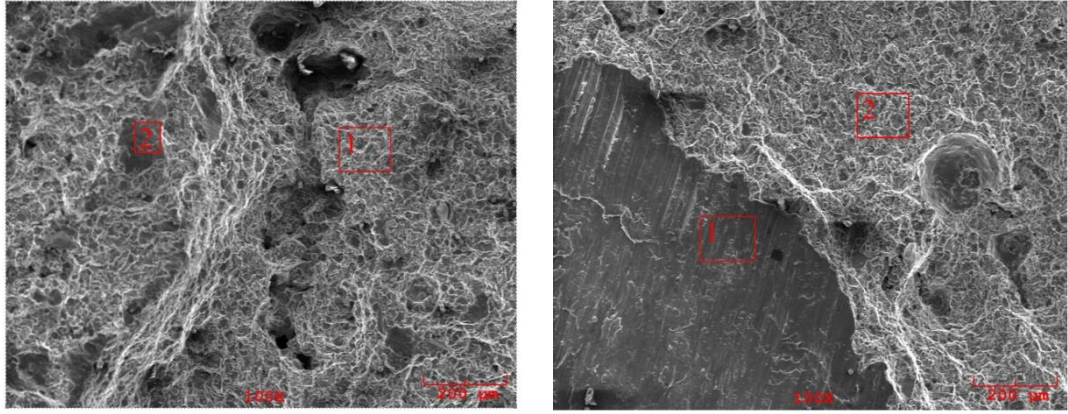
Şekil 5.41. %2,7Cu içeren alaşımın a)50 MPa' da kırılan numunenin EDS fotoğrafı b) 90 MPa'da kırılan numunenin EDS Fotoğrafı

Tablo 5.18. %2,7Cu içeren numunenin 50MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%O	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Cr	%Mn	%Fe	%Ni	%Cu	%Zn	%Pb
1	0,102	0,245	91,15	0,953	0,183	0,106	0,27	0,217	0,032	0,769	0,884	5,089
2	0,143	0,186	77,916	10,661	0,153	0,107	0,449	5,27	0,575	2,176	0,688	1,676
3	1,206	0,233	80,481	9,343	0,097	0,269	0,037	0,493	0,076	2,588	0,454	4,723

Tablo 5.19. %2,7Cu içeren numunenin 90MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%O	%Mg	%Al	%Si	%Cu
1	1,524	0,61	81,85	14,981	1,305
2	10,636	0,814	74,696	13,334	0,519
3	1,926	0,364	95,287	2,164	0,26
4	2,197	0,383	90,392	3,419	3,609
5	1,553	0,391	95,312	2,291	0,453



(a)

(b)

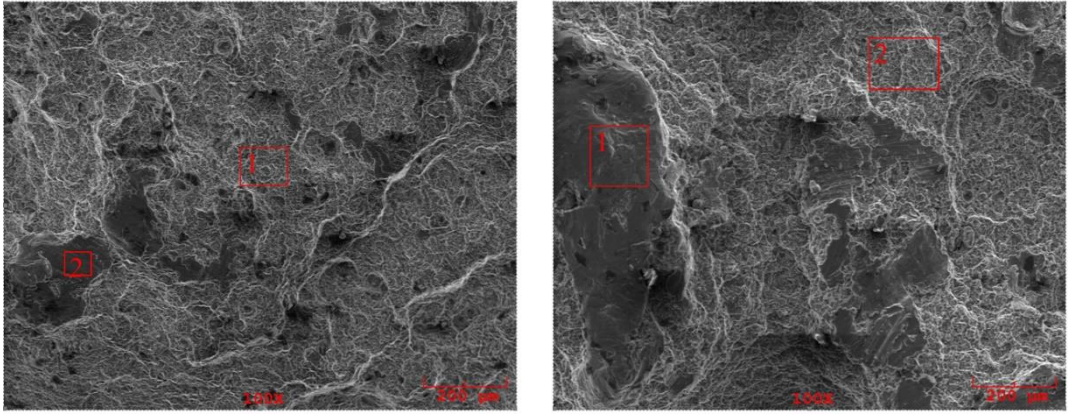
Şekil 5.42. ENAC 43400 alaşımlı numunenin a)45 MPa' da kırılan numunenin EDS fotoğrafı b) 90 MPa'da kırılan numunenin EDS Fotoğrafı

Tablo 5.20. ENAC 43400 alaşımlı numunenin 45MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%O	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Mn	%Fe	%Cu	%Zn	%Pb
1	1,229	0,701	80,525	8,28	0,066	0,553	1,151	0,747	1,721	5,028
2	4,874	0,773	82,346	9,798	0	0,393	0,703	0,482	0,631	0

Tablo 5.21. ENAC 43400 alaşımlı numunenin 90MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%O	%Mg	%Al	%Si	%Ti	%Mn	%Fe	%Cu	%Zn	%Pb
1	4,53	0,86	84,085	6,441	0,317	0,367	1,204	0,31	1,886	0
2	1,082	0,713	76,093	9,492	0,102	0,275	0,873	1,463	1,614	8,293



(a)

(b)

Şekil 5.43. %0,4Mg içeren numunenin a) 45 MPa' da kırılan numunenin EDS fotoğrafı b) 90 MPa'da kırılan numunenin EDS Fotoğrafı

Tablo 5.22. %0,4Mg içeren numunenin 45MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%O	%Mg	%Al	%Si	%Mn	%Fe	%Cu	%Zn
1	1,28	0,842	82,638	12,419	0,188	1,055	0	1,578
2	2,754	0,791	82,712	11,069	0,133	0,286	0,154	2,101

Tablo 5.23. %0,4Mg içeren numunenin 90MPa'da çekilen fotoğrafın EDS analizi

No	%O	%Mg	%Al	%Si	%Mn	%Fe	%Cu	%Zn
1	3,159	0,593	83,133	9,982	0,408	0,408	0,812	1,505
2	1,193	0,737	77,781	14,945	0,577	0,937	1,51	2,32

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada EN AC 43400 külçesine ve EN AC 46200 külçesine yüzde oranları değiştirilerek Mg ve Cu elementleri ilave edilmiş olup, farklı oranlarda ilave edilmiş olan alaşımların döküme olan katkısını incelemek hedeflenmiştir. Aynı alaşıma sahip numunelere farklı yüzdeliklerle belirli alaşım elementleri ilave edilerek mekanik testler uygulanmıştır. Bu doğrultuda üretilen numuneler çeşitli testlerden geçirilmiş ve alaşımın etkisi gözlemlenmiştir. Yük altında Mg alaşımının etkisiyle alaşım oranlarına bağlı olarak mukavemetin artması sonucuna ulaşılmıştır. 3 farklı numune alınmasıyla stabil durumdaki (ENAC43400) numune ile belirli oranda eklenen Mg ile yapılan kıyaslama sonucunda beklenen mukavemet artışına ulaşılmıştır.

Araştırmada elde edilen bulgulara göre, beklenen şekilde Mg ve Cu alaşım elementlerinin döküm özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak çalışmamızdan elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- ENAC46200 alaşımlı numunelerin sertlik sonuçlarına bakıldığında sertlikte doğrusal olarak artış veya düşüş olmayıp, Cu içeren numuneler için Cu miktarının sertlik ile doğrudan bir ilişki olmadığını göstermektedir.
- ENAC43400 alaşımlı numunelerin sertlik sonuçlarına bakıldığında Mg oranı arttıkça kademeli olarak sertliğin arttığı gözlenmiştir. Sertleşme mekanizmasının dislokasyonların hareketine engel olan, Mg_2Si fazlarının oluşumundan kaynaklanmaktadır.
- %0,3Mg içeren alaşım ile %0,6 Mg içeren alaşımın sertliği kıyaslandığında %0,3Mg içeren alaşım sertliği 69,1HB iken %0,6Mg içeren alaşımın sertliği 80,6HB' ye artış göstermiştir.
- ENAC46200 alaşımlı ve Cu ilaveli numunelerin XRD sonuçlarına bakıldığında Al-Si oranlarının yoğunlukta olduğu görülmektedir. Aynı

zamanda küçük pik şeklinde bakırın alüminyum ile CuAl_2 şeklinde bileşik yaptığı gözlemlenmiştir.

- ENAC43400 alaşımlı ve Mg ilaveli numunelerin XRD sonuçlarına bakıldığında Al- Si oranlarının yoğunlukta olduğu ve Al-Si esaslı alaşımlarda sertleşmeye neden olabilecek Mg_2Si ve Al_2Mg intermetalik fazlara rastlanmıştır.
- Optik mikroskop görüntüleri incelenerek Mg ve Cu elementlerinin yapıdaki değişikliği incelenmiştir. ENAC46200 alaşımlı yapılarda Cu oranının artmasıyla mikroyapıda daha eşit eksenli dendrit yapı görünmektedir.
- ENAC43400 alaşımlı yapı göz önüne alındığında Mg oranının artmasıyla Si iğnelerinin ve Mg_2Si bileşenlerinin incelendiği gözlenmiştir ve aynı zamanda Si parçacıklarının morfolojisi, Mg içeriğini arttıkça düzensiz hale geldiği görülmektedir, α -Al tanelerinin miktarı artmıştır.
- SEM görüntüsünde görünen koyu bölgeler Al ve Si alaşımların yoğunlukta olduğunu göstermektedir. Döküm yapısında oluşan dendrit yapı dikkat çekmektedir. Aynı zamanda yapıda bağlanmanın tam olamaması sonucunda porozitelerin olduğu görülmektedir.
- SEM/EDS çalışmaları intermetalik yapıların ve ayrık Si partiküllerinin özellikle ötektik bölgelerde var olduğunu göstermiştir. Si plakalarının belirli yönde yönelmeye eğilimli oldukları, dallanarak büyüme gösterdikleri görülmektedir.
- ENAC46200, ağ. %2,4Cu içeren ve ağ. %2,7Cu içeren alaşımların S-N diyagramları incelendiğinde en yüksek yorulma dayanımı ENAC 46200 alaşımından elde edilmiştir. %2,4Cu içeren alaşımların %2,7Cu içeren alaşıma göre aynı gerilme etkisinde yorulma dayanımının biraz daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sertlik değerleri de göz önüne alındığında en yüksek sertlik değerine ENAC46200 alaşımlı numuneler sahiptir ve en düşük sertlik değeri ağ. %2,7Cu içeren numunelere aitti. Bu durumda yorulma dayanımı ve sertlik arasında paralellik söz konusudur.
- ENAC43400 ve ağ. %0,4Mg içeren alaşımların gerilme-çevrim sayısı diyagramı incelendiğinde en yüksek yorulma dayanımı ağ. %0,4Mg içeren alaşımdan elde edilmiştir. Daha yüksek sertliğe sahip olduğu bilinen ağ.

%0,4Mg içeren alaşımın ENAC43400 alaşımından daha yüksek yorulma dayanımı göstermesi beklenen durumdur.

- Deneyde kullanılan numunelere ait yorulma örneklerinin kırık yüzeylerini incelendiğinde kırılma yüzeylerinin tipik yorulma yüzeyine benzer olup, uygulanan gerilmeye göre sünek-gevrek bir kırılma davranışı sergilemektedir.
- ENAC46200, ağ. %2,4 ve ağ. 2,7Cu içeren alaşımlara ait yorulma örnekleri incelendiğinde bakır ilavesinin daha pürüzlü bir kırık yüzeye neden olduğu görülmektedir.
- Yorulma numunelerine uygulanan gerilme miktarı düştükçe çevrim süresi artmaktadır. Bu durumda malzemenin kopan yüzeyinde sünek bir kırılma gözlemlenmektedir. Sünek kırılmada lifli yapılar, nehir çizgileri yorularak kırıldığına işaretir.
- Daha yüksek gerilme uygulandığı takdirde daha ani bir kırılma göstererek gevrek kırılma türünün daha yaygın olduğu gözlemlenmiştir numunelerde ise daha gevrek bir kırılma söz konusudur.
- ENAC43400 ve %0,4Mg içeren alaşımlı numunelerde yer yer yorulma çizgileri belirgin olarak görülmektedir. Magnezyum oranı arttıkça taneler nispeten düz yüzeyli ve farklı yönlenmiş kristalli bir görünüm sergilemektedir. Uygulanan gerilmeye bağlı olarak gerilme arttıkça görülen kırılma yüzeyinde daha gevrek bir kırılma göze çarpmaktadır.
- Ayrıca incelenen kırık yüzeylerde çatlaklar görünmektedir. Bu bakımdan kırılmaya neden olan çatlaklar muhtemelen malzemenin tane sınırından kaynaklanmaktadır. Malzemelerin üretimleri sırasında dentritik bir yapı sergilediklerinden dolayı keskin kenarlar oluşmuştur.

6.1. Öneriler

1. Farklı alaşımlar karşılaştırılıp optimum özellikte yapıya ulaşılabilir.
2. Döküm içerikleri ve alaşım oranları değiştirilebilir.
3. Bu çalışmaya ait korozyon testi yapılabilir.
4. Aşınma testleri yapılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Güven, O., Alüminyum silisyum magnezyum döküm alaşımlarının yapı incelemesi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [2] Turhan, S., Alüminyumun mekanik özelliklerine ve aşınma davranışına magnezyumun ve silisyumun etkisi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2002.
- [3] Uludağ, M., Farklı şartlarda dökülmüş modifiyeli Al-12Si alaşımlarında yapı ve özellikler. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [4] Yapıcı, C., AlTi5B1 master alaşımının alüminyum basınçlı döküm yönteminde tane inceltici olarak kullanımının incelenmesi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [5] Uğur, A., Basınçlı döküm yöntemi ile üretilen zn-al esaslı alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerine alaşım elementlerinin etkisi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2009.
- [6] F. Mert, A. Özdemir ve Ç. Karataş, “Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Döküm Yöntemiyle Kalıplanabilirliğinin Değerlendirilmesi,” Journal of Polytechnic, cilt 13, no. 3, pp. 165-176, 2010.
- [7] Odabaşı, A., Kokil ve kum kalıba döküm yöntemleriyle üretilen yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin x-ışınları ve taramalı elektron mikroskobu çalışmalarıyla karakterize edilmesi. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- [8] Uygun, Ö., Kokil kalıp ve uygulamalarında termal gerilme ve analiz etkisinin araştırılması. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [9] M. Türkmen, G. Erdoğan ve A. N. Kaya, “Hassas Döküm Yöntemi İle Üretilen Alaşımların Mikroyapı Ve Sertlik Özelliklerinin Araştırılması,” Technological Applied Sciences, Pp. 20-26, 14 Ocak 2019.

- [10] Kahraman, Z., Hassas dökümde kalite teknikleri ve hata analizleri. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2002.
- [11] <http://www.alganteknik.com/hassas-dokum-avantajlari.html>., Erişim Tarihi: 09.08.2020.
- [12] Kara, S., Alüminyum dolu kalıba döküm uygulamalarında model yoğunluğunun poroziteye etkisi. YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [13] <https://www.ceyrekmuhendis.com/kum-kaliba-dokum/>., Erişim Tarihi: 04.08.2020.
- [14] <http://www.sincast.info>., Erişim Tarihi: 15.08.2020.
- [15] <http://www.kiliclarhurda.com.tr>., Erişim Tarihi: 03.08.2020.
- [16] Muşdal, E., Alüminyum silisyum alaşımlarında demir intermetaliklerin etkisi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [17] <http://cumalifaydali.blogspot.com>., Erişim Tarihi: 07.08.2020.
- [18] Y. Çevirir, S. Necip ve M. Yıldırım, “Isıl İşlem Süresinin Ötektik-Altı Al-Si Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi,” Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, pp. 1036-1042, 07 Kasım 2018.
- [19] <https://dokumhane.net/>., Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- [20] <http://megep.meb.gov.tr>., Erişim Tarihi: 01.08.2020.
- [21] <http://www2.isikun.edu.tr>., Erişim Tarihi: 08.08.2020.
- [22] Yıldırım, M.T., Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen 3000 serisi alüminyum alaşımların yorulma davranışının incelenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [23] Kaya, H, Eşit kanal açısı presleme (ekap) ve yarı katı işlemlerle üretilen aa7075 alaşımlarının mikroyapı, sertlik ve yorulma davranışının incelenmesi. KOÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Bölümü, Doktora Tezi, 2013.
- [24] Turna, A, Döküm en ac 43300 alüminyum alaşımlarının kısa ömürlü yorulma davranışı modelinin incelenmesi ve modelin parça tasarımında kullanılması. İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2019.

- [25] Aydın, A., Sürtünme karıştırma kaynağı (fsw) ile kaynak edilmiş alüminyum alaşımlarının yorulma ömrünün artırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [26] Pakdil, M., Determination of the mechanical properties and fatigue crack propagation of the laser welded new generation aluminum alloys. Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mechanical Engineering, Degree of Doctor, 2005.
- [27] Çolak, H., Yüksek oranda alüminyum içeren çinko-alüminyum esaslı alaşımların yorulma davranışlarının incelenmesi. KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- [28] N. Seçgin ve A. Haşçalık, “Al-Mg Alaşımlarında Mg Oranının Yorulma Dayanımına Etkisi,” YTÜD 2003/4.

