



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ İLE
ETİAL-140 ALAŞIMINDAN ÜRETİLEN
HAVALI FREN KOMPRESÖR KAPAĞINDA
AŞINMA DİRENCİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Samet AKSOY

YÜKSEK LİSANS

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim
Dalı**

**Nisan-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Samet AKSOY tarafından hazırlanan “Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi ile Etial-140 Alaşımından Üretilen Havalı Fren Kompresör Kapağında Aşınma Direncinin Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 06/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

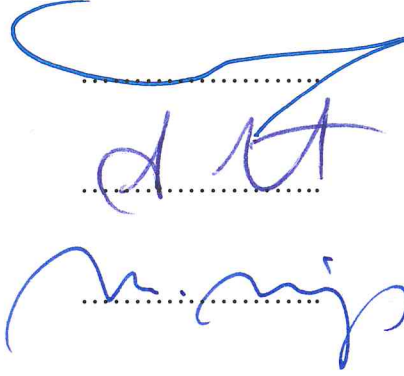
Danışman

Prof. Dr. Mustafa ACARER

Üye

Prof. Dr. Mesut UYANER

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Samet AKSOY

06.07.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ETİAL-140 ALAŞIMINDAN ÜRETİLEN HAVALI FREN KOMPRESÖR KAPAĞINDA AŞINMA DİRENCİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Samet AKSOY

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ACARER

2017, 90 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Necmettin TARAĞÇIOĞLU

Prof. Dr. Mustafa ACARER

Prof. Dr. Mesut UYANER

Ağır vasıtalarda fren sistemleri hava ile çalışmaktadır. Günümüzde artan hava ihtiyacı (fren sistemi, süspansiyon, vites sistemi vb.) kompresörlerden karşılanmaktadır. Motora dişli ya da kasnakla bağlanan kompresörler motordan aldığı dairesel hareketi krank mili, biyel kolu ve pistonlar vasıtasıyla doğrusal harekete çevirerek havayı 10-12 bar seviyesinde sıkıştırıp araç üzerindeki tanklara dolmasını sağlamaktadır.

Kompresör silindir kapakları yüksek basınçlı döküm yöntemiyle Etial-140 alaşımından üretilmektedir. Döküm yöntemi ve alaşımın seçkin özelliklerinden dolayı endüstride kullanımı oldukça yaygındır.

Bu çalışmada yüksek basınçlı döküm yöntemiyle üretilen silindir kapağının servis ortamında dinlendirme valfinin açılıp kapanması neticesinde oluşan aşınma direncinin artırılması için alaşım geliştirilmesi çalışmaları yapılmıştır. Aşınma performansının iyileştirilmesi için Etial-140 alaşımına %1,1, %2,4 ve %3,1 oranlarında Mg ilavesi yapılmıştır. Magmasoft döküm simülasyonu kullanılarak üretilen numune kalıbına yüksek basınçlı dökümler yapılmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi, darbe testi, sertlik testi, aşınma testleri, XRD, SEM, EDS analizleri ve mikroyapıları incelenmiştir. Etial-140 alaşımı Al matris içerisinde ötektik ve birincil silisyumdan oluşmaktadır. Bununla beraber alaşıma ilave edilen Mg içeriği ile birlikte mikroyapıda ilave olarak β -Fe ve Mg_2Si gibi intermetalikler oluşmuştur. Sertlik ve çekme mukavemeti Mg içeriği ile birlikte artış göstermiştir. Aşınma deney sonuçlarına göre en iyi aşınma performansı Mg ilave edilmiş alaşımlarda görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Basınçlı Döküm, Kompresör, Silindir Kapağı, Aşınma

ABSTRACT

MS THESIS

IMPROVEMENT OF WEAR RESISTANCE FOR AIR BRAKE COMPRESSOR HEAD CYLINDER PRODUCED BY HIGH PRESSURE DIE CASTING METHOD WITH ETİAL-140

Samet AKSOY

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN METALLURGICAL AND
MATERIAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Mustafa ACARER

2017, 90 Pages

Jury

Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

Prof. Dr. Mustafa ACARER

Prof. Dr. Mesut UYANER

On heavy vehicles, brake systems work with compressed air. Nowadays, increasing for demanding of high pressure air such as brake system, suspension, gear system, etc. is compensated for compressors. The compressors connected to engine with gears or pulleys, compress the air around 10-12 bar, and fill the tanks on the vehicle by converting the circular motion of the engine to linear motion employing pistons, connection rod and crankshaft.

Compressor cylinder heads are manufactured from Etial-140 alloy with high pressure casting method. AlSi12 alloys have wide spread usage in industry due to easy casting and outstanding properties.

In this work, an alloy development studies were conducted in order to increase the wear resistance of cylinder heads produced by high pressure casting method. In order to increase the abrasion resistance, 1,1, 2,4 and 3,1 % Mg were added to Etial-140 alloy. High pressure castings were performed using sample molds designed using Magmasoft casting simulation. The samples were investigated by tensile, impact, hardness, abrasion tests, and XRD, SEM, EDS, microstructure analyzes. Etial-140 alloy has primary Si and eutectic Si in Al matrix. However, there are Mg₂Si and other intermetallics such as β-Fe as well primary Si and eutectic Si in Etial-140 alloys with Mg. Hardness and tensile strength improved with increasing Mg content. According to the wear test results AlSi12 alloys with Mg presented the best wear performance.

Keywords: High Pressure Casting, Compressor, Head Cylinder, Wear.

ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince danışmanlığımı yaparak beni yönlendiren, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Prof. Dr. Mustafa ACARER'e en derin duygularıyla teşekkür ederim.

Çalışmakta olduğum Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları Sanayi A.Ş. firmasına çalışmalarım süresince sağladığı uygulama ve laboratuvar imkânlarından dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren değerli Ar-Ge yöneticimiz Makine Yüksek Mühendisi Erdem ÜNÜVAR'a teşekkür ederim.

Kalıp imalatı konusunda değerli bilgi ve tecrübeleriyle yardımcı olan kalıphane yöneticimiz Uğur TÜFENK'e katkılarından dolayı teşekkür ederim

Çalışmalarım boyunca her daim yanımda olan maddi manevi desteğini esirgemeyen kıymetli aileme ve sevgili nişanım Bedriye DOĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Samet AKSOY
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar LİSTESİ	iv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	2
1.1.1. Alüminyum Döküm Yöntemleri	4
1.1.2. Alüminyum Silisyum Alaşımları	5
1.1.3. Alaşım elementlerinin etkisi	9
1.2. Basınçlı Döküm Yöntemleri	10
1.2.1. Yüksek basınçlı döküm (High Pressure Die Casting)	12
1.2.2. Alçak Basınçlı Döküm (Low Pressure Die Casting)	17
1.2.3. Sıkıştırma Döküm (Squeeze Casting).....	18
1.2.4. Yarı Katı Döküm (Thixocasting).....	19
1.3. Aşınma ve Aşınma Türleri	21
1.3.1. Adhesiv Aşınma (Yapışma Aşınması).....	22
1.3.2. Abrasif Aşınma	23
1.3.3. Yorulma Aşınması	24
1.3.4. Erozyon Aşınma	25
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. Üretim	37
3.1.1. Kimyasal Bileşim.....	37
3.1.2. Döküm Simülasyonu Analizleri.....	37
3.1.3. Döküm numunelerin elde edilmesi	41
3.2. Karakterizasyon.....	46
3.2.1. Mikroyapı.....	46
3.2.2. Mekanik özellikler	47
3.2.3. Aşınma performansı.....	49
3.2.3.1. Aşınma test simülatörü tasarım ve imalatı	50

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	54
4.1. Kimyasal analiz.....	54
4.2. Karakterizasyon.....	54
4.2.1. Mikroyapı.....	54
4.2.2. SEM ve EDS analizleri.....	56
4.2.3. XRD analizleri.....	57
4.3. Mekanik özelliklerin incelenmesi.....	58
4.3.1. Kırık yüzeylerin SEM incelemeleri.....	61
4.4. Aşınma performansı.....	63
4.4.1. Aşınma yüzeyleri incelemeleri.....	67
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Farklı silisyum içeriğine sahip alüminyum alaşımlarının mikroyapısı; (a) %12,29 silisyum içeriğine sahip alüminyum alaşımı, (b) %19,85 silisyum içeriğine sahip alüminyum alaşımı (Lasa ve Rodriguez-Ibabe, 2003).	6
Şekil 1.2. Al-Si denge diyagramı (J.R. Davis, 1993).....	6
Şekil 1.3. Alüminyum döküm ürünlerin sektörel dağılımları (Özcömert, 2006)	7
Şekil 1.4. Avrupalı araç üreticilerinin bazı araç modellerinde kullandığı alüminyum miktarı (Anonymous, 2012).....	8
Şekil 1.5. Avrupa’ da üretilen araçların ortalama alüminyum kullanımının yıllara göre değişimi (Anonymous, 2012).	8
Şekil 1.6. H.H. Doehler tarafından günümüzde kullanılan basınçlı döküm makinasının 1910 yılında alınan patenti.....	11
Şekil 1.7. Basınçlı döküm yöntemlerinin gruplandırılması	12
Şekil 1.8. Soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm makinesi.....	13
Şekil 1.9. Soğuk kamaralı robot otomasyonlu yüksek basınçlı döküm makinesi.....	14
Şekil 1.10. Enjeksiyon döküm presin kalıp ve kovan bağlantısı	14
Şekil 1.11. Yüksek basınçlı döküm tezgahına ait baskı parametreleri	16
Şekil 1.12. Yüksek basınçlı döküm yöntemiyle üretilmiş alüminyum alaşımlı ürünler. 16	
Şekil 1.13. Alçak basınçlı döküm makinesinin şematik ve gerçek resmi (Anonymous, 2002)	17
Şekil 1.14. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen jantın süre-sıcaklık değişimi (Guofa ve ark., 2009)	17
Şekil 1.15. Devirmeli tip sıkıştırma döküm makinesi (Anonymous, 2002)	19
Şekil 1.16. Yarı katı dövme ve döküm yönteminin şematik gösterimi (Bozkurt, 2003) 20	
Şekil 1.17. Havalı fren kompresöründe kullanılan piston ve silindir kapağında servis şartlarında oluşan aşınmalar gösterilmektedir	21
Şekil 1.18. Adhesiv aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Varol, 2013).....	22
Şekil 1.19. Yatak malzemesinin kuru ve yağlı test koşullarında değişen sürtünme katsayısı ve yatak sıcaklığı (Ünlü ve ark., 2003)	23
Şekil 1.20. Kesici takım tarafından parçada oluşan abrasif aşınma (Demirel, 2013).....	24
Şekil 1.21. Erozyon aşınmasına ait farklı tipte örnekler (Varol, 2013)	25
Şekil 1.22. Ağır vasıtalarda kullanılan su pompasında meydana gelen erozyon aşınması	25
Şekil 2.1. Al-17Si-4.5Cu alaşımının değişen Mg ilavesi ile döküm ve ısıl işlem sonrası sertlik değerleri (Hekmat-Ardakan ve ark., 2010)	26
Şekil 2.2. Al17Si4,5Cu döküm alaşımının değişen Mg içeriği ile oluşan fazların mikroyapıları a) %0,5 mg, b) %6 Mg c) %10 Mg (Hekmat-Ardakan ve ark., 2010).....	27
Şekil 2.3. A390 alaşımına ilave edilen Mg içeriği ile birlikte döküm ve ısıl işlemler parçaların hacim kaybı (Hekmat-Ardakan ve ark., 2010)	27
Şekil 2.4. Farklı üretim tekniğine sahip alaşımların mikroyapısı a) H2, b) SQ2, c) Thixo ve d) LF1 (Lasa ve Rodriguez-Ibabe, 2003).....	28
Şekil 2.5. Farklı test koşullarında numunelerin aşınma katsayıları (Lasa ve Rodriguez-Ibabe, 2003)	29
Şekil 2.6. Modifiye edilerek %3,6 Mg ve %0,5 La içeriğine sahip AlSi12 alaşımı (Diaofeng Li ve ark., 2016)	31
Şekil 2.7. AlSi12 temel alaşımı ile modifiye edildikten sonraki mekanik özellikler (Diaofeng Li ve ark., 2016)	31
Şekil 2.8. ETİAL-180 alaşımına %0,6 Mg ilavesi sonucu SEM görüntüsü ve elementsel analizi (Başaranel ve ark., 2013)	32

Şekil 2.9. Alaşımlarda oluşan % porozite miktarı (Fabrizi ve ark., 2013)	33
Şekil 2.10. A390 alaşımında pin on disk testinde 2×10^6 çevrim sonucu aşınan yüzey (Dey ve ark., 2009)	34
Şekil 2.11. Pin on disk test cihazında farklı çevrim sürelerinde oluşan aşınma değerleri (Dey ve ark., 2009)	35
Şekil 2.12. Uygulanan farklı yükler altında aşınma oranlarında meydana gelen değişim (Y. Sun ve ark., 1999).....	35
Şekil 2.13. Cu içeriğinin artışı ile matristeki Mg_2Si değişimi (Palta ve ark., 2012).....	36
Şekil 2.14. Bakır içeriğinin artışı ile sertlik değişimi (Palta ve ark., 2012).....	36
Şekil 3.1. Döküm simülasyonu akışı	38
Şekil 3.2. Kalıp içerisine yerleştirilen test numuneleri	39
Şekil 3.3. Döküm simülasyonu için yapılan ilk tasarım	40
Şekil 3.4. Simülasyon çalışması yapılan 12 farklı kalıp tasarımı	40
Şekil 3.5. Simülasyon çalışmaları neticesinde optimum döküm kalitesine ulaşılan 12. tasarıma ait analiz sonuçları.....	41
Şekil 3.6. Simülasyon verilerine göre üretilen yüksek basınçlı döküm kalıbı.....	42
Şekil 3.7. Döküm işlemlerinde kullanılan ergitme ocağı.....	43
Şekil 3.8. Kimyasal analiz için kullanılan spektrometre cihazı	43
Şekil 3.9. Gaz giderme işleminde kullanılan makine	44
Şekil 3.10. Dökümlerin gerçekleştiği 400 ton kapasiteli yüksek basınçlı döküm makinesi	45
Şekil 3.11. Yüksek basınçlı döküm yöntemiyle elde edilen numuneler	45
Şekil 3.12. Mikroyapı numunelerinin hazırlanmasında kullanılan; a) Numune kesme cihazı ve b) Zımpara ve parlatma cihazı	46
Şekil 3.13. Mikroyapı görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan a) Ters metal mikroskopu, b) SEM cihazı	46
Şekil 3.14. 5 ton kapasiteli elektromekanik çekme-basma test cihazı.....	47
Şekil 3.15. Charpy darbe testi için kullanılan cihaz	48
Şekil 3.16. Sertlik ölçümlerinde kullanılan mikrovickers sertlik cihazı.....	48
Şekil 3.17. Farklı alaşımların yoğunluk ölçümünde kullanılan Arşimet terazisi.....	49
Şekil 3.18. Test simülatörünün hareket mekanizmasının katı modeli	50
Şekil 3.19. Test simülatörünün bağlantı parçaları	51
Şekil 3.20. ANSYS konstrüksiyon analizleri a) Test sisteminin 139 Hz frekansta çalışması durumunda oluşabilecek deformasyonlar, b) Test sisteminin üzerindeki ağırlıklar neticesinde oluşabilecek gerilmeler	51
Şekil 3.21. Tasarımı doğrulanan test simülatörü	52
Şekil 3.22. Üretimi yapılan aşınma test simülatörü	53
Şekil 4.1. ETİAL-140 alaşımının farklı büyütme altındaki mikroyapısı.....	55
Şekil 4.2. ETİAL-140 alaşımına %1,1 Mg ilavesiyle elde edilen farklı büyütme altındaki mikroyapısı	55
Şekil 4.3. ETİAL-140 alaşımına %2,4 Mg ilavesiyle elde edilen farklı büyütme altındaki mikroyapısı	55
Şekil 4.4. ETİAL-140 alaşımına %3,1 Mg ilavesiyle elde edilen farklı büyütme altındaki mikroyapısı	55
Şekil 4.5. ETİAL-140 alaşımının EDS analizi	56
Şekil 4.6. %1,1 Mg içeriğine sahip ETİAL-140 alaşımının EDS analizi	56
Şekil 4.7. %2,4 Mg içeriğine sahip ETİAL-140 alaşımının EDS analizi	57
Şekil 4.8. %3,1 Mg içeriğine sahip ETİAL-140 alaşımının EDS analizi	57
Şekil 4.9. Alaşımlara ait XRD analizleri	58
Şekil 4.10. Magnezyum ilavesiyle birlikte değişen mikrovickers sertlik değerleri.....	59

Şekil 4.11. Magnezyum ilavesine göre değişen; a) Çekme mukavemeti ve b) Kopma uzaması	60
Şekil 4.12. Magnezyum ilavesine göre değişen kırılma enerjisi	61
Şekil 4.13. Darbe testi sonrası elde edilen yüzeylere ait SEM görüntüleri; a) ETİAL-140 alaşımı, b) %1,1 Mg ilave edilmiş ETİAL-140 alaşımı, c) %2,4 Mg ilave edilmiş ETİAL-140 alaşımı ve d) %3,1 Mg ilave edilmiş ETİAL-140 alaşımı	63
Şekil 4.14. Alaşımların aşınma testi sonucunda ağırlık değişimleri.....	65
Şekil 4.15. Alaşımların farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının değişimi	66
Şekil 4.16. Alaşımların farklı yük altındaki ağırlık değişimi	67
Şekil 4.17. ETİAL-140 alaşımının 10N, 20N, 30N ve 40N yük altındaki aşınan yüzeylerin stereo mikroskop görüntüleri	68
Şekil 4.18. %1,1 Mg ilave edilmiş alaşımın 10N, 20N, 30N ve 40N yük altındaki aşınan yüzeylerin stereo mikroskop görüntüleri	69
Şekil 4.19. % 2,4 Mg ilave edilmiş alaşımın 10N, 20N, 30N ve 40N yük altındaki aşınan yüzeylerin stereo mikroskop görüntüleri	69
Şekil 4.20. % 3,1 Mg ilave edilmiş alaşımın 10N, 20N, 30N ve 40N yük altındaki aşınan yüzeylerin stereo mikroskop görüntüleri	70

TABLULAR LİSTESİ

Çizelge 1.1. Saf alüminyumun özellikleri (Ak, 2012).....	2
Çizelge 1.2. Alüminyum döküm alaşımlarının ticari sınıflandırılması (Anonymous, 2002).....	3
Çizelge 1.3. Dövme (işlem) alaşımlarının ticari sınıflandırılması (Ilgaz, 2014).....	4
Çizelge 2.1. Farklı üretim yöntemlerine sahip alaşımların kimyasal bileşimi (Lasa ve Rodriguez-Ibabe, 2003).....	28
Çizelge 2.2. Yüksek basınçlı döküm ve yarı katı şekillendirilmiş numunelere ait kimyasal bileşim (Biol ve Biol, 2008).....	30
Çizelge 2.3. Farklı alaşım ve üretim yöntemlerine sahip numunelerin sertlik ve aşınma oranları (Biol ve Biol, 2008).....	30
Çizelge 2.4. EN AC 46000 alaşımına eklenen Sr, Mg ve Cu oranları (Fabrizi ve ark., 2013).....	33
Çizelge 3.1. Test ve deneylerde üretilmesi hedeflenen alaşım matrisi.....	37
Çizelge 3.2. Deneme dökümleri için üretimi yapılan ergitme ocağına ait teknik veriler.....	42
Çizelge 3.3. Elde edilen numunelere ait döküm parametreleri.....	44
Çizelge 4.1. Döküm çalışmalarında kullanılan alaşımların kimyasal analizi (%ağırlıkça).....	54
Çizelge 4.2. Farklı alaşımlara ait aşınma test parametreleri ve sonuçları.....	64
Çizelge 4.3. Farklı kimyasal bileşene sahip alaşımların yoğunluk ölçümleri.....	71

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinde demir dışı metaller arasında en fazla üretime sahip metallerin başında alüminyum ve alüminyum alaşımları gelmektedir. Özellikle düşük yoğunluklu alaşım kullanımının giderek arttığı endüstriyel uygulamalarda alüminyum alaşımları kolay dökülebilirlik, düşük yoğunluk, alaşımlandırılabilirliği, korozyon direnci, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği gibi avantajlarından dolayı kullanımı giderek artmaktadır. Alüminyum, yeryüzünde yaygın olarak bulunmasından dolayı endüstriyel olarak gelişen çalışmalarla birlikte kullanım alanları artış göstermiştir. Alüminyum kullanımı özellikle 19. Yüzyıldan sonra büyük bir ivme kazanmıştır. Bunun sebebi ise alüminyumun doğada oksit olarak bulunması ve indirgenmesi için yüksek enerjilere ihtiyaç duyulmasıdır. Gelişen teknoloji sayesinde 19. Yüzyılda metal olarak indirgenmesi sağlanmıştır. Ergimiş alüminyumun oksijene ilgisi yüksek olup ergitme işlemi sırasında yüzeyde oksit tabakası oluşur. Ergitme sırasında çalkantıların oluşmadığı sürece yüzeydeki oksit tabakası sıvı metali oksidasyona karşı korumaktadır.

Günümüzde otomotiv, havacılık, makine, inşaat, dekorasyon ve daha birçok sektörde kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılmasındaki temel etkenlerden biri de üretiminden tüketimine kadar çevreyle dost ve geri dönüşümünün kolay olmasıdır. Alüminyum saf olarak kullanılmasının yanında birçok elementle alaşım oluşturarak üstün mekanik özelliklere sahip olabilmektedir.

Dünyada iki tip alüminyum üretimi mevcut olup bunlar birincil alüminyum ve ikincil alüminyum olarak adlandırılmaktadır. Bunlardan ilki elektroliz hücrelerinde gerçekleştirilmekte olup yüksek yatırım maliyetine ihtiyaç vardır. İkincil alüminyum üretiminde ise hurdaların ergitilerek geri dönüşümünden elde edilmekte olup yatırım maliyeti oldukça düşüktür. Bu sebeplerden dolayı ülkemiz ve dünyada ikincil alüminyum kullanımı daha yaygındır. Alüminyumun hurdalardan geri kazanımı, günümüz alüminyum endüstrisinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Geri kazanım prosesi, metalin basitçe tekrar ergitilmesi esasına dayanmaktadır ve bu yöntem metalin cevherinden üretimine göre kıyaslandığında çok daha ekonomiktir. Alüminyumun rafinasyonu çok yüksek miktarlarda elektrik enerjisi gerektirmektedir. İkincil yöntemle elde edilen üretim birincil üretimde kullanılan enerjinin yaklaşık %5' ine karşılık gelmektedir. Geri kazanım prosesi 1900'lü yılların başlarından beri uygulanmaktadır. 1960'li yılların sonlarına kadar çok az uygulanan geri kazanım olgusu, bu tarihte içecek

kutularının alüminyumdan yapılmaya başlanması ile gündeme daha yoğun şekilde gelmiştir (Özcömert, 2006).

1.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum, varlığı 1808'de İngiliz kimyager H. Davy tarafından kanıtlanan ve yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerden bir tanesidir. En önemli kaynağı boksit cevheri olup Al simgesiyle gösterilir. Periyodik tablonun 3A grubu elementlerinden olup atom numarası 13, yoğunluğu $2,7\text{g/cm}^3$ ve kütle numarası 27'dir. Yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısına sahip olup ergime sıcaklığı $660\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Düşük yoğunluğuna rağmen sergilediği üstün mukavemet özellikleriyle geniş kullanım alanları bulmuştur (Uğurlu, 2009).

Alüminyum, endüstriyel uygulamalarda demir çelik grubundan sonra en çok kullanılan malzeme özelliğini taşımaktadır. Saf halde 50 MPa olan çekme dayanımı alaşımlandırıldığında 700 MPa değerlerine kadar çıkabilmektedir. Alüminyum ürünler birçok sektörde kullanılmakta olup farklı ürün çeşitliliklerine sahiptir. Saf alüminyuma ait bazı özellikler aşağıdaki Çizelge 1.1'de verilmiştir (Ak, 2012).

Çizelge 1.1. Saf alüminyumun özellikleri (Ak, 2012)

Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26,97 g/mol
Kristal yapısı	Yüzey merkezli Kübik (YMK)
Yoğunluğu	$2,7\text{ g/cm}^3$
Ergime noktası	$660\text{ }^\circ\text{C}$
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	$150\text{ }^\circ\text{C}-300\text{ }^\circ\text{C}$
Buharlaşma noktası	$2450\text{ }^\circ\text{C}$
Özgül ısısı	$0,224\text{ cal/g (100}^\circ\text{C)}$
Elastisite modülü	$72 \times 10^3\text{ Mpa}$
Poisson oranı	0,33
Kayma modülü	$27 \times 10^3\text{ Mpa}$
Çekme mukavemeti	40-90 Mpa
Akma mukavemeti	10-30 Mpa
Kopma uzaması	% 30-40

Alüminyum alaşımları döküm ve dövme alaşımları olarak ikiye ayrılmaktadır. Döküm alaşımlarının sınıflandırılması ve isimlendirilmesi kimyasal kompozisyonlarına göre yapılmaktadır. Alüminyum alaşımların sınıflandırılmasında uluslararası olarak kabul edilen isimlendirme U.S. Aluminium Association tarafından 2 yöntem kullanılarak

yapılıyor. Döküme göre isimlendirme, 3 tane rakam ve virgülden sonra 1 tane daha rakamla, işlenecek alüminyum külçesi için de 4 haneli rakam sistemi kullanılarak nümerik dizilim ile yapılmaktadır. Bu gösterimde ilk rakam majör alaşımlandırma elementini göstermektedir. Dövme alaşımlarında ise dört rakamdan oluşan tanımlama sistemi kullanılmaktadır. İlk rakam alüminyuma ilave edilen majör metali gösterir. Alüminyum dövme ve döküm alaşımları aşağıdaki Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3’ de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır.

Çizelge 1.2. Alüminyum döküm alaşımlarının ticari sınıflandırılması (Anonymous, 2002)

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi
1xx.x	Alaşımlandırılmamış Alüminyum (% 99.0 veya daha yüksek safiyet)
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmayan seri
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer elementler

2xx.x, 3xx.x, 4xx.x ve 7xx.x serilerine ısıtma işlemi uygulanabilmektedir. Sınıflandırma sisteminde 1xx.x grubunda noktanın solundaki iki rakam alaşım içerisindeki en az alüminyum içeriğini belirtmektedir. 2xx.x’den 9xx.x grubuna kadar olan aralıkta noktanın solundaki iki rakam sadece grup içerisindeki alaşımları ayırt etmek için kullanılmakta olup özel bir anlam taşımamaktadır. Örneğin 190.x dizilimi %99.90 saflığındaki alüminyumu ifade etmektedir. Aynı grupta noktadan sonraki hane ürün şeklini nitelendirmektedir. Bu dizilimde 0 dökümler için 1.ve 2. külçeler içindir (Ak, 2012).

Çizelge 1.3. Dövme (işlem) alaşımlarının ticari sınıflandırılması (İlgaz, 2014)

Dövme Alüminyum Alaşım Grupları		Yaşlandırılma Kabiliyeti
1XXX	%99.0 veya daha fazla Al içerir	Yaşlandırılmaz
2XXX	Cu ana alaşım elementidir	Yaşlandırılabilir
3XXX	Mn ana alaşım elementidir	Yaşlandırılmaz
4XXX	Si ve Cu veya Mg ana alaşım elementidir	Mg varsa yaşlandırılabilir
5XXX	Mg ana alaşım elementidir	Yaşlandırılmaz
6XXX	Si ve Mg ana alaşım elementidir	Yaşlandırılabilir
7XXX	Zn ana alaşım elementidir	Yaşlandırılabilir
8XXX	Diğer elementler	----
9XXX	Yaygın olarak kullanılmayan seri	----

1.1.1. Alüminyum Döküm Yöntemleri

Döküm; en eski üretim yöntemlerinden biri olup ergitilmiş metalin modellenmiş bir kalıba doldurulması ile yapılan imalattır. Bu üretim yönteminin M.Ö. 4000 yılına kadar uzanan bir geçmişinin bulunduğu bilinmektedir. Döküm yöntemi ile basit ya da karmaşık geometriye sahip parçaların üretimi olanaklı hale gelmiştir. Parçaların ağırlıkları birkaç gramdan birkaç tona kadar geniş bir aralık içerisinde değişiklik gösterebilmektedir. Döküm kalıplarını temel olarak kalıcı kalıp ve bozulabilir kalıp olarak ayırmak mümkündür. Endüstriyel gelişmelerin ve artan sektörel ihtiyacalar neticesinde çelik kalıpların kullanımı oldukça yaygındır. Burada kalıcı kalıpların ekonomik olabilmesi için yüksek adetli üretim hacimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Döküm yöntemi ile parçaların üretimi aşağıda belirtilen birçok avantajlarından dolayı günümüzde de yaygın şekilde tercih edilmektedir. Bunlar başlıca şöyledir;

Karmaşık geometriye sahip parçaların üretilebilmesi,

Yüksek adetli seri üretim hızı,

Diğer yöntemlere göre düşük maliyet,

Farklı metal ve alaşımlarla uygulanabilirliği,

Elde edilen ürünlerin daha az talaşlı imalat gereksinimleri

Yukarıda belirtilen başlıca avantajları neticesinde ve artan günümüz teknolojisiyle birlikte birçok döküm yöntemi geliştirilmiştir. Aynı parçanın birden fazla döküm

yöntemiyle üretilmesi mümkündür. Endüstride yaygın olarak kullanılan başlıca döküm yöntemleri şu şekildedir.

Kum kalıba döküm,

Kokil döküm,

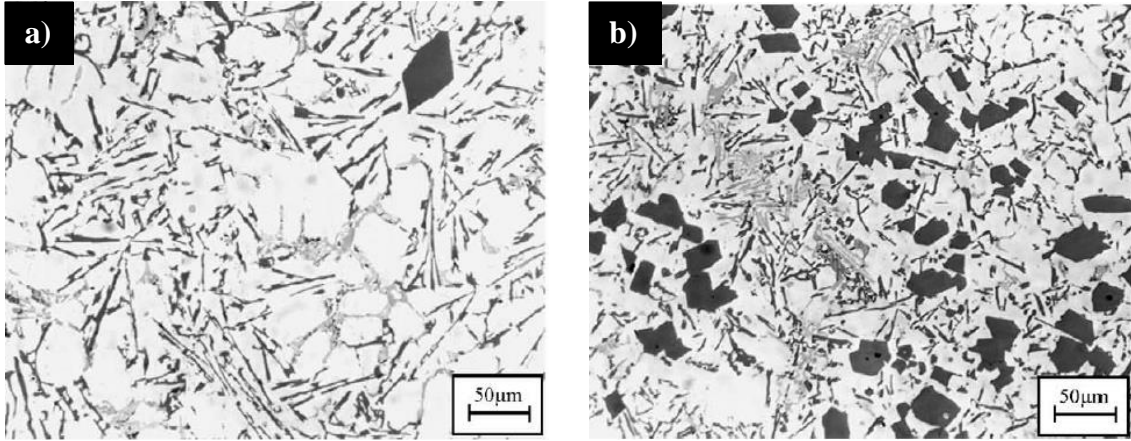
Basınçlı döküm,

Hassas döküm

Dökümün avantajları kadar döküm metotlarının da birbirileri arasında avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Fakat yüksek seri üretim hızları ve karmaşık şekilli parçaların endüstriyel üretiminde basınçlı döküm yöntemleri yaygın olarak tercih edilmektedir.

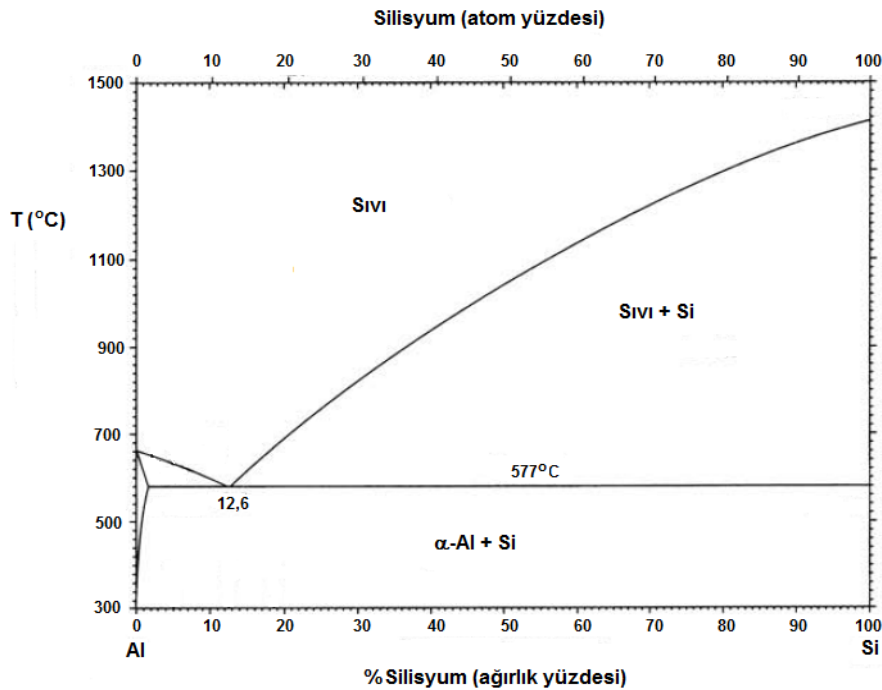
1.1.2. Alüminyum Silisyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek korozyon direnci, geri dönüşümünün kolay olması gibi birçok avantajlarından dolayı farklı endüstriyel alanlarda kullanım alanı bulmuştur. Özellikle alaşımlandırılmasıyla yüksek mekanik özellikler sergilemektedir. Bu alaşımların başında Alüminyum-Silisyum alaşımları gelmekte olup alüminyum döküm sektörünün en yaygın kullanılan alaşımlarından biridir. Bu alaşımlar 4XX.X şeklinde gösterilmekte olup silisyumun sağladığı yüksek akışkanlık özelliği sayesinde ince kesitli ve karmaşık parçaların dökülebilirliğine imkân sağlamaktadır. Al-Si faz diyagramında %12,6 Si içeriği 577 °C' de ötektik noktaya denk gelmektedir. Silisyum içeriği akışkanlık ve korozyon direncini arttırırken sünekliği azaltıcı etki göstermektedir. Ötektik alaşımda silisyum parçacıkları iğnemi yapıda mikroyapıda bulunmaktadır. Ötektik üstü alaşımlarda ise birincil silisler oluşarak daha büyük yapıya sahiptirler. Şekil 1.1'de %12,29 ve %19,85 silisyum içeriğine sahip alüminyum alaşımlarının mikroyapıları görülmektedir.



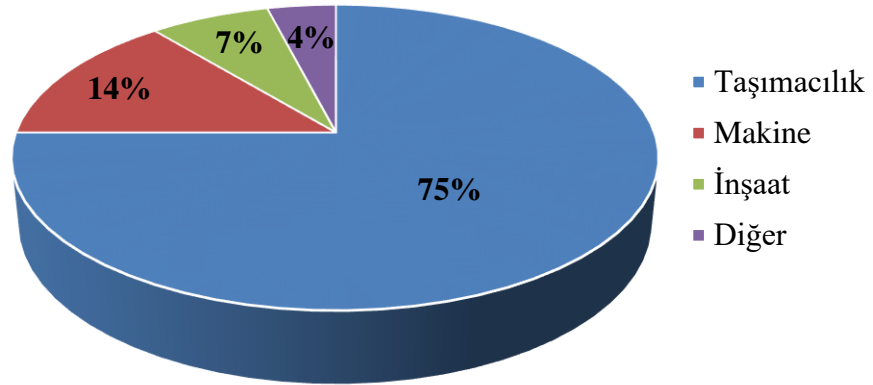
Şekil 1.1. Farklı silisyum içeriğine sahip alüminyum alaşımlarının mikroyapısı; (a) %12,29 silisyum içeriğine sahip alüminyum alaşımı, (b) %19,85 silisyum içeriğine sahip alüminyum alaşımı (Lasa ve Rodriguez-Ibabe, 2003).

Alüminyum-silisyum alaşımları, özellikle Cu ve Mg gibi elementlerle birlikte alaşımlandırıldığında yaşlandırılabilirlik özelliği kazanmaktadır. Ayrıca tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile hem mukavemet özellikleri hem de işlenebilirliği olumlu yönde artış göstermektedir. Mekanik özellikler alaşımın yapısında bulunan silisyum çerikli fazın şekli ve dağılımına göre değişkenlik göstermektedir. Küçük ve yuvarlak primer faz (ötektik yapı) yüksek mukavemet ve süneklik verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini artırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür (Şirin, 2010).

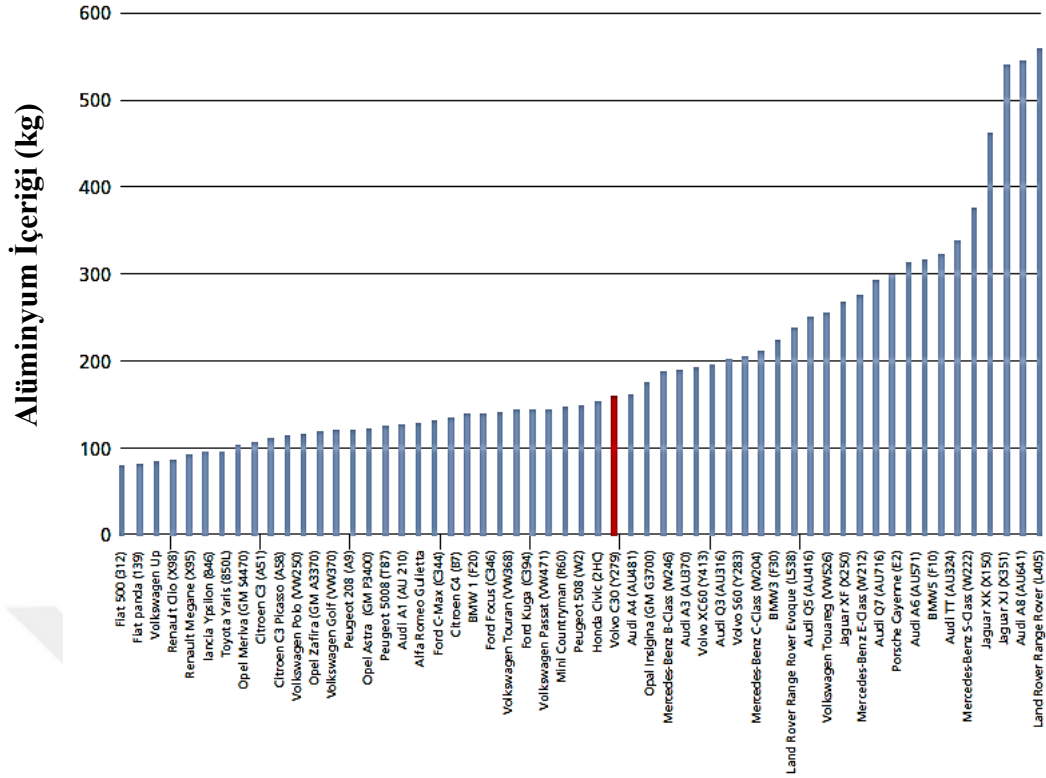


Şekil 1.2. Al-Si denge diyagramı (J.R. Davis, 1993)

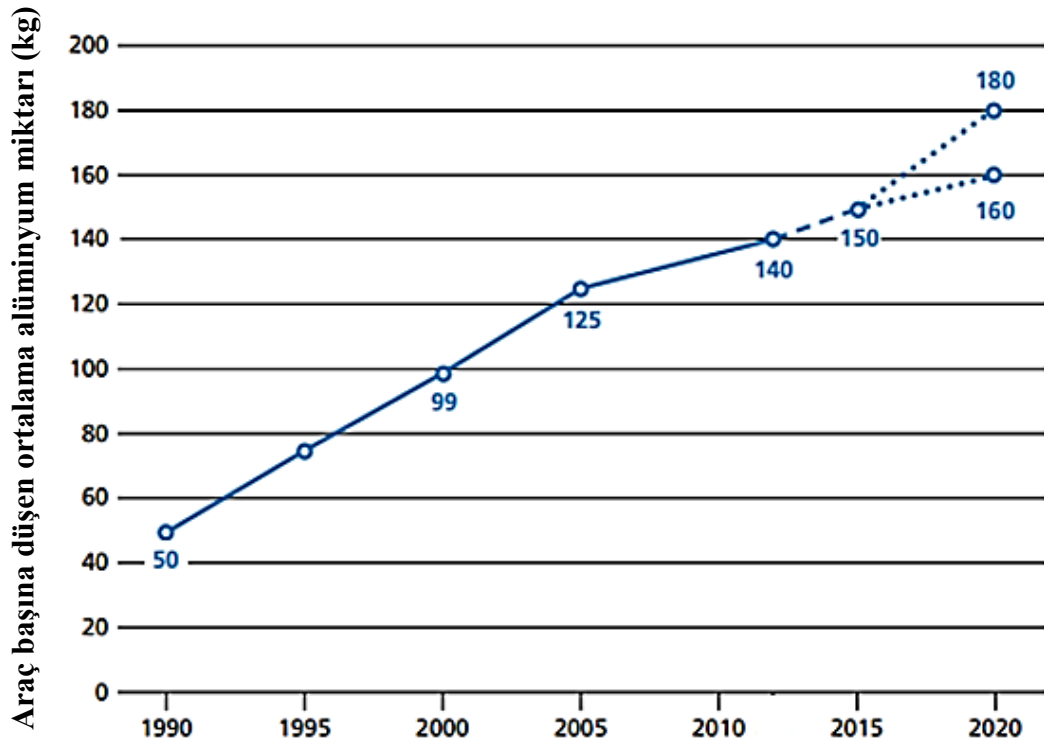
Şekil 1.2’de Alüminyum-Silisyum denge diyagramı görülmektedir. Özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan alüminyum döküm alaşımları gün geçtikçe araçlardaki kullanım miktarları artış göstermektedir. Alüminyum döküm ürünlerin sektörel bazlı kullanımı Şekil 1.3’de gösterilmiştir. Burada da görüleceği üzere en fazla kullanım alanı taşımacılık sektöründe olup son yıllarda artan hafifleştirme çalışmaları büyük katkı sağlamıştır. Yakıt tasarrufu ve emisyon gibi konular ele alındığında alüminyum döküm ürünlerin kullanımı artış göstermiştir. Bu doğrultuda araçtan atılan her 100 kg.’lık ağırlık yaklaşık 0,6 litre/100 km yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Aşağıdaki Şekil 1.4 ve 1.5’de Avrupa’da bazı araçların içerdiği alüminyum miktarı ve yıllara göre ortalama alüminyum kullanımı gösterilmiştir. Günümüzde ortalama 150 kg alüminyum kullanımı bulunmakla birlikte bazı üreticilerin modellerinde bu miktar 500 kg.’yi aşmaktadır. 2020 yılında ise bu miktarın 160-180 kg. arasında olması öngörülmektedir (Anonymous, 2012).



Şekil 1.3. Alüminyum döküm ürünlerin sektörel dağılımları (Özcömert, 2006)



Şekil 1.4. Avrupalı araç üreticilerinin bazı araç modellerinde kullandığı alüminyum miktarı (Anonymous, 2012).



Şekil 1.5. Avrupa’ da üretilen araçların ortalama alüminyum kullanımının yıllara göre değişimi (Anonymous, 2012).

1.1.3. Alaşım elementlerinin etkisi

Alüminyum endüstride saf halde kullanıldığı gibi alaşımlandırılarak da kullanılmaktadır. Saf halde düşük olan mekanik özellikleri, ilave edilen alaşım elementleriyle istenilen seviyelere çıkarmak mümkündür. Bu nedenle alaşımların kullanım yerlerine göre seçilmesi geçilmesi gerekir. Doğru alaşımın belirlenebilmesi için de alaşım elementlerinin alüminyum üzerindeki etkileri bilinmelidir. Endüstride yaygın olarak kullanılan alaşım elementlerinin başında Cu, Si, Mg, Mn, Zn ve Ti gibi elementler gelmektedir.

Bakır; yaygın olarak kullanılan temel alaşım elementi olup %1-10 oranına kadar katılabilmektedir. Alaşım içerisindeki bakır miktarı ile çekme dayanımı, sertlik ve akıcılık doğru orantılı olarak değişmektedir.

En yaygın alaşım elementi olarak kullanılan silisyum, tüm döküm yöntemlerinde geniş kullanıma sahiptir. Döküm parçalarında %20'ye kadar silisyum içerikli alaşımlar görmek mümkündür. Ayrıca belli oranlarda Mg ilavesiyle ısıl işlem uygulanabilen Alüminyum-Silisyum alaşımlarını oluştururlar. Bu alaşımların korozyon direnci, ısı ve elektrik iletkenlikleri yüksektir. Sıvı alüminyumun akışkanlığını arttırdığı için dökülebilirliği kolaylaştırır. Bu özelliğinden dolayı en çok karmaşık şekilli parçaların dökümünde tercih edilmektedir. Artan silisyum oranı ile oluşan iri silisyum kristallerinin formunu değiştirmek için modifikasyon işlemleri yapılabilmektedir. Alaşımın mekanik özellikleri kimyasal bileşimden çok mikroyapıya bağlı olduğu için oluşan yapılar büyük önem arz etmektedir.

Magnezyum; genellikle Al-Si alaşımına ilave edilerek kullanılır. İlave edilmesiyle cüruflaşma meydana getirir ve dökümü zorlaştırır. Yüksek sıcaklıklarda kayıplar meydana gelmektedir. Korozyon direnci yüksek olup sertlik ve mekanik özellikleri artırıcı etkisi vardır.

Mangan; alaşımın ergime noktasını yükseltici etkisi olup çekme mukavemetini artırır. Al-Mn alaşımlarına ısıl işlem uygulanamaz. Demir ile birleşerek intermetalikleri oluşturur. Oluşan bu yapılar sertliği artırır.

Çinko; alaşımın akıcılığını artırıcı etki ederek dökülebilirliği artırır. Fakat yüksek çinko oranlarında sıcak yırtılma ve iç çekintiler gibi döküm sorunları görülebilir.

Bu sorunların önüne geçebilmek için dökümün hızlı soğutulması gerekir. %0,50' yi geçen oranlarda çinko kullanımı korozyon direncini azaltır.

Titanyum; alüminyum alaşımlarında yaygın olarak kullanılan ve tane küçültücü etkisi olan elementtir. Yaklaşık olarak %0,05-0,15 arasında kullanılmakta olup genelde bor ile birlikte alaşıma ilave edilir. Çekme mukavemetini arttırıcı etkisinin yanında akışkanlığı azaltıcı etkisi bulunmaktadır.

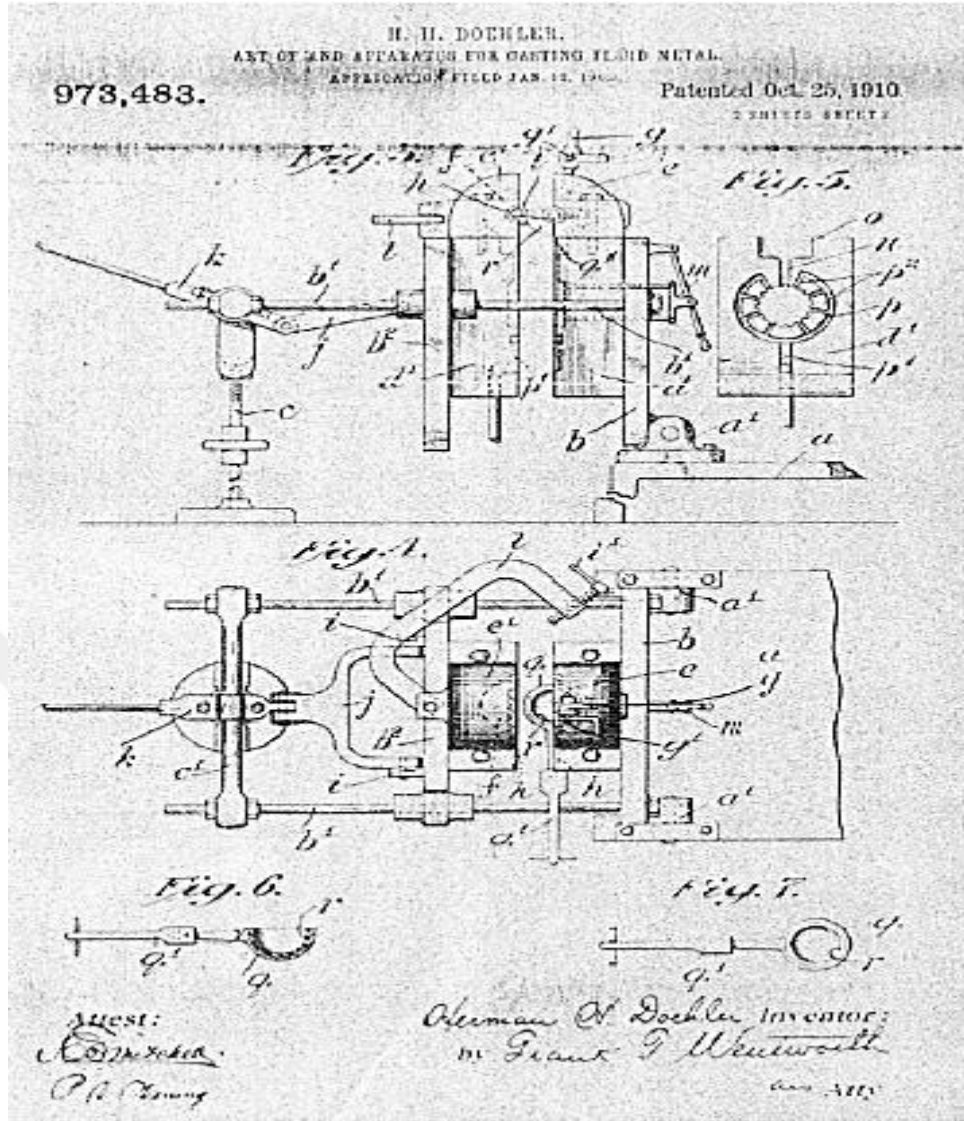
1.2. Basınçlı Döküm Yöntemleri

Klasik döküm yöntemlerinin artan gereksinimleri karşılayamaması sonucu yeni yöntemlerin ortaya çıkması zorunluluk haline gelmiştir. Günümüz artan teknoloji ve yüksek adetli üretim gereksinimleri yenilikçi döküm yöntemlerini ortaya çıkarmıştır. Sıvı metalin yüksek basınç ve hız altında metal kalıba doldurulması sonrasında kalıp içerisinde katılaşılarak işlem prosesini tamamlayan üretim yöntemi basınçlı döküm olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemle kalıp ve yolluk tasarımına bağlı olarak aynı anda birden fazla parça üretimi mümkündür. Bu avantajlarının yanında tasarlanan parçanın karmaşık geometriye sahip olması, ince cidarlı olması gibi özelliklerinden dolayı diğer geleneksel döküm yöntemi kullanılarak üretilmeyen parçaların üretiminde basınçlı döküm yöntemleri kullanılmaktadır

Basınçlı döküm ile demir dışı metal ve alaşımların dökümü yapılabilmektedir. Kokil döküm ile basınçlı döküm arasındaki temel fark; sıvı metalin yerçekimi kuvveti etkisiyle değil hidrolik pistonun sıvı metale basınç uygulayarak parçaların seri olarak üretilmesidir (Şirin, 2010).

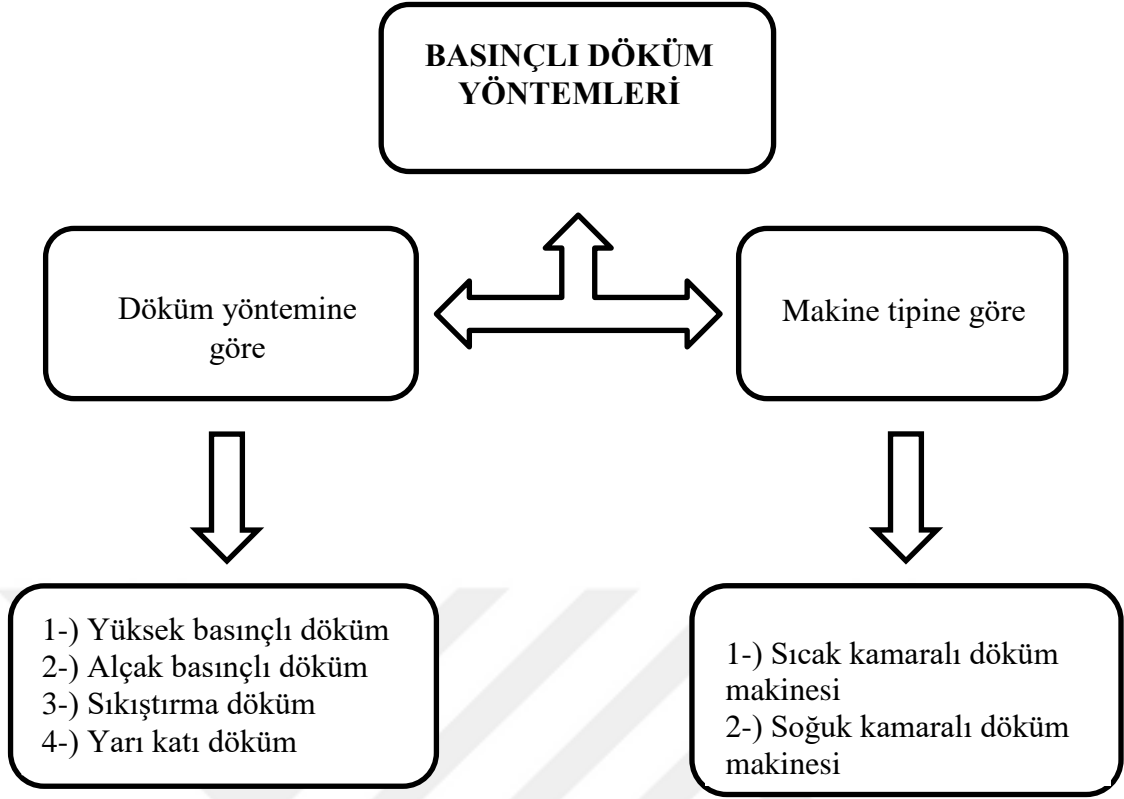
Basınçlı döküm yöntemi ilk defa 1849'da Sturges, 1852'de Barr, 1856'da Pelize, 1877'de Dusenbury tarafından denenerek patent hakları bu kişiler tarafından alınmıştır. Endüstriyel uygulamaları 20. Yüzyılın başlarında çeşitli otomotiv ve makine parçalarının üretimiyle başlamıştır. Birinci dünya savaşında makineli tüfek, dürbün, gaz maskesi vb. ürünlerin üretiminde basınçlı döküm yöntemi kullanılmıştır (Serçe, 2015).

Yüksek hacimde metal ürünlerin üretimini yapabilmek için H.H. Doehler tarafından basınçlı döküm makinesinin 973,483 patent numarası ile 1910 yılında patenti alınmıştır. İlk zamanlarda yalnızca çinko alaşımları için kullanılan sistemin resmi Şekil 1.6'da verilmiştir (Vinarcik, 2002).



Şekil 1.6. H.H. Doehler tarafından günümüzde kullanılan basınçlı döküm makinasının 1910 yılında alınan patenti (Vinarcik, 2002)

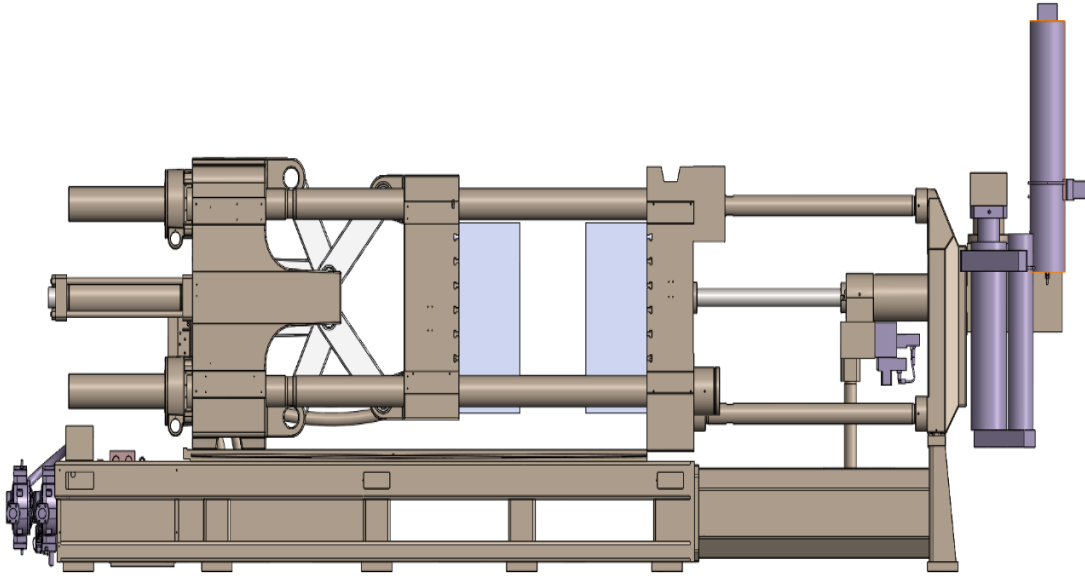
Artan teknoloji ve yeniliklerle birlikte basınçlı döküm yöntemleri de çeşitlenmiştir. Basınçlı döküm yöntemleri makine tipine ve döküm yöntemine göre Şekil 1.7'de gruplandırılarak gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Basınçlı döküm yöntemlerinin gruplandırılması

1.2.1. Yüksek basınçlı döküm (High Pressure Die Casting)

Yüksek basınçlı döküm yöntemi; ergitilmiş metalin enjeksiyon makinası haznesine doldurulup piston hareketi ile yüksek basınç altında kalıp boşluğuna metalin doldurularak gerçekleştirilen döküm yöntemidir. Bu yöntem ile genellikle alüminyum, magnezyum, bakır ve çinko (zamak) gibi alaşımlar kullanılmaktadır. Kullanılan kalıp malzemeleri sıcak iş çelikleri olup ayrıca basınçlı döküm makinaları da çelikten oluşan konstrüksiyon ve makine elemanlarına sahip olması sebebiyle bu yöntem 1000°C' ye kadar olan alaşımların dökümünde kullanılabilir. Özellikle alüminyum, magnezyum ve bakır gibi erime sıcaklığı 650°C-1085°C arasında olan alaşımlar için soğuk kamaralı döküm makinaları kullanılmaktadır. Şekil 1.8'de soğuk kamaralı enjeksiyon makinasının şematik resmi verilmiştir.

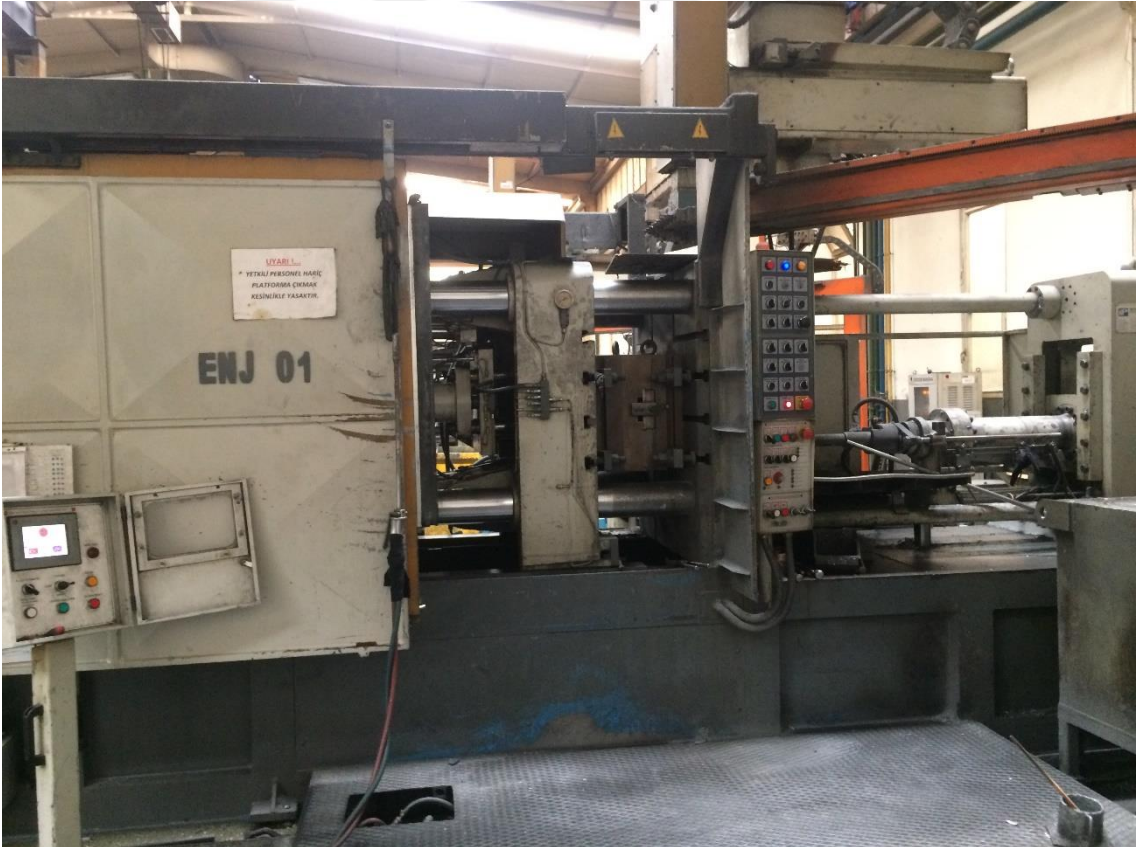


Şekil 1.8. Soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm makinesi

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile farklı ağırlıktaki parçalardan farklı kesit kalınlığındaki parçalara kadar değişik ürünler dökülebilmektedir. Günümüzde özellikle otomotiv, havacılık ve enerji sektörü başta olmak üzere birçok ürünün dökümünde yüksek basınçlı döküm makinaları kullanılmaktadır. Artan teknoloji ve ihtiyaçlar neticesinde 50 tondan 3500 tona kadar kitleme gücüne sahip enjeksiyon tezgahları üretilmektedir. Makinaların kitleme gücü arttıkça daha büyük parçaların dökülebilmesine imkân sağlamaktadır. İki adet dikey olarak bağlanan kalıplardan biri hareketli diğeri sabittir. Hidrolik olarak hareket ettirilen piston vasıtasıyla kovana doldurulan ergitilmiş metal kalıba doldurulur. Genel olarak 3 faz kullanılmaktadır. İlk iki faz sıkıştırma 3. faz ise ütüleme (besleme) basıncıdır. Katılma tamamlandıktan sonra kalıbın hareketli tarafı açılır ve itici pimler vasıtasıyla parça kalıptan çıkarılmış olur. Daha sonra kalıp yağlama ve üfleme işlemiyle tekrar döküm için hazırlanmış olur. Bu şekilde kalıp hazırlığından döküm işleminin tamamlanmasına kadar geçen süreye çevrim adı verilir. Parçanın kesit kalınlığına, projeksiyon alanına, ağırlığına göre çevrim süresi değişmektedir. Şekil 1.9 ve 1.10'da soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm makinesinin farklı açılardan resimleri verilmiştir.



Şekil 1.9. Soğuk kamaralı robot otomasyonlu yüksek basınçlı döküm makinesi



Şekil 1.10. Enjeksiyon döküm presin kalıp ve kovan bağlantısı

Yüksek basınçlı döküm makinalarına girilen faz değerleri yüksek önem arz etmektedir. Döküm sonrası oluşacak hatalar fazlardaki basınç değerleri ile doğrudan ilişkilidir. Birincil faz; yüksek hıza sahip değildir. Burada kovan doluluk oranı, hız, fazın hangi noktada başlayacağı ve biteceği gibi parametreler önemlidir. Haznenin maksimum %70 doluluk oranında olması, doğru silindir çapının seçilmesi önemlidir (Kalkan, 2016).

$$\text{Dolum \%} = m_{\text{parça}} (\text{kg}) \times 100 / d (\text{kg/m}^3) \times V_{\text{döküm}} (\text{m}^3) \quad (1.1)$$

İkincil faz ise basınçlı dökümün en önemli sayısal değerini oluşturmaktadır. İkincil faz parametrelerine göre parçanın döküm karakteristiği ortaya çıkmaktadır. İkincil faz ile beraber piston çapı, maden sıcaklığı, akış hızı, ikinci fazın başlangıç pozisyonu, kalıp tasarımı, yolluk giriş kesiti vb. birçok parametre döküm kalitesini etkilemektedir (Kalkan, 2016).

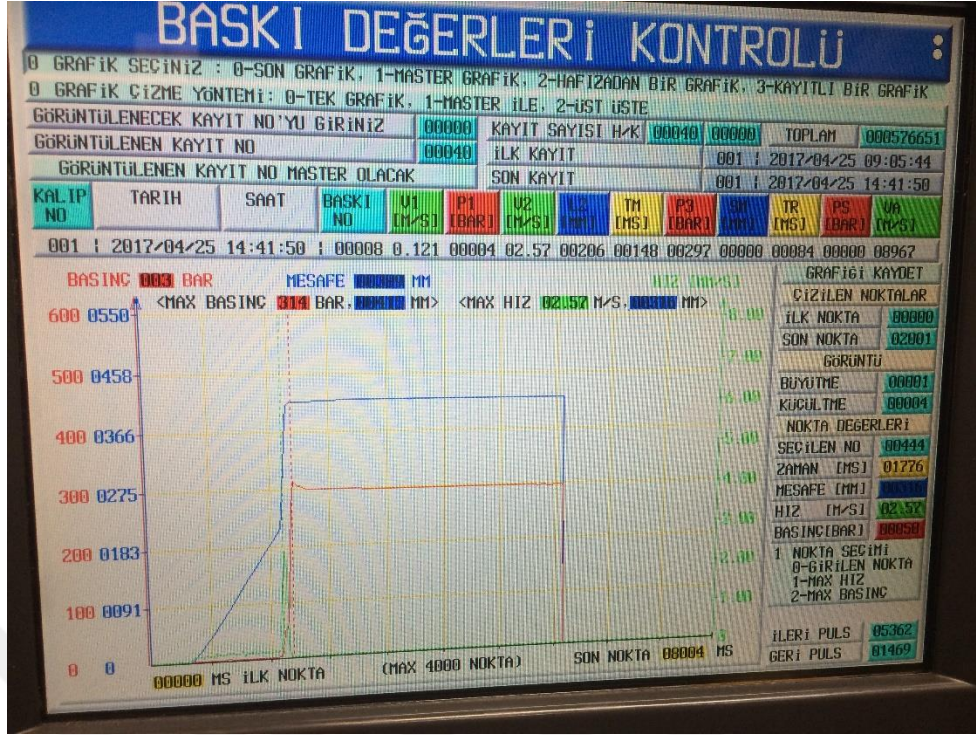
Sıvı metalin giriş hızı şu şekildedir;

$$V_{\text{metal}} (\text{m/sn}) = A_{\text{piston}} (\text{m}^2) \times V_{\text{piston}} (\text{m/sn}) / A_{\text{yolluk kesiti}} (\text{m}^2) \quad (1.2)$$

Metalin kalıba giriş hızı büyük önem taşımaktadır. 60 m/sn üzerindeki giriş hızları kalıp erozyonlarını meydana getirirken 30 m/sn altındaki hızlarda ise dolun hataları ve soğuk birleşmeler ortaya çıkmaktadır.

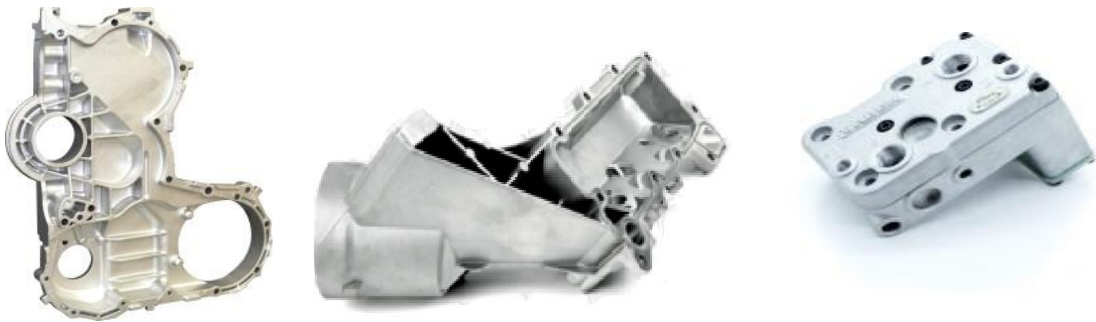
Üçüncü faz ise yüksek basınçlı dökümde besleme (ütüleme) fazı olarak da bilinmektedir. Yüksek basınçlı dökümde diğer klasik döküm sistemlerindeki gibi besleyiciler kullanılmamaktadır. Bu görevi parça ile yolluk arasında sıvı bağlantısı kopmadığı sürece üçüncü faz gerçekleştirmiş olacaktır.

Şekil 1.11'de 400 tonluk kitleme gücüne sahip yüksek basınçlı döküm tezgâhının baskı parametreleri verilmiştir. Grafikte basınç, mesafe ve hız değerleri görülmektedir. Bu kapasitedeki bir tezgâh yaklaşık 1,5 kg ağırlığına sahip bir parçayı 80 adet/saat döküm yapabilir.



Şekil 1.11. Yüksek basınçlı döküm tezgahına ait baskı parametreleri

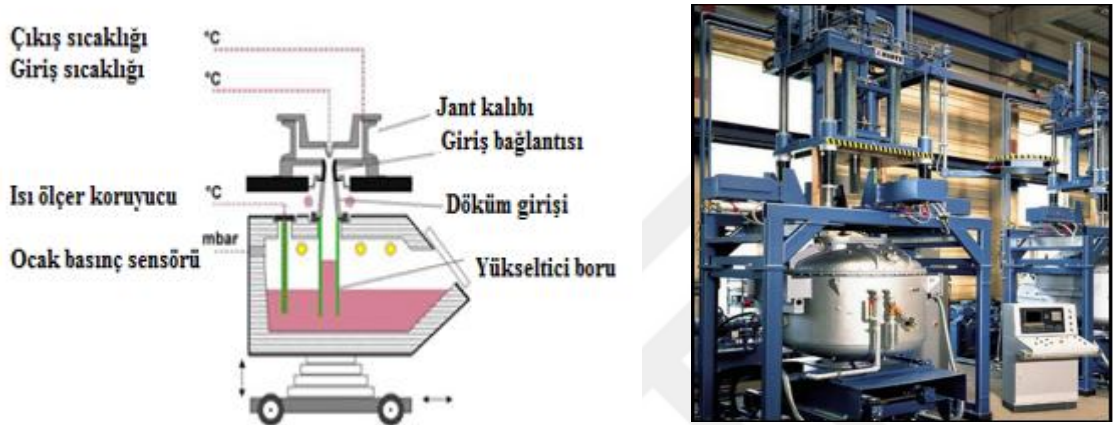
Yüksek basınçlı döküm yöntemi üstün seri üretim hızından dolayı diğer döküm yöntemlerine göre avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte üretilen parçaların yüksek adetli olması durumunda ekonomikliği artacaktır. Aksi halde tezgâh yatırımı ve kalıp gibi yüksek maliyetleri içermektedir. Aşağıda Şekil 1.12’de yüksek basınçlı döküm yöntemiyle elde edilen ürünlerden bazıları gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Yüksek basınçlı döküm yöntemiyle üretilmiş alüminyum alaşımli ürünler

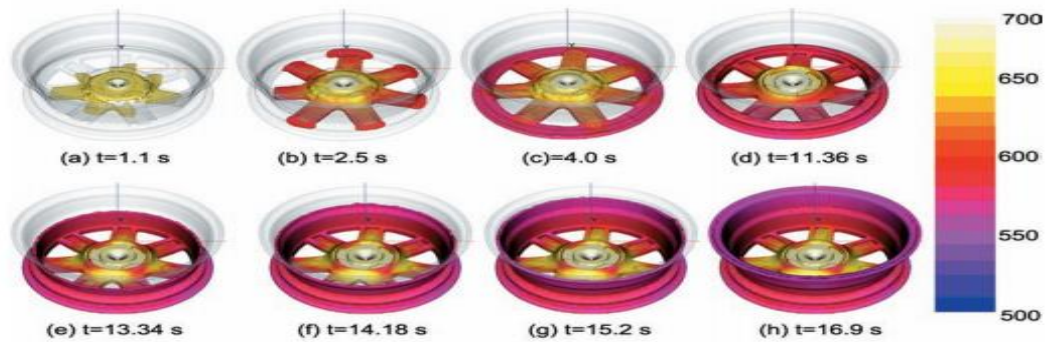
1.2.2. Alçak Basınçlı Döküm (Low Pressure Die Casting)

Alçak basınçlı döküm yöntemi binek araçların jantlarının üretimi için oldukça yaygın bir yöntemdir. Bu yöntem ile büyük V motorlar, hava soğutmalı silindir kafaları, motor ve şanzıman parçaları gibi birçok parçanın üretimi mümkündür. Kullanılan döküm basıncı 0,4 bar seviyelerinde olup kalıp dolumu, döküm ocağındaki basıncın ayarlanması ile kontrol edilir. Aşağıda Şekil 1.13’de alçak basınçlı döküm makinesinin şematik ve gerçek resimleri verilmiştir.



Şekil 1.13. Alçak basınçlı döküm makinesinin şematik ve gerçek resmi (Anonymous, 2002)

Alçak basınçlı döküm yönteminde, atmosfer basıncının üzerinde asal gaz ocağı gönderilerek ergimiş metal üzerinde basınç uygulayarak sıvı madenin kalıba doğru yükselmesini sağlar. Farklı geometrilere sahip parçaların dökümünde kullanılan bu yöntemde yüksek basınçlı döküme göre çevrim süreleri daha uzundur. Şekil 1.14’de alüminyum alaşımli jantın alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretimi gösterilmiştir.



Şekil 1.14. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen jantın süre-sıcaklık değişimi (Guofa ve ark., 2009)

1.2.3. Sıkıştırma Döküm (Squeeze Casting)

Başlangıçta dövme benzeyen bu yöntemde döküm ve dövme prosesinin birleşimi de diyebiliriz. Önceden ısıtılmış kalıba dökülen ergitilmiş maden üst kalıbın kapanmasıyla içerideki sıvının sıkıştırılarak katılaşmasını sağlamaktadır. Yüksek basınçlı dökümden farkı ise sıvı metalin doğrudan kalıba dökülüp daha sonra sıkıştırılmasıdır. Bunun neticesinde türbülans engellenmiş olur. Yüksek basınçlı dökümde 30-60 m/sn olan akış hızı bu yöntemde yaklaşık 0,5 m/sn' dir. Katılma ince kesitli alandan topuk bölgesine doğru olmalıdır. Diğer bir ifadeyle, yolluk girişleri döküm parçasını beslemelidir. Yüksek soğutma oranları ve uygulanan basınç nedeniyle yüksek mukavemetli parçaların elde edilmesi mümkün olup süspansiyon parçalarının dökümü için uygundur. Bu yöntemin çok yaygın kullanılmamasının 2 sebebi vardır. Bunlardan biri; döküm parçanın kalınlığı kalıba dökülen eriyik miktarına bağlıdır. İkincisi ise; farklı kalınlıklarda katılan parçalarda oluşan çekinti problemleridir. Döküm sıcaklıkları parçanın geometrisine bağlı olup genellikle sıvı fazın 6-55°C üzerindedir. Kalıp sıcaklıkları ise 190-315°C arasında değişmekte olup uygulanan basınç değerleri 50-150 MPa arasındadır. Alüminyum, magnezyum ve bakır gibi alaşımların dökümünde kalıp yağlayıcısı olarak grafit sprej yağlayıcılar kullanılmaktadır. Bu yöntemin diğer döküm yöntemlerine göre bazı avantajları bulunmaktadır. Bunlar şu şekildedir;

Talaşlı imalat gereksinimi çok az

Minimum düzeyde porozite

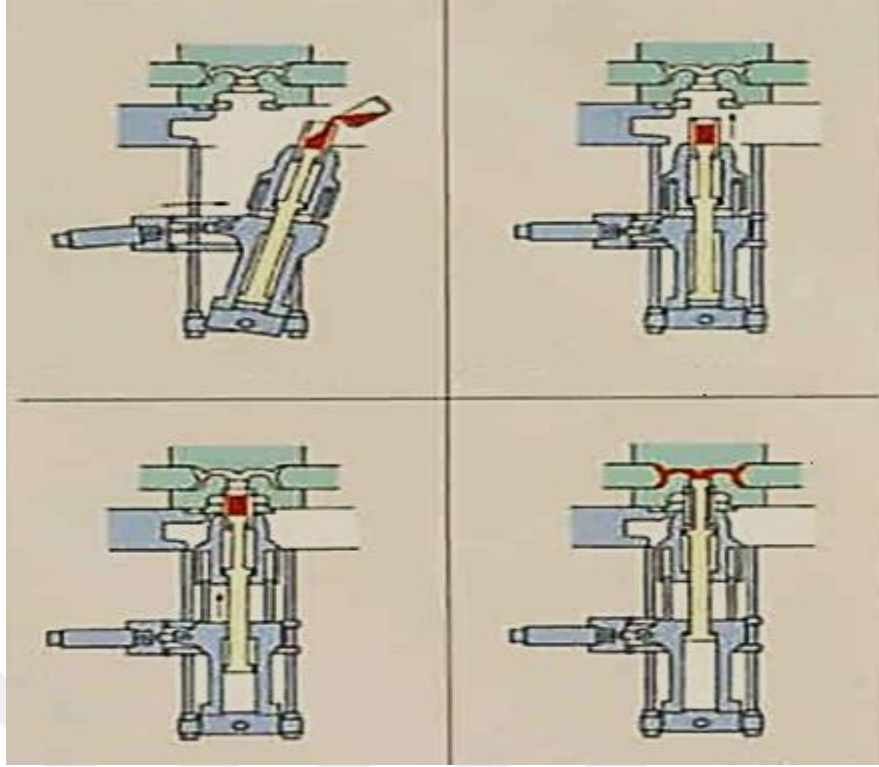
Geniş ürün çeşitliliği

İyi yüzey kalitesi

İnce mikroyapı sayesinde yüksek mekanik özellikler

Atık metal olmamasından dolayı %100 verim

Endüstride farklı tipte sıkıştırma döküm sistemleri olmakla birlikte, Şekil 1.15'de devirmeli model sıkıştırma döküm makinesinin resmi görülmektedir.

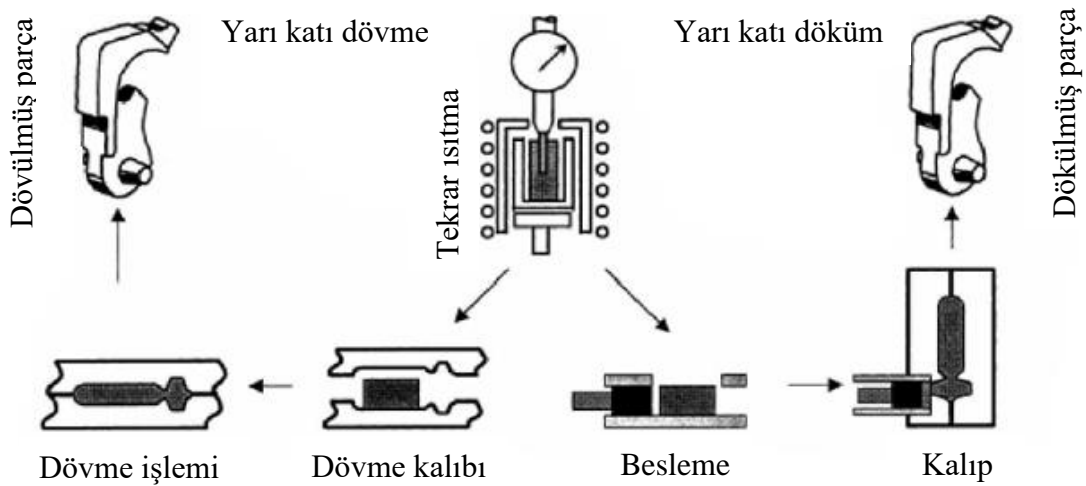


Şekil 1.15. Devirmeli tip sıkıştırma döküm makinesi (Anonymous, 2002)

1.2.4. Yarı Katı Döküm (Thixocasting)

İlk olarak 1970'li yıllarda MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilen bir döküm yöntemidir. Yaklaşık %40-60 oranında katı faza sahip dentritik olmayan karışımın dökülmesiyle ortaya çıkan bu yöntem beraberinde farklı tekniklerin artmasını sağlamıştır. Bununla beraber son on yılda yarı katı döküm teknolojisi hızlı gelişme göstermiştir. Dentritik yapının kırılarak oluşan küresel yapıya sahip yarı katı malzeme yüksek akışkanlığa sahip olup iyi bir dolum gerçekleştirmektedir (Kırtay, 1997).

Yarı katı döküm genel olarak 3 adımdan oluşur. Küresel mikroyapıya sahip alaşım üretimi, yarı katı sıcaklığına ısıtma ve yüksek basınçla parçanın kalıp boşluğuna iletilmesidir. Yarı katı döküm ve yarı katı dövme prosesinin şematik görünümü Şekil 1.16'da verilmiştir (Bozkurt, 2003).



Şekil 1.16. Yarı katı dövme ve döküm yönteminin şematik gösterimi (Bozkurt, 2003)

Endüstriyel uygulamalar içinde özellikle otomotiv sanayisinde yüksek adetli ürünler için başarıyla uygulanmaktadır. Al-Si(A356 ve A357) alaşımları mükemmel dökülebilir ve işlenebilir özelliklerinden dolayı kullanılırken aynı zamanda yarı katı dökümü sınırlandırmıştır. Bu sınırlandırmanın üstesinden gelebilmek için pek çok çalışmalar yapılmış ve alaşımlar geliştirilmiştir (Lee ve Oh, 2002).

Laminer dolum sayesinde düşük gaz porozitesi

Farklı kesit kalınlığındaki parçaların tasarımı

Çok ince kesitli parçaların üretimi

Döküm sıcaklığının düşük olmasından dolayı artan kalıp ömrü

T0-T7 arasındaki ısı işlemlerinin uygulanabilir olması

Yüksek katı fraksiyonuna bağlı olarak düşük katılaşma çekintisi

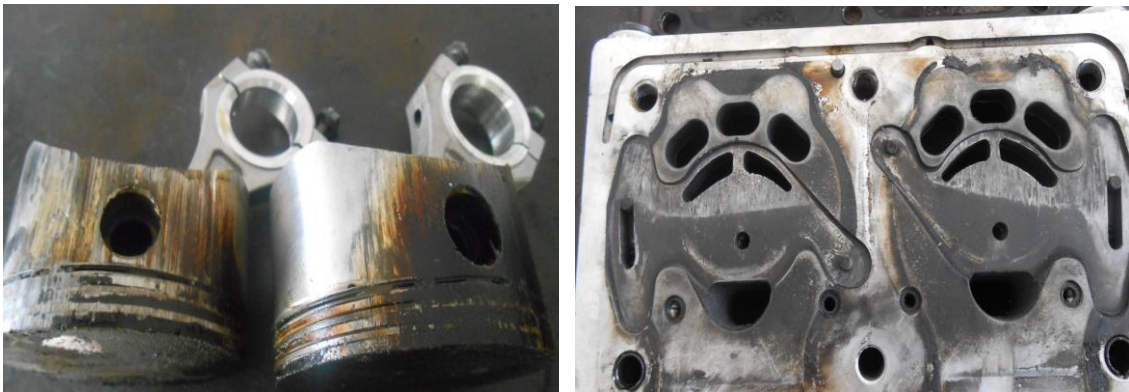
Sıcak yırtılma riskinin azaltılması

Normal dökümden daha az enerji ihtiyacı

Parça içerisinde minimum düzeyde hava sıkışması

1.3. Aşınma ve Aşınma Türleri

Günümüzde üretilen pek çok makine elemanı üstün özelliklere sahip olmalarına rağmen servis şartlarında ömrünü erkenden tamamlamaktadır. Hasar mekanizmaları incelendiğinde genel olarak oluşan hasarların kök nedenleri birkaç sebep altında toplanabilir. Bunlar; yanlış malzeme seçimi ve tasarım, kırılma, yanlış üretim prosesi ve aşınma olarak sıralanabilir. Aşınma problemi neticesiyle birçok makine elemanında yüksek bakım maliyetleriyle karşılaşmaktayız. Mühendislerin ürün tasarımı yaparken aşınma sorunlarına karşı malzeme bilgisi, mikroyapısı ve ısı işlemler gibi konulara hâkim olması ve bunların aşınmaya etkilerini bilmeleri gerekmektedir. Bir aşınma mekanizmasında aşınan, aşındıran, kuvvet ve hareket ana unsurlardır. Aşınma; temas eden yüzeylerin mekanik etkenlerle kütle ya da hacim değişikliği olarak tanımlanabilir. Mühendislik malzemelerinde ortaya çıkan aşınma sorunları bir bütün olarak triboloji adı altında incelenmektedir. Triboloji; sürtünme, yağlama ve aşınma davranışlarını bir bütün halinde değerlendirmektedir. Aşınma hasarları genellikle hareket aktarma elemanları, dişliler, motor parçaları (piston, silindir) ve yatak elemanlarında sıklıkla görülmektedir. Aşınma sorunları günümüzde triboloji başlığı altında ele alınmaktadır. Şekil 1.17'de havalı fren kompresörüne ait piston ve silindir kapağında meydana gelen aşınmalar gösterilmiştir.



Şekil 1.17. Havalı fren kompresöründe kullanılan piston ve silindir kapağında servis şartlarında oluşan aşınmalar gösterilmektedir

Malzemelerde oluşan aşınma problemleri beraberinde farklı sınıflandırmaları oluşturmuştur. Bunlardan en yaygın olanları şu şekildedir;

Adhesiv Aşınma

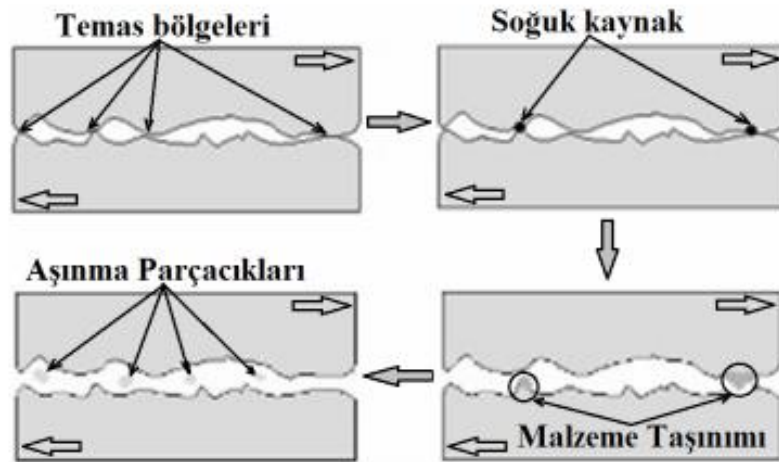
Abrasif Aşınma

Yorulma Aşınması

Erozyon Aşınma

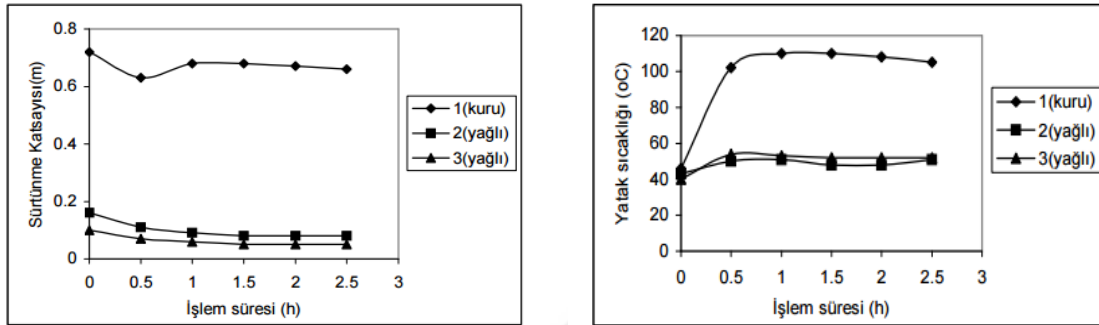
1.3.1. Adhesiv Aşınma (Yapışma Aşınması)

Birbiri üzerinde kayma hareketi yapan cisimlerden parçacıkların kopup diğerine yapışması ve hareketin devamında yüzeye yapışması ya da ayrılmasıyla meydana gelmektedir. Genellikle kayma aşınması olarak da bilinen bu aşınma türü yağlamanın olmadığı ya da sınırlı olduğu kayma hareketlerinde meydana gelmektedir. Metal yüzeyleri üretim süreçlerinde her ne kadar hassas işlemeye sahip olsa bile yüzey pürüzlülükleri sıfır olmayacaktır. İşlenen parça yüzeyleri hareket durumunda birbirleriyle temas halindedirler. Yük altında bu parçalar yüksek gerilmelere maruz kalarak akma sınırını aşmaları durumunda plastik deformasyona uğrayarak soğuk kaynak bağları oluşturmaktadır. Sürtünme neticesinde artan sıcaklık kaynak bağlarını kopararak aşınma parçacıklarının oluşumunu hızlandırır. Böyle bir aşınma sorununun önlenmesinde öncelikle malzeme seçimleri iyi yapılmalıdır. Aşınma mekanizmasını önlemek için yağ filmi oluşturarak sürtünmeyi azaltmak ve farklı termo-kimyasal kaplama çeşitleri kullanılabilir. Şekil 1.18’de adhesiv aşınma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Adhesiv aşınma mekanizmasının şematik gösterimi (Varol, 2013)

Adhesiv aşınmaların engellenmesinde farklı çözümler mevcut olup en başarılı sonuçlar yağlama ile ortaya çıkmaktadır. Hareket eden parçaların yüzeyinde yağ filmi oluşturarak sürtünme azalır ve buna bağlı olarak açığa çıkan ısı azaltılarak küçük kaynak bağları engellenir. Aşağıda Şekil 1.19’da yataklama malzemelerinin kuru ve yağlı ortam koşullarında sürtünme katsayısı ve yatak sıcaklık değişimleri gösterilmiştir.

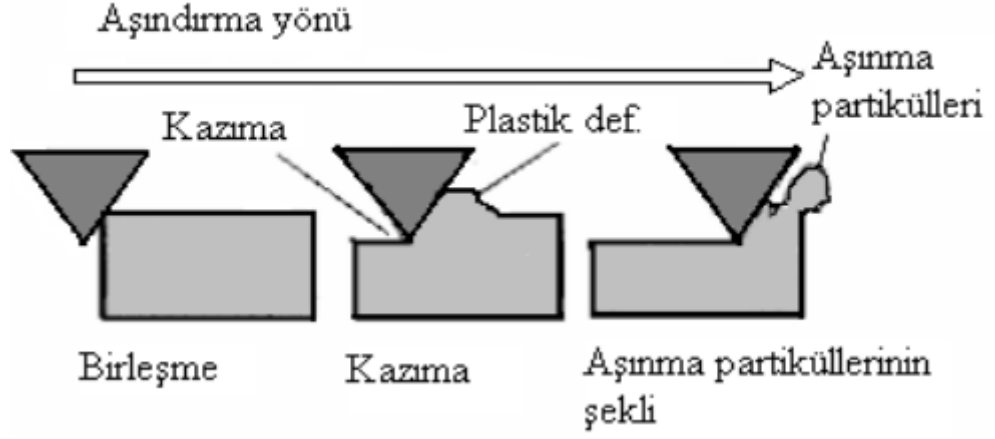


Şekil 1.19. Yatak malzemesinin kuru ve yağlı test koşullarında değişen sürtünme katsayısı ve yatak sıcaklığı (Ünlü ve ark., 2003)

Bununla birlikte işlenmiş parçaların yüzey pürüzlülük değerleri çok önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü yüksek olan parçalar daha fazla çıkıntı yüzeyi oluşturarak adhesiv aşınmayı arttırmaktadır. Bunun için yıllardır araçlarda rodaj süresi belirtilmekteydi. Ancak son gelişmelerle birlikte motor gömleklerine yapılan honlama teknolojisi de değişiklik göstererek plato honlama kullanılmaya başlamıştır. Böylece yüzeyde çıkıntıların oluşması engellenerek vadi şeklinde yağlama kanalları oluşturulmaktadır. Bunun neticesinde rodaj süresi kaldırılmış olup yeni araç alan kullanıcıların araçlarını ilk günden istedikleri performansta kullanabilmesine olanak sağlamıştır.

1.3.2. Abrasif Aşınma

Günlük uygulamalarda daha çok karşılaşılan bir aşınma türüdür. Üretim proseslerinden kesme, taşlama, öğütme ve talaşlı imalat işlemleri örnek olarak gösterilebilir. Abrasif aşınma mekanizmasındaki temel nokta katı-katı parçalardan birinin diğerine üstünlük kurmasıdır. Bu sebeple abrasif aşınmayı azaltmak için malzeme sertlikleri optimum seviyelerde seçilmelidir. Abrasif aşınmaların önüne geçebilmek için pek çok yüzey sertleştirme işlemleri mevcuttur. Şekil 1.20’de kesici takım ile yapılan talaşlı imalat prosesinde oluşan abrasif aşınma olayı gösterilmiştir.



Şekil 1.20. Kesici takım tarafından parçada oluşan abrasif aşınma (Demirel, 2013)

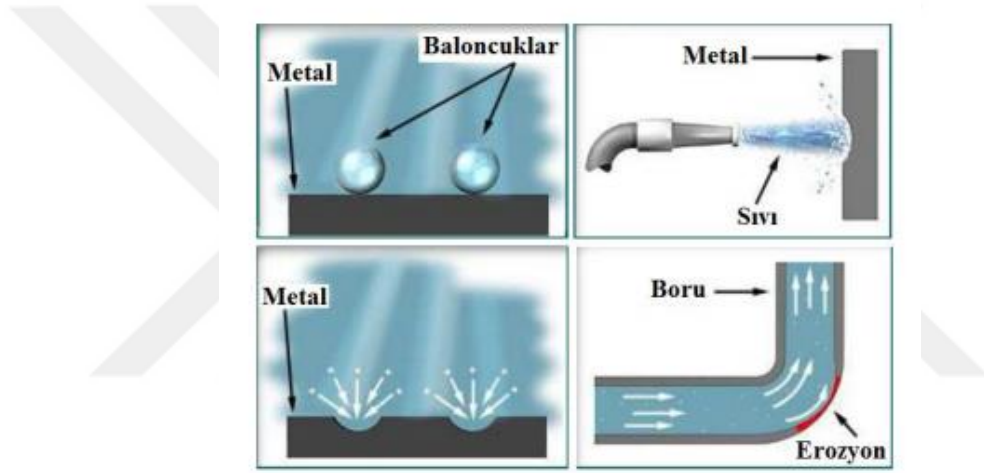
Abrasif aşınma iki elemanlı veya üç elemanlı olarak meydana gelebilir. İki elemanlı aşınma olayında birbirlerine göre izafi hareket eden iki cisimden sertliği daha yüksek olanın karşı tarafı aşındırmasıyla meydana gelmektedir. Üç elemanlı sistemlerde ise ortamda bulunan sert partiküllerin parçalardan birini veya ikisini birden aşındırmasıyla meydana gelmektedir. Bu partiküller sisteme dışarıdan katılabildiği gibi aşınma esnasında oluşan parçacıklarda olabilir. Üç elemanlı aşınma türüne havalı fren kompresörlerinde sisteme toz partiküllerinin dâhil olmasıyla gömlek ya da segmanların aşındığı durum örnek olarak gösterilebilir.

1.3.3. Yorulma Aşınması

Birbirleriyle sürekli yüksek basınç ve yük altında çalışan dişli çark, rulmanlı yatak gibi parçalarda sürekli yük tekrarlarının ardından kayma gerilmelerini oluşturur. Sürekli aynı eksende dönen bu parçalarda titreşimlerinde etkisiyle mikro çatlakları oluşturur. Maksimum kayma gerilmesine sahip bu bölgelerde dislokasyon hareketleri ile plastik deformasyon meydana gelerek yüzeyden parçacığın kopup yüzeyde küçük çukurcuklar oluşturan bir aşınma çeşididir. Pitting olarak da adlandırılan bu aşınma türü temas alanlarının çok küçük olmasından dolayı Hertz basınçları oluşturmaktadır. Yorulma aşınmalarını önlemek için yüzeysel sertleştirme işlemleri tedbir olarak uygulanabilir.

1.3.4. Erozyon Aşınma

Kısmi olarak abrasif aşınmaya benzemekle birlikte aralarındaki temel fark aşınmanın kayma hareketiyle değil gaz ya da sıvı ortamda bulunan taneciklerin tekrarlı darbe etkisiyle çarparak yüzeyi kopararak aşındırmasıdır. Sertliği düşük malzemelerde erozyon aşınması daha sık görülmektedir. En çok pervanelerde, boru dirseklerinde ve enjektörler gibi yoğun sıvı ya da gaz ortamında çalışan parçalarda görülür. Aşındırıcı parçanın şekli, hızı, sertliği ve çarpma açısı oluşan erozyon aşınmasını ve büyüklüğünü etkileyen faktörlerdir (Demirel, 2013). Aşağıda Şekil 1.21’de erozyon aşınmasına ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 1.21. Erozyon aşınmasına ait farklı tipte örnekler (Varol, 2013)

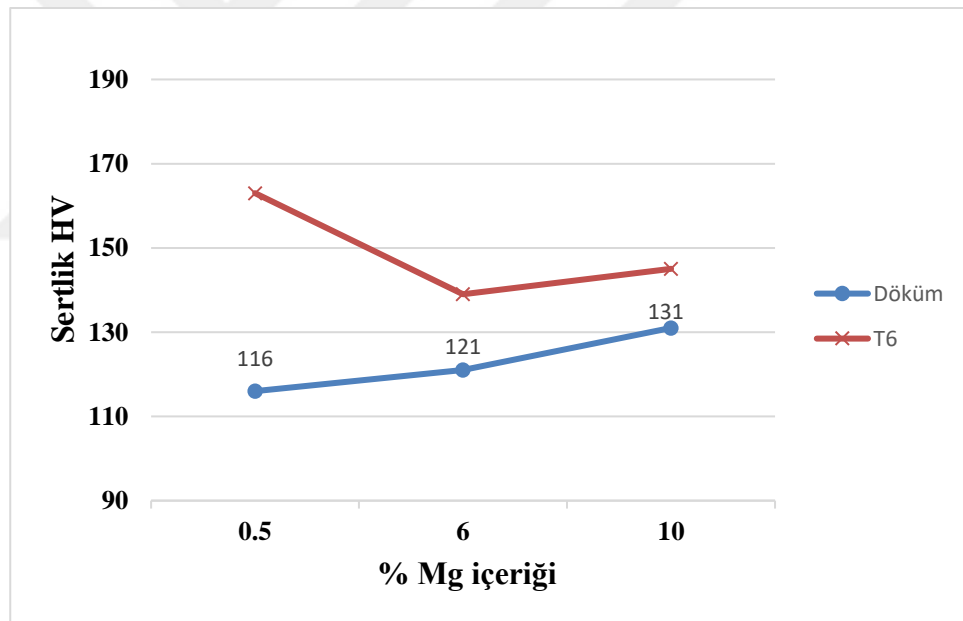
Araçlarda kullanılan su devir daim pompasında meydana gelen erozyon aşınması Şekil 1.22’de gösterilmiştir.



Şekil 1.22. Ağır vasıtalarda kullanılan su pompasında meydana gelen erozyon aşınması

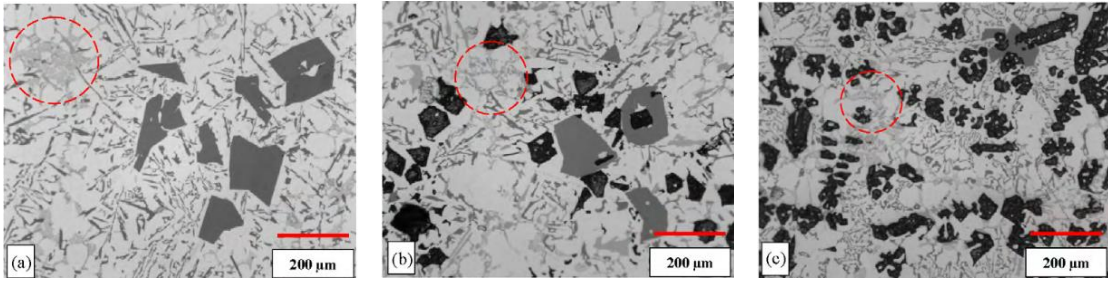
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Hekmat-Ardakan ve ark. (2010) Al-17Si-4.5Cu-0.5Mg içerikli A390 alaşımına %6 ve %9 Mg ilaveleri ile aşınma özellikleri incelenmiştir. Aşınma özellikleri dry sand rubber wheel (DSRW) aşınma aparatı kullanılarak döküm koşullarında ve T6 yapılmış numuneler üzerinde incelenmiştir. Mg oranının artması ile birincil Si ve ince Mg₂Si fazları sertlik dönüşümünü sağlamıştır. Birincil fazın katı fraksiyonu ile ince parçacık boyutu yüksek Mg içerikli alaşımlarda önemli faktör olduğu saptanmıştır. Ötektik silisyumun yapısı ve yüksek Mg aşınmaya önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir. T6 ısıt işlemleri uygulanan parçalarda ise aşınma özellikleri döküm gibi aynı kalmış olup numunelerin mikroyapı incelemesi ile intermetalik fazlar belirlenmiştir. Aşağıda Şekil 2.1’de alaşıma ilave edilen Mg ile birlikte döküm ve ısıt işlem uygulanmış numunelerin sertlikleri verilmiştir.



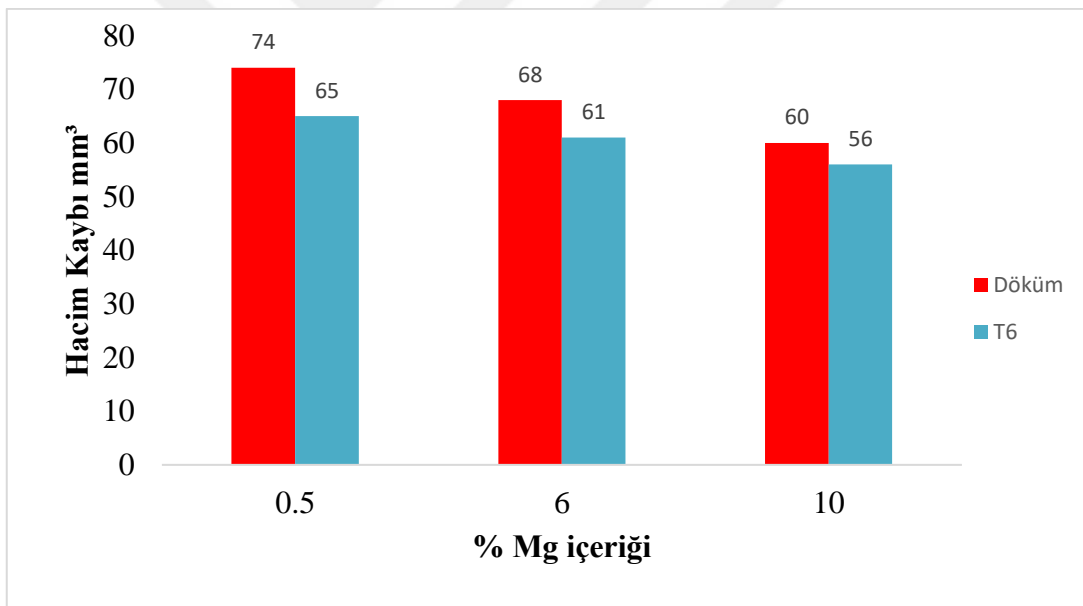
Şekil 2.1. Al-17Si-4.5Cu alaşımının değişen Mg ilavesi ile döküm ve ısıt işlem sonrası sertlik değerleri (Hekmat-Ardakan ve ark., 2010)

Yine bu çalışmada A390 alaşımına ilave edilen Mg içeriği ile mikroyapıda Mg₂Si intermetalik fazları oluşturulmuştur. Böylece kaba birincil silisyum yerine yapıda oluşan Mg₂Si fazları yüksek sertliğe, düşük yoğunluğa ve iyi işlenebilme özelliğine sahiptir. Şekil 2.2’ de %0,5, %6 ve %10 oranlarında ilave edilen Mg elementinin mikroyapıya olan etkileri gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Al17Si4,5Cu döküm alaşımının değişen Mg içeriği ile oluşan fazların mikroyapıları a) %0,5 mg, b) %6 Mg c) %10 Mg (Hekmat-Ardakan ve ark., 2010)

A390 alaşımı gibi ötektik üstü alaşıma ilave edilen Mg miktarı ile ağırlık kayıplarının kıyaslandığı bu çalışmada ayrıca T6 ısıl işleminin etkileri de gösterilmiştir. Artan Mg içeriğiyle orantılı olarak Şekil 2.3’de gösterildiği gibi hacimsel kayıplarda azalma olmuştur. Isıl işlem uygulanmış numuneler de döküm numunelere yakın aşınma davranışı sergilemiştir.



Şekil 2.3. A390 alaşımına ilave edilen Mg içeriği ile birlikte döküm ve ısıl işlemlenmiş parçaların hacim kaybı (Hekmat-Ardakan ve ark., 2010)

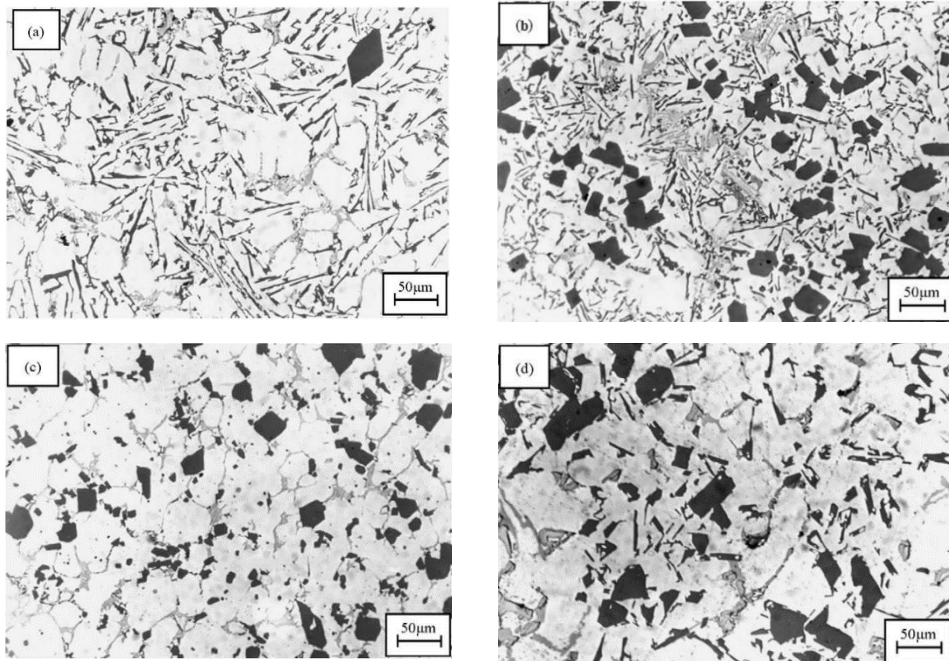
Lasa ve Rodriguez-Ibabe (2003) çeşitli kompozisyonlar ve farklı üretim yöntemleriyle elde edilmiş 9 adet ötektik ve ötektik üstü alaşım üzerinde aşınma direnci üzerine çalışmışlardır. Testler pin on disk cihazında iki farklı hız parametresi kullanılarak yapılmıştır. Düşük test hızında yapılan deneylerde aşınma oranları çok düşük ve birbirine benzer oranlardaydı. 4 tip üretim yöntemi kullanılmış olup toplamda 9 farklı reçete oluşturulmuştur. Üretim yöntemleri külçe döküm, thixio forming (yarı katı

şekillendirme), squeeze casting(sıkıştırarak şekillendirme) ve kayıp köpük yöntemleri kullanılmıştır. Si oranı %12-19.85 arasında olup %0.54-1.30 arasında Mg ve %0.66-4.71 oranında Cu içeren reçeteler oluşturulmuştur. Çizelge 2.1’de kimyasal kompozisyon ve alaşımların üretim yöntemleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Farklı üretim yöntemlerine sahip alaşımların kimyasal bileşimi (Lasa ve Rodriguez-Ibabe, 2003)

Alaşım	Üretim yöntemi	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)					
		Si	Mg	Cu	Ni	Fe	Ti
H1	Ingot metallurgy	12.85	1.30	1.37	–	0.11	0.11
H2	Ingot metallurgy	12.29	1.30	4.40	–	0.12	0.11
HS	Ingot metallurgy	15.90	1.20	4.71	0.00	0.12	0.11
Thixo1	Thixo forming	15.30	0.58	4.38	<0.42	0.21	0.16
Thixo2	Thixo forming	15.70	0.54	4.60	4.10	0.20	0.17
LF1	Lost foam	12.64	1.09	4.39	–	0.13	0.13
LF2	Lost foam	16.11	1.04	4.04	–	0.13	0.13
SQ1	Squeeze casting	16.20	1.16	0.70	–	0.13	0.11
SQ2	Squeeze casting	19.85	1.13	0.66	–	0.14	0.11

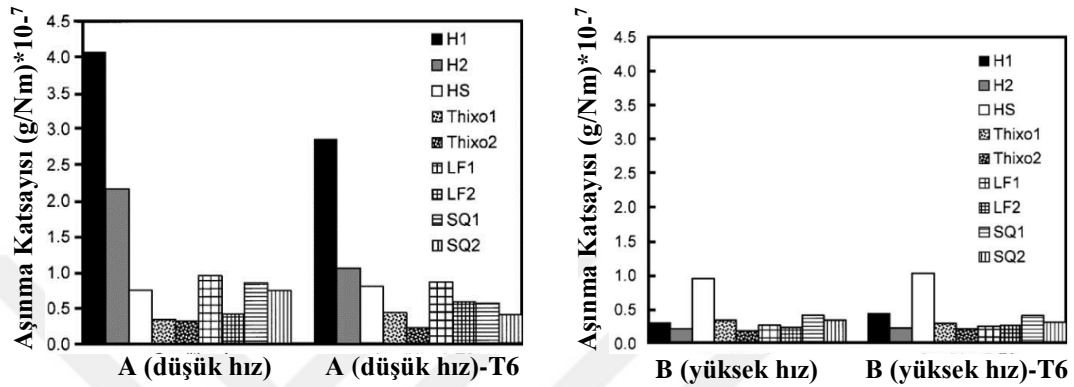
Aşınma oranı düşük olan alaşımda büyük birincil silisyumlar bulunmaktadır ve bunlar aşınma davranışları üzerinde olumlu etkileri olmuştur. Artan silisyum miktarı ile mikroyapıda oluşan birincil silisyum oranlarında artış sağlanmış olup Şekil 2.4’ de farklı üretim yöntemi ve kimyasal bileşime sahip alaşımların mikroyapıları gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Farklı üretim tekniğine sahip alaşımların mikroyapısı a) H2, b) SQ2, c) Thixo ve d) LF1 (Lasa ve Rodriguez-Ibabe, 2003)

Düşük disk hızda yapılan testlerde alaşımların aşınma özellikleri çok benzer sonuçlar vermiştir. T6 uygulaması ile sertliğin artması sonucunda aşınma dirençleri

artmıştır. En düşük ağırlık kaybı yüksek disk hızında yarı katı şekillendirilen numunede ortaya çıkmıştır. Uygulanan testler A ve B test koşulu olarak ikiye ayrılmıştır. A koşulunda 0,089 m/sn, B koşulunda ise 0,356 m/sn hızla dönen disklerde testler yapılmıştır. Şekil 2.5’de A ve B test koşullarında yapılan testlere ait aşınma katsayıları verilmiştir. Test sonuçlarında en iyi aşınma performansı yarı katı şekillendirilmiş numunelerde ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.5. Farklı test koşullarında numunelerin aşınma katsayıları (Lasa ve Rodriguez-Ibabe, 2003)

H. Yamagataa ve ark. (2008) yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilen tek silindir bloğuna ait çalışmalar yapılmıştır. Ötektik üstü Al-% 20 Si alaşımının ortalama soğutma oranlarının etkisi alaşımı Evrensel Metalurji Simülatörü ve Analiz Platformu kullanılarak araştırılmıştır. Birincil Silisyum boyutu ve ikincil dentrit kolları farklı soğutma oranları kullanılarak laboratuvar numunelerinde test edilerek numunelere ait mikroyapı kontrolleri ve soğutma hızının tane büyüklüklerine olan etkisi incelenmiştir. Yüksek basınçlı döküm yöntemiyle üretilen silindir kapaklarını ele alan bu çalışmada farklı soğutma oranlarında katılaştıran numunelerin mikroyapıları incelenmiştir. 4,9°C/sn ile 82,9°C/sn arasında değişen numunelerde artan soğutma oranıyla birlikte ikincil dentrit kolları arası mesafe azalmış ve aynı zamanda birincil silislerin boyu küçülmüştür.

Birol ve Birol (2008) yüksek basınçlı döküm ve yarı katı döküm yöntemiyle üretilen Al-Si biyel kolu parçaların aşınma davranışı incelenmiştir. Ötektik altı ve ötektik üstü alaşımlar oluşturularak yüksek basınçlı ve yarı katı olarak şekillendirilmiştir. Elde edilen alaşımlar ve üretim yöntemleri Çizelge 2.2’ de gösterildiği gibidir.

Çizelge 2.2. Yüksek basınçlı döküm ve yarı katı şekillendirilmiş numunelere ait kimyasal bileşim (Biol ve Biol, 2008)

Alaşım	Üretim yöntemi	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
1	HPDC(Yüksek Basınçlı Döküm)	12.10	1.096	2.167	0.258	0.091	0.026	0.097	0.894
2		18.21	0.708	1.988	0.077	0.456	0.011	0.509	0.437
3		20.27	0.351	3.535	0.041	0.692	0.011	0.069	0.149
4	TF(Yarı Katı Şekillendirme)	5.86	0.143	0.006	0.006	0.172	0.001	0.003	0.006
5		8.27	1.037	2.804	0.177	0.126	0.021	0.048	0.950
6		14.65	0.307	3.632	0.010	0.454	0.003	0.051	0.090

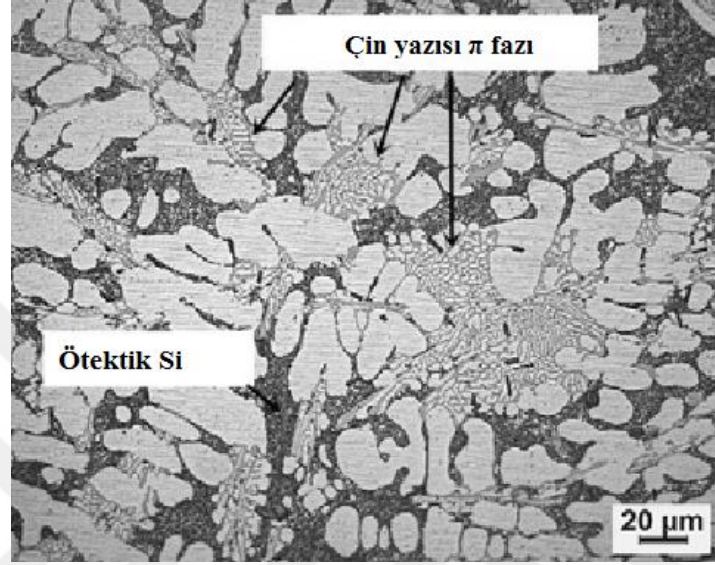
Numunelerin testleri modifiye edilmiş block on ring adı verilen cihazda karşı malzemesi 100Cr6 kullanılarak 350N yük altında, 100 rpm dönme hızı ve 75°C’de yüzeylerde yağlayıcı kullanılarak yapılmıştır. Ötektik üstü alaşımlar, ötektiğe yakın ve ötektik altı alaşımlara göre daha az aşınmaya maruz kalmıştır. Ötektik üstü alaşımlar düzenli silisyum tanelerinin dağılımı ile iyi bir aşınma performansına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmada aşınma direncini artırmak için Cu kullanılmıştır. T6 ile sertleştirme önemli bir ısıl işlem prosesi olmasına rağmen yarı katı olarak dökülmüş alaşımların aşınma direncine büyük bir etki etmediği belirtilmiştir. Yapılan test sonuçları aşağıda Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Farklı alaşım ve üretim yöntemlerine sahip numunelerin sertlik ve aşınma oranları (Biol ve Biol, 2008)

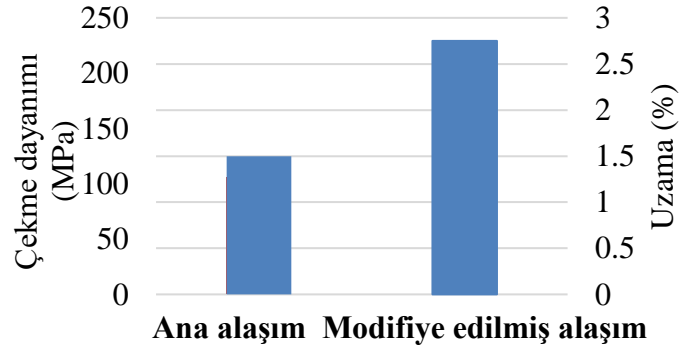
Alaşım	Üretim yöntemi	k ($\times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$)	Setlik (HB)
1	HPDC(Yüksek Basınçlı Döküm)	5.21±0.6	91
2		2.78±0.9	84
3		1.37±0.2	100
4	TF(Yarı Katı Şekillendirme)	10.56±2.2	53
5		5.02±0.10	82
6		2.75±0.1	92
4	TF+T6	7.39±0.9	72
5		3.88±0.6	122
6		4.83±0.4	141

Diaofeng Li ve ark. (2016) AlSi12 alaşımına yüksek Mg (%3,6) ve eser miktarda La (% 0,5) eklenmiş olup ve devamında T6 ısıl işlem ile zararlı demirce zengin β -Al₅FeSi gibi intermetaliklerin morfolojisinin değişimi amaçlanmıştır. Elde edilen parçalara

mekanik ve mikroyapı testleri yapılarak çin yazısı şeklinde yapılar elde edilmiştir. Elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Alaşımlandırma işlemi neticesinde mekanik testlerde çekme mukavemeti 125 MPa dan 225 MPa yükselmiş olup uzaması da %1.27 den %2.75 e çıkmıştır. Şekil 2.7'de mekanik özelliklerde meydana gelen değişim gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Modifiye edilerek %3,6 Mg ve %0,5 La içeriğine sahip AlSi12 alaşımı (Diaofeng Li ve ark., 2016)

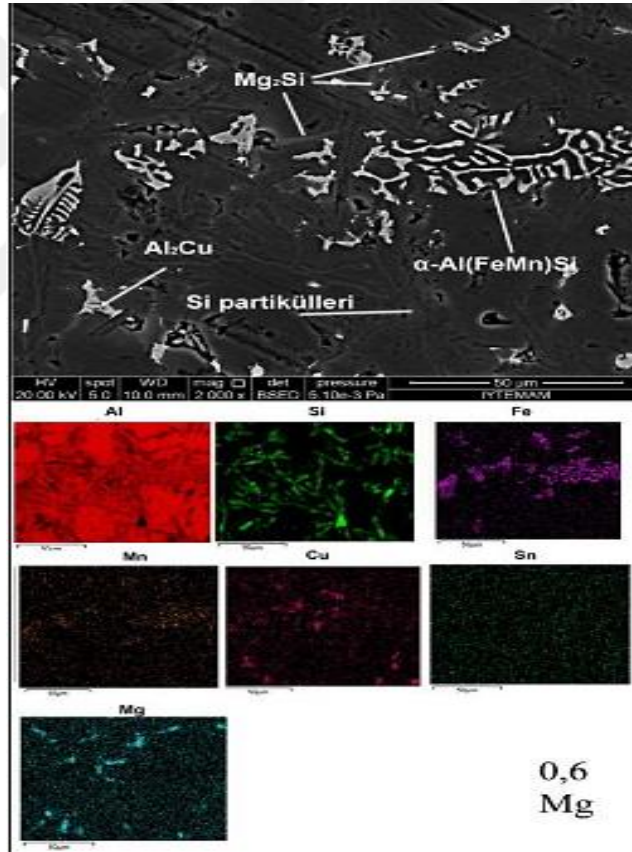


Şekil 2.7. AlSi12 temel alaşımı ile modifiye edildikten sonraki mekanik özellikler (Diaofeng Li ve ark., 2016)

Sun ve Ahlatcı (2011) AlSi12 alaşımında %5, %10 ve %20 oranında Mg içeriği ile modifikatörler eklenerek aşınma davranışları incelenmiştir. 2N yük altında reciprocating(ileri geri hareketli) testi yapılmıştır. Mikroyapıda Si taneler ve Mg₂Si

fazlarının oluşturduğu china scriptler gözlemlenmiştir. Mg oranının artışı ile sertlik ve aşınma direncinde artış görülmüştür.

Başaranel ve ark. (2013) ETİAL-180 alüminyum alaşımına ağırlıkça % 0.2-0.4-0.6 Sn ve ağırlıkça % 0.4-0.6-0.7 Mg ilavesinin etkileri araştırılmıştır. Oluşan intermetalik yapıları incelemek üzere SEM kullanılarak EDS analizi yapılmış ve bölgesel haritalama yapılarak ilave edilen elementlerin etkileri detaylı olarak incelenmiştir. İntermetalik bileşiklerin Sn ilavesi ile kabalaştığı ve intermetalik fazda merkez ve kenar bölgesindeki değişimlerin segregasyondan dolayı olduğu gözlemlenmiştir. Mg ilavesinin artmasıyla ile mikroyapıdaki Mg_2Si fazının artışı gözlemlenmiştir. Şekil 2.8’ de SEM element haritalama analizi yapılarak %0,6 Mg içeriğine sahip alaşımda oluşan intermetalikler gösterilmiştir.



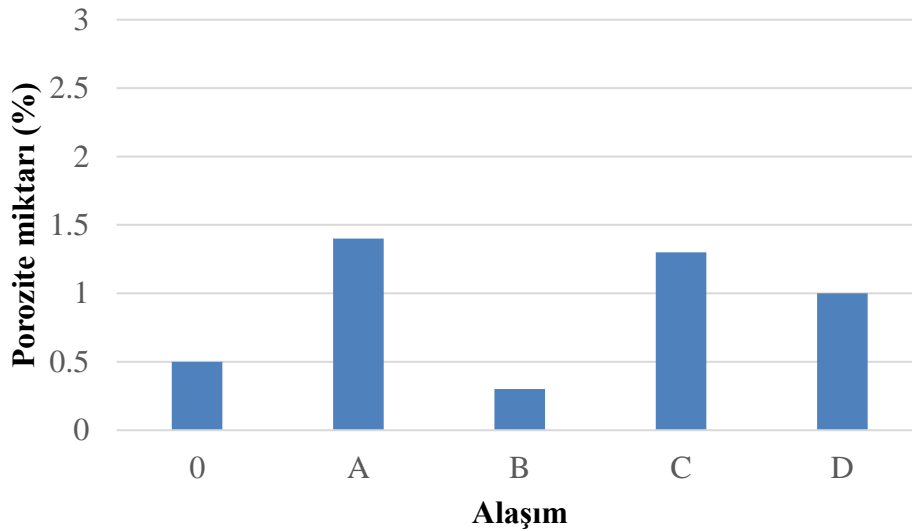
Şekil 2.8. ETİAL-180 alaşımına %0,6 Mg ilavesi sonucu SEM görüntüsü ve elementel analizi (Başaranel ve ark., 2013)

Fabrizi ve ark. (2013) Yüksek basınçlı dökümde AlSi9Cu3Fe alaşımına eklenen Sr, Mg ve Cu etkisi incelenmiştir. Kullanılan alaşımların tablosu Çizelge 2.4’te gösterildiği gibi olup ikincil dentrit kol uzunluğu ile tane boyutu alaşım elementlerinin

ilavesi ile azaldığı ifade edilmiştir. Sr ve Cu ilavesi poroziteyi artırmış olup Mg ilavesi ile bu etki dengelenmiştir. Mg oranı 0-0.68 değişen oranlarda kullanılmıştır. Alaşımların değişen porozite miktarları Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Sr modifiyesi ile döküm merkez bölgesindeki silisyum morfolojisi değişmiştir.

Çizelge 2.4. EN AC 46000 alaşımına eklenen Sr, Mg ve Cu oranları (Fabrizi ve ark., 2013)

	Si	Fe	Cu	Mg	Sr	Zn	Cr	Ni	Ti	Pb	Mn
EN AC 46000	8-11	0.6-1.3	2-4	0.05-0.55	-	1.2	0.15	0.55	0.25	0.35	0.55
0	9.27	0.86	2.45	0.24	0.0001	1.21	0.03	0.14	0.05	0.1	0.21
A	9.62	0.84	2.25	0.24	0.0133	1.06	0.06	0.12	0.04	0.09	0.22
B	9.91	0.84	2.33	0.46	0.0153	1.08	0.06	0.12	0.04	0.09	0.21
C	9.70	0.84	4.3	0.48	0.0159	1.08	0.07	0.11	0.04	0.09	0.21
D	9.72	0.84	3.49	0.68	0.0162	1.07	0.06	0.11	0.05	0.09	0.21



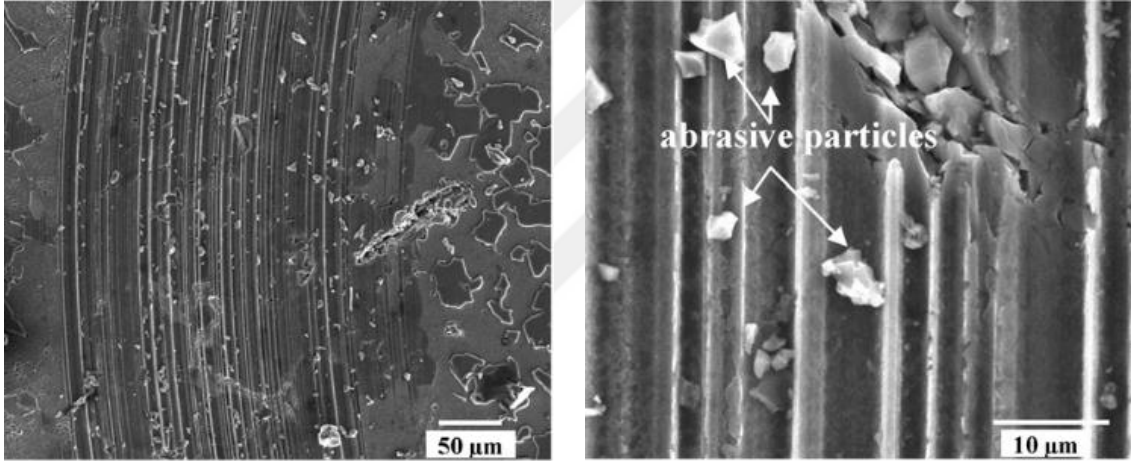
Şekil 2.9. Alaşımlarda oluşan % porozite miktarı (Fabrizi ve ark., 2013)

Esgandari ve ark. (2013) A356 alaşımını üzerinde Mg ilavesi ve yarı katı şekillendirmenin sürünme özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Mg ilavesi Mg_2Si china scriptler ile sürünmeyi olumlu geliştirmiştir. Alaşımda 0.32 ve 1.35 Mg ilavesi kullanılmıştır. Mg ilavesi ile ötektik silisyum mikroyapısında önemli ölçüde bir değişiklik görülmemiştir. α (Al) fazı yarı katı şekillendirmeye küresel yapıya dönüşmüştür. Mg ilavesi ile sürünme direnci artmış olup bunun sağlanmasında Mg_2Si intermetalikler etkili olduğu ifade edilmiştir.

Rana ve Purohit (2012) LM6 alaşımına (AlSi12) %1.18 oranında Mg ilavesi ile mekanik ve aşınma özellikleri incelenmiştir. 20, 30 ve 40 N yük altında pin on disk testleri

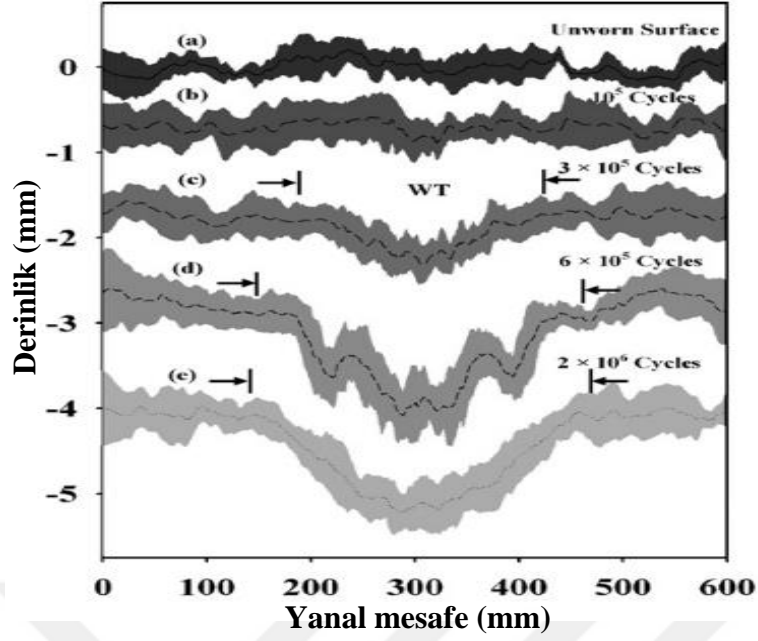
yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda Mg ilavesiyle çekme mukavemeti 230 MPa'dan 217 Mpa'a düşerek süneklikte azalmıştır. Buna karşın aşınma oranı Mg ilavesiyle düşmüştür. Brinell sertliği 55-60 HB değerinden 98 HB'ye yükselmiş olup Mg ilavesiyle bu değere ulaşmıştır.

Dey ve ark. (2009) motor bloklarının üretiminde ötektik üstü Al-Si alaşımları kullanılmakta olup bu alaşımların düşük yükteki aşınma direnci ve mikroyapı ilişkisi için farklı korelasyonlar oluşturmuşlardır. A390 alaşımında 0,5-5 N arasında yük uygulamaları yapılmıştır. Pin on disk test cihazında yağlı ortamda 2×10^6 kayma çevrimi yapmıştır. Meydana gelen değişiklikler karakterize edilmiştir. Silisyum parçacıklarının kırılarak aşındığı gözlemlenmiş olup daha sonrasında alüminyum matrisin aşınması hızlanmıştır. Çevrim sonucu oluşan aşınma yüzeyleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



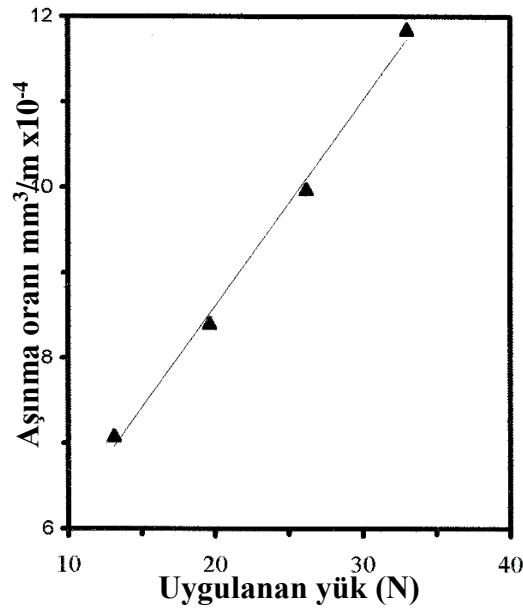
Şekil 2.10. A390 alaşımında pin on disk testinde 2×10^6 çevrim sonucu aşınan yüzey (Dey ve ark., 2009)

Aynı çalışmada artan çevrim sürelerinde parçalarda oluşan aşınma derinlikleri farklılıklar göstermiştir. Kademeli olarak ölçümler yapılmıştır. Meydana gelen değişim Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



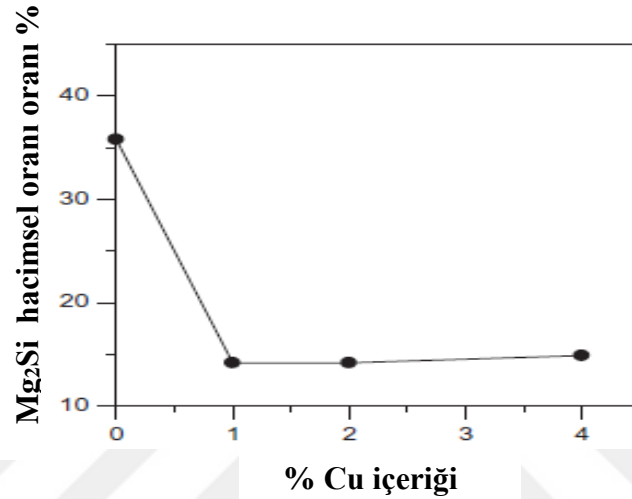
Şekil 2.11. Pin on disk test cihazında farklı çevrim sürelerinde oluşan aşınma değerleri (Dey ve ark., 2009)

Y. Sun ve ark. (1999) Al-Si-Mg alaşımlarının plastik deformasyona uğramış yaşlandırma öncesi numunelerin aşınma direnci üzerindeki etkilerini incelemiştir. Pin on disk test cihazı ile yapılan testlerde farklı yükler uygulanarak alaşımların aşınma oranları elde edilmiştir. Şekil 2.12'de yapılan çalışma neticesinde ortaya çıkan değişimler gösterilmiştir.



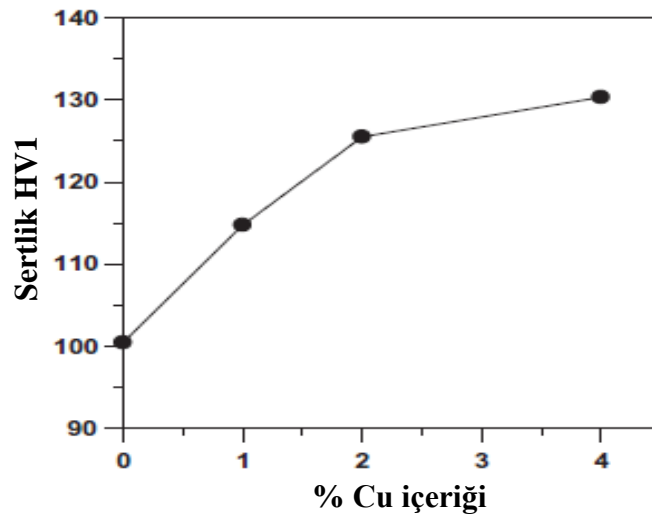
Şekil 2.12. Uygulanan farklı yükler altında aşınma oranlarında meydana gelen değişim (Y. Sun ve ark., 1999)

Palta ve ark. (2012) Al₁₂Si₂₀Mg alaşımına %1, %2 ve %4 oranında Cu ilavesi ile aşınma özellikleri incelenmiştir. Mg₂Si ile katkılandırılmış matrisin mikroyapı karakterizasyonu, sertliği ve aşınma direnci test edilmiştir. Aşınma direnci için pin on disk test cihazı kullanılmış olup testler kuru ortamda yapılmıştır. Artan Cu ilavesi ile birlikte Mg₂Si tanelerinin boyu ve hacminin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu değişim Şekil 2.13’de gösterilmiştir. Buna karşılık yapıda CuAl₂ intermetalikleri matrisinin içinde oluşmuştur.



Şekil 2.13. Cu içeriğinin artışı ile matristeki Mg₂Si değişimi (Palta ve ark., 2012)

Bakır ilavesinin sertlik artışına olumlu katkısının olduğu belirtilen çalışmada, aşınma testlerinin sonucunda artan Cu ilavesi ile düşük yükler altında aşınma direnci artmış fakat yüksek yükler altında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bakır içeriğiyle artan sertlik değişimi Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Bakır içeriğinin artışı ile sertlik değişimi (Palta ve ark., 2012)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile AlSi12 (ETİAL-140) ötektik alaşımından üretilen havalı fren kompresör silindir kapağının aşınma davranışına farklı oranlarda Mg ilavesinin etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma; üretim, mikroyapı ve mekanik özelliklerin karakterizasyonu ve aşınma davranışının incelenmesini kapsamaktadır.

3.1. Üretim

3.1.1. Kimyasal Bileşim

Endüstride havalı fren kompresör silindir kapakların imalatında kullanılan ETİAL-140 alaşımının aşınma performansını iyileştirmek için 3 farklı Mg içerikli alaşım üretimi hedeflenmiştir. Üretilmesi planlanan ana alaşım içerikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

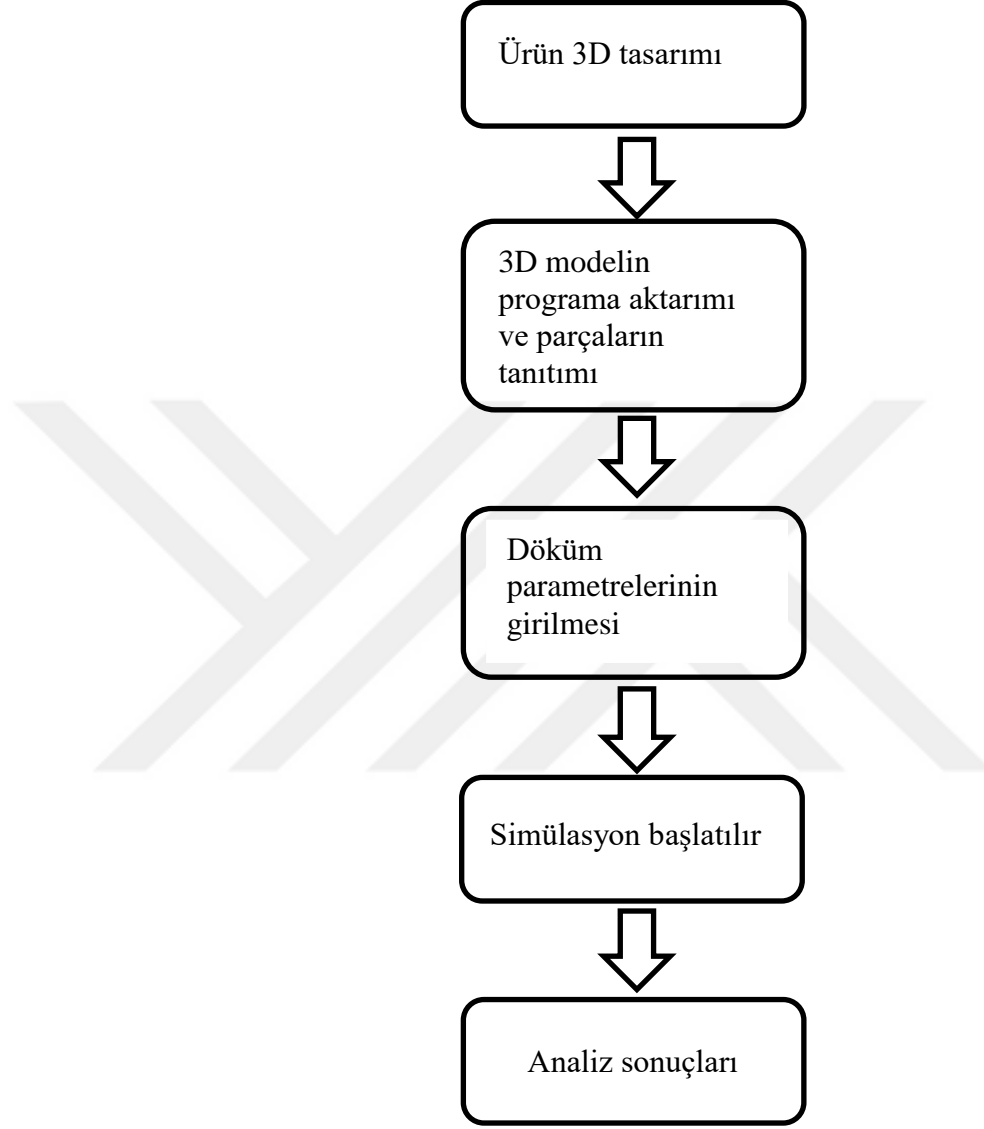
Çizelge 3.1. Test ve deneylerde üretilmesi hedeflenen alaşım matrisi

	Si	Mg	Al
ETİAL-140	12	0-0,3	Kalan
%1 Mg	12	1-1,5	Kalan
%2 Mg	12	2-2,5	Kalan
%3 Mg	12	3-3,5	Kalan

3.1.2. Döküm Simülasyonu Analizleri

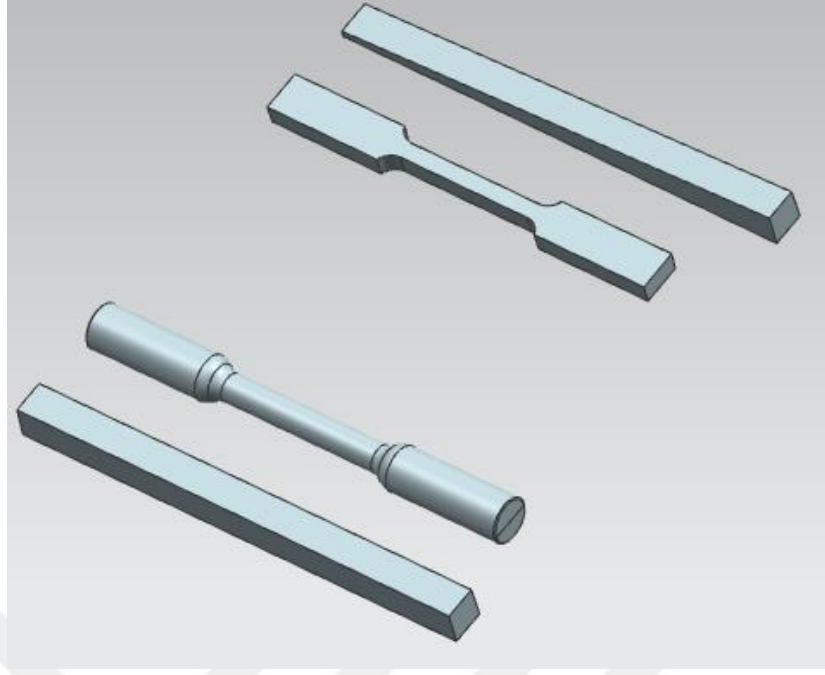
Simülasyon çalışmalarında Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları A.Ş. bünyesinde bulunan Magmasoft döküm simülasyon programı kullanılmıştır. Tez kapsamında yüksek basınçlı döküm kalıbının tasarımı yapılarak tek kalıpta mekanik test numunelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Genel olarak Magmasoft analiz sonucunda birçok döküm parametresini değerlendirmektedir. Her parametre birbiriyle ilişkili olup sonuçları etkilemektedir. Döküm simülasyonlarında iyi bir tasarım oluşturmak çok önemli olsa da

döküm parametrelerinin de gerçekte birebir yakınsaması çok önemlidir. Aşağıda Şekil 3.1’de döküm simülasyonu aşamalarının akışı gösterilmiştir.



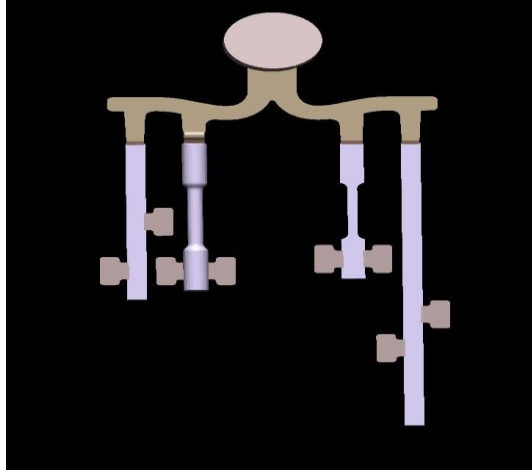
Şekil 3.1. Döküm simülasyonu akışı

Simülasyon çalışmalarına geçilmeden önce ilk olarak çekme numunesi, darbe numunesi ve farklı kesitlerdeki mikroyapıyı inceleyebilmek için parçaların CAD modellemesi gerçekleştirilmiştir. Tasarım aşamasında test numuneleri standartlara uyularak Şekil 3.2’de görülen çizimler yapılmıştır. Döküm parçasının CAD çizimi yapıldıktan sonra simülasyon çalışmaları için kalıp tasarımına geçilmiştir.

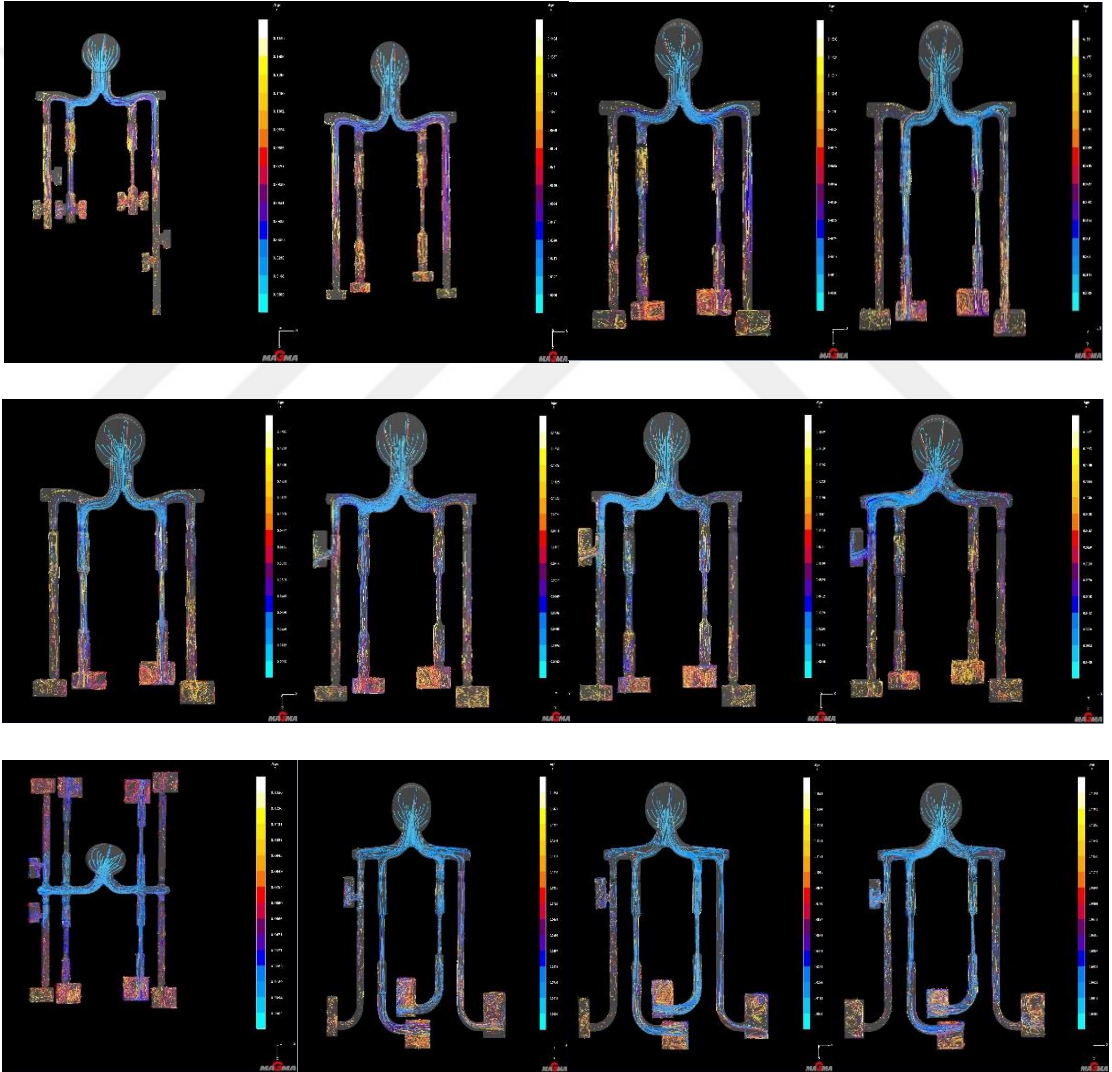


Şekil 3.2. Kalıp içerisine yerleştirilen test numuneleri

Test numunelerinin ağırlıklarının az olması ve parça geometrilerinin tek yönlü akış ile dolması sebebiyle Magmasoft döküm simülasyonunda optimum tasarımı elde edebilmek için 12 farklı tasarım çalışması yapılmıştır. Simülasyon çalışmalarında yüksek basınçlı döküm yönteminde çok nadir kullanılan bir hava cebi tasarımı yapılarak en ideal tasarıma ulaşılmıştır. Kalıp içerisine yerleştirilen döküm parçaları ilk olarak Şekil 3.3’de görüldüğü gibi topuk, yolluk ve hava cebi tasarımları yapılmıştır. Yapılan ilk tasarımla birlikte simülasyon sonuçları değerlendirilerek tasarım iyileştirmeleri yapılmıştır. Tasarım aşamasında en çok irdelenen parametreler ise sıcaklık, akış izi (türbülans), hava sıkışması, katılaşma süreleri, metal akış hızı, porozite ve dolum süreleri olmuştur. Tüm veriler ayrı ayrı irdelenerek birbirleriyle olan ilişkileriyle olası döküm hataları öngörülerek tasarımın iyileştirilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.4’de simülasyon çalışması yapılan 12 farklı kalıp tasarımı gösterilmektedir.

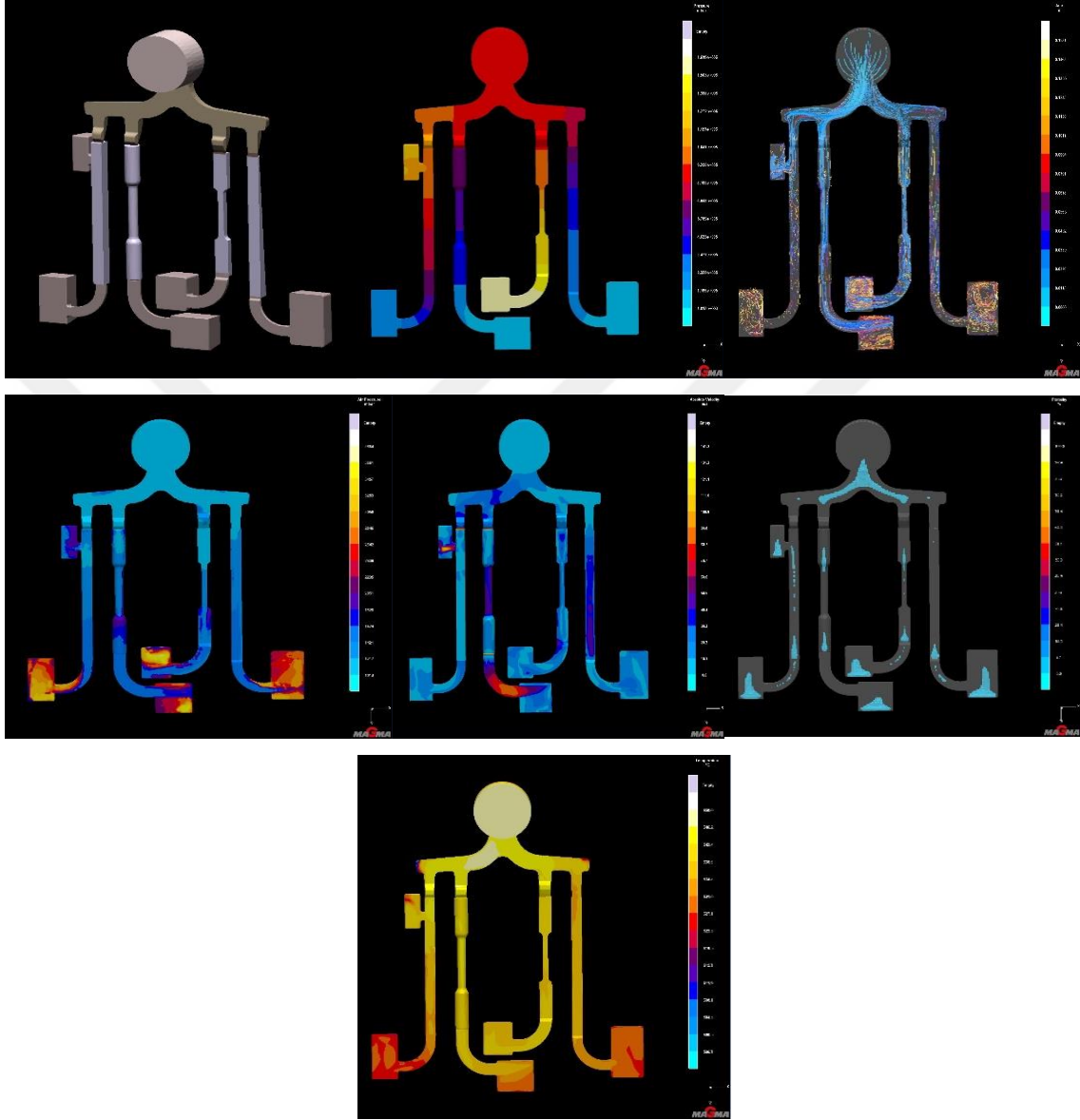


Şekil 3.3. Döküm simülasyonu için yapılan ilk tasarım



Şekil 3.4. Simülasyon çalışması yapılan 12 farklı kalıp tasarımı

Yapılan analizler neticesinde hatasız ya yakın bir döküm elde edebilmek için 12. tasarımın en ideali olduğuna karar verilerek bu tasarımın simülasyon çıktılarına ait sonuçlar Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

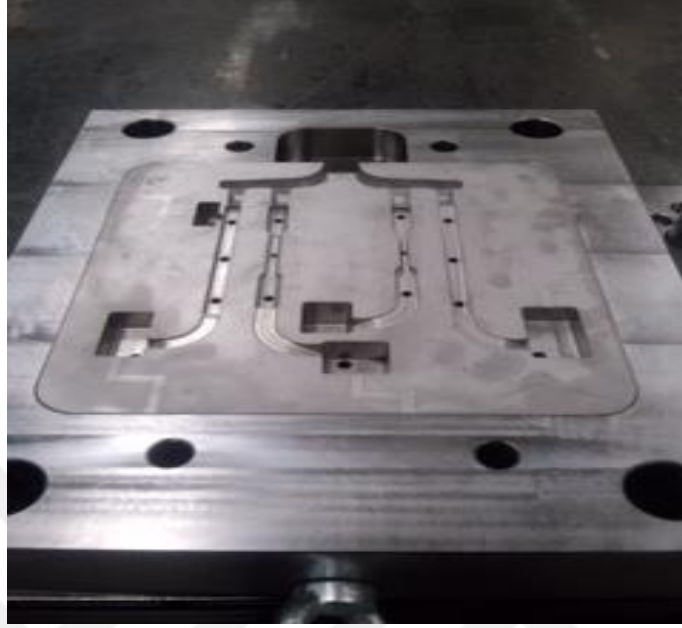


Şekil 3.5. Simülasyon çalışmaları neticesinde optimum döküm kalitesine ulaşılan 12. tasarıma ait analiz sonuçları

3.1.3. Döküm numunelerin elde edilmesi

Simülasyonu tamamlanan tasarıma ait kalıp üretimi gerçekleştirilerek Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Kalıp üretiminde sıcak iş çeliği DIN 1.2344 kullanılmıştır. Ölçülerin hassas olması nedeniyle tel erozyon ve dalma erozyon gibi hassas işleme yöntemlerinden

faýdalanılmıştır. Enjeksiyon kalıbı 400x500x336 mm ebatlarında olup kovan çapı 55 mm ve toplam numune ağırlığı 655 gramdır.



Şekil 3.6. Simülasyon verilerine göre üretilen yüksek basınçlı döküm kalıbı

Basılacak parçanın ağırlığının düşük olması sebebiyle ve farklı alaşım gruplarının hazırlanması için elektrikli ergitme ocağı üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi yapılan ergitme ocağının kısmi teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneme dökümleri için üretimi yapılan ergitme ocağına ait teknik veriler

Güç(KW)	14
Ergitme kapasitesi(kg)	17
Ergitme potası türü	Grafit
Refrakter malzemesi	Alümina
Termokupl tipi	K
Azami sıcaklık(°C)	1000

Üretimi yapılarak döküm çalışmalarında kullanılan ergitme ocağı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Döküm işlemlerinde kullanılan ergitme ocağı

Ergitme işlemi sonrasında hedeflenen kimyasal bileşimin analizi için numuneler Şekil 3.8'de gösterilen Was marka Foundry Master model alüminyum ölçüm modülüne sahip spektrometre cihazında yapılmıştır.



Şekil 3.8. Kimyasal analiz için kullanılan spektrometre cihazı

Sıvı haldeki alüminyum alaşımına 750 °C sıcaklığında gaz giderme işlemi yapılmıştır. Bu prosesin uygulanmasında kullanılan gaz giderme cihazı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

Daha sonra numunelerin üretimleri 400 ton kapasiteli yüksek basınçlı döküm tezgahında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Gaz giderme işleminde kullanılan makine

Döküm çalışmaları yapılacak alaşım parçaları için aynı üretim parametreleri kullanılmıştır. Üretilen numunelere ait döküm parametreleri Çizelge 3.3’ de gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.3. Elde edilen numunelere ait döküm parametreleri

Döküm parametreleri	
Gaz giderme sıcaklığı °C	750
Gaz giderme süresi sn	80
Gaz giderme için kullanılan gaz	N ₂
Tezgâh kapasitesi Ton	400
Döküm sıcaklığı °C	630
Kalıp sıcaklığı °C	250
2. faz hızı m/sn	2,4

Belirlenen döküm parametrelerine göre dökümler Şekil 3.10'da gösterilen yüksek basınçlı enjeksiyon presinde yapılmış olup elde edilen ürünler Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Dökümlerin gerçekleştiği 400 ton kapasiteli yüksek basınçlı döküm makinesi



Şekil 3.11. Yüksek basınçlı döküm yöntemiyle elde edilen numuneler

3.2. Karakterizasyon

3.2.1. Mikroyapı

Elde edilen döküm parçalardan alınan numunelere yüzey hazırlama işlemi uygulanmıştır. Daha sonra numuneler mikroyapı incelemeleri için Keller çözeltisi ile dağlanmıştır. Dağlama sonrası Nikon Eclipse MA-200 ters metal mikroskopunda Clemex Vision Light görüntü analiz yazılımı kullanılarak 50X, 100X, 200X, 500X ve 1000X büyütmelemlerde mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Alaşımlara ait numunelere SEM ve EDS analizleri Zeiss marka evo 10 model cihaz kullanılarak yapılmıştır. SEM analizleri Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma Merkezinde yapılmıştır. Farklı Mg içeriğine sahip alaşımlardan talaş örnekleri alınarak Karabük Üniversitesinde XRD analizleri yapılmıştır. Aşağıda Şekil 3.12’de mikroyapı hazırlamak için, 3.13’de ise mikroyapı görüntülenmesinde kullanılan cihazlar gösterilmiştir.



a



b

Şekil 3.12. Mikroyapı numunelerinin hazırlanmasında kullanılan; a) Numune kesme cihazı ve b) Zımpara ve parlatma cihazı



a



b

Şekil 3.13. Mikroyapı görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan a) Ters metal mikroskobu, b) SEM cihazı

3.2.2. Mekanik özellikler

Çalışmanın bu bölümünde üretimleri gerçekleştirilen test numunelerine standartlara uygun olarak sertlik testi (TS EN ISO 6507-1), darbe testi (TS EN ISO 148-1), çekme testi (TS EN ISO 6892-1) ve yoğunluk ölçümleri yapılmıştır.

Çekme testi için hazırlanan numuneler, Raagen marka 5 ton yük hücreğine sahip bilgisayar kontrollü cihazda oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.14’de çekme testlerinde kullanılan cihaz gösterilmiştir.



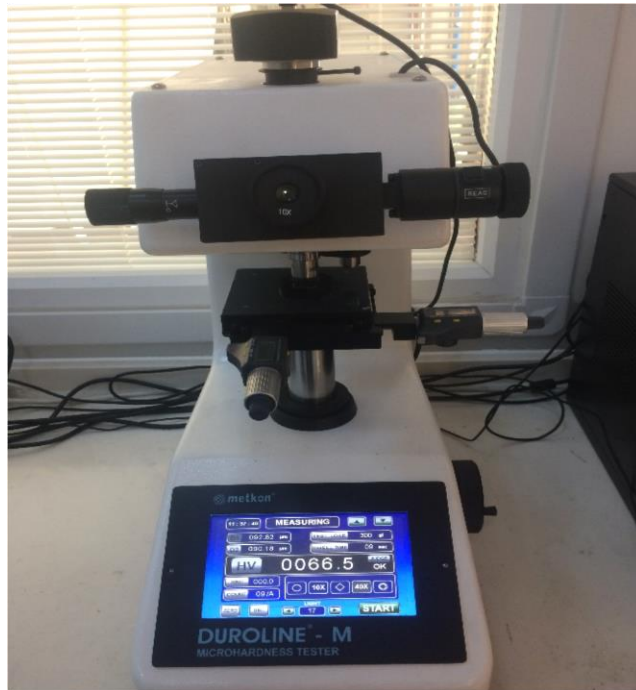
Şekil 3.14. 5 ton kapasiteli elektromekanik çekme-basma test cihazı

Darbe testleri için Şekil 3.15’de görülen Selçuk Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan Alşa marka 300 joule kapasiteli Charpy test cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15. Charpy darbe testi için kullanılan cihaz

Sertlik ölçümleri için Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları A.Ş.' de bulunan Metkon marka Duroline-M model mikrovickers cihazda 300 gram yük altında 10 saniye bekleme süresinde en az 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sertlik cihazının resmi Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Sertlik ölçümlerinde kullanılan mikrovickers sertlik cihazı

Arşimet hesabı kullanılarak Doğuş Döküm marka Gr-200 model yoğunluk ölçüm cihazında değişen Mg içeriğine sahip alaşımların yoğunlukları hesaplanmıştır. Hesaplamalar için parçaların havadaki ağırlıkları ve sudaki ağırlıkları ölçülerek (3.1) eşitliği kullanılarak yoğunluklar hesaplanmıştır. Ölçümler için kullanılan yoğunluk ölçüm cihazı Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

$$d_{\text{alaşım yoğunluğu}} = m_{\text{kuru ağırlık}} / (m_{\text{kuru ağırlık}} - m_{\text{sudaki ağırlık}}) \quad (3.1)$$



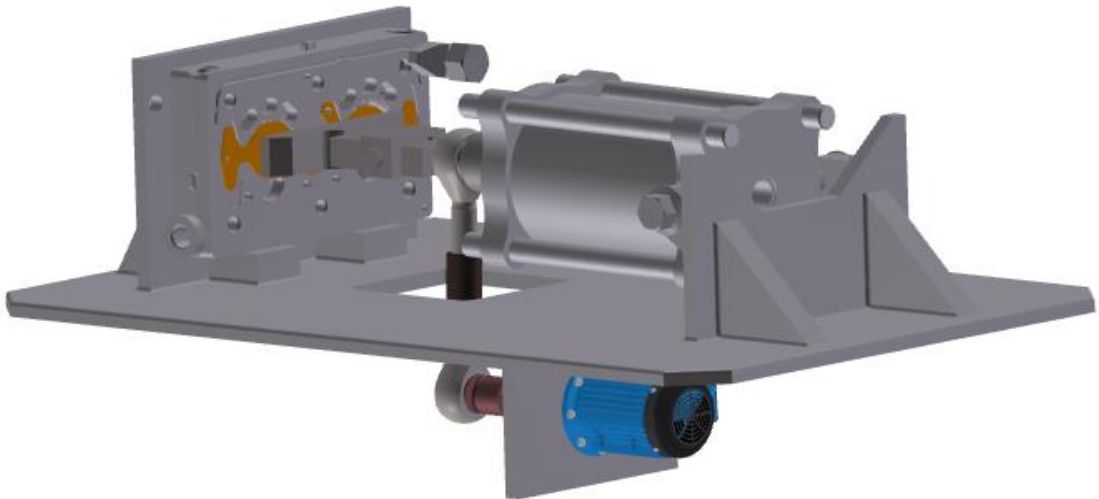
Şekil 3.17. Farklı alaşımların yoğunluk ölçümünde kullanılan Arşimet terazisi

3.2.3. Aşınma performansı

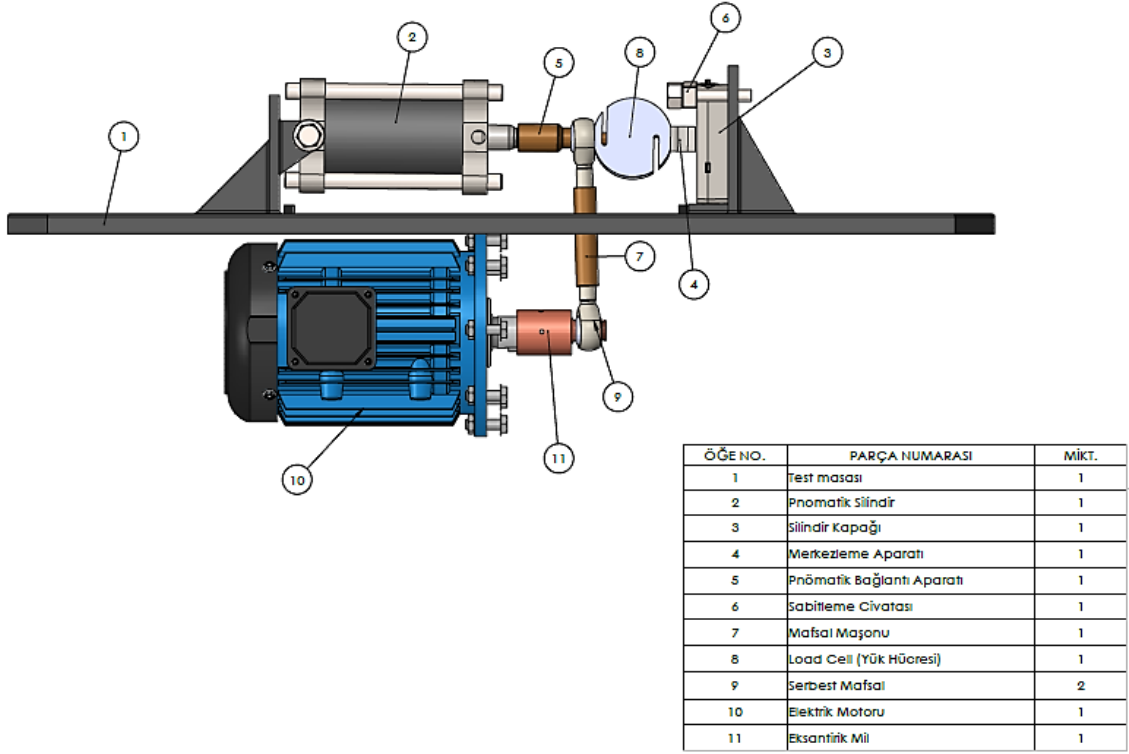
Dökümleri tamamlanan alaşımlardan elde edilen numunelere iki tip aşınma testi uygulanmıştır. Bunlardan ilki tasarımı ve üretimi Bölüm 3.2.3.1’de belirtilen Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları A.Ş. bünyesinde gerçekleştirilen test cihazında diğeri ise Selçuk Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan Pin on disk test cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri oda sıcaklığında 2000 metre mesafede 10, 20, 30 ve 40N yüklerde gerçekleştirilmiştir. Karşı malzeme olarak sertleştirilmiş (60 HRC) SAE 4140 kalite çelik kullanılmıştır. Aşınma performansları, ağırlık kaybı ve sürtünme katsayılarının ölçümleriyle belirlenmiştir.

3.2.3.1. Aşınma test simülatörü tasarım ve imalatı

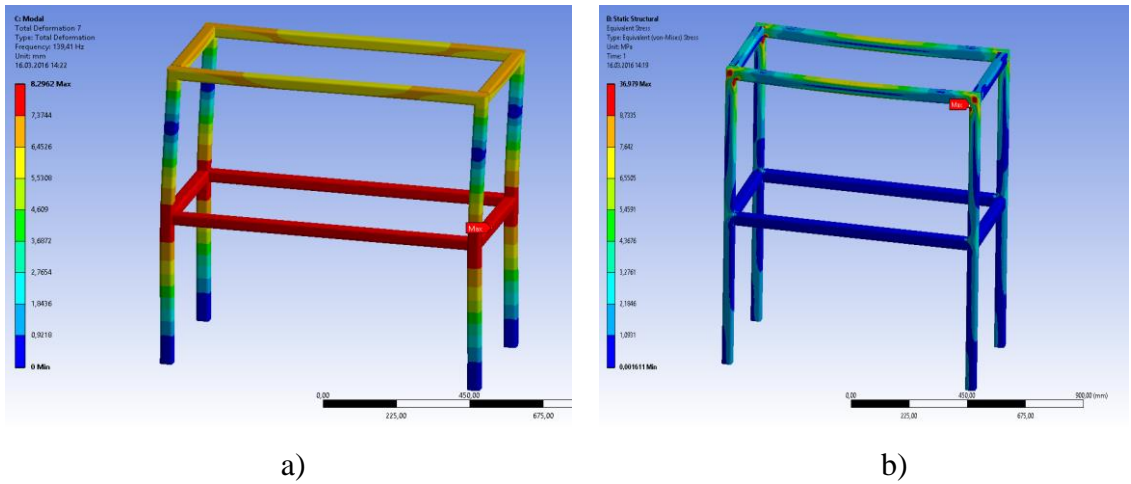
Tez çalışmaları kapsamında tasarlanarak üretilen test simülatörü silindir kapaklarında meydana gelen abrasiv aşınmayı birebir test edebilmek için tasarlanmıştır. Fren kompresöründe kullanılan silindir kapakları AlSi12 alaşımından üretilmiş olup üzerinde AISI 301 ya da AISI 304 paslanmaz çelikten üretilmiş dinlendirme valfi bulunmaktadır. Kompresör araç üzerinde yeterli havayı ürettikten sonra yükten çıkmak için 10 bar basıncındaki hava subap yaylarını iterek paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş ve sertliği 45-50 HRC aralığında olan dinlendirme valfini açar. Bu mekanizmanın zamanla devreye girip çıkarak alüminyum kapağı aşındırmasının tasarlandığı test simülatörü ile servis koşullarının test edilmesi amaçlanmıştır. Tasarımı yapılan test simülatörü pnömatik olup valf üzerine gelen maksimum 10-12 bar arasındaki basınç kuvvetini kapağa ileterek motordan aldığı eksantrik hareket ile iki malzeme birbiri üzerinde kuvvet altında kayarak hareket etmektedir. Test simülatörünün Şekil 3.18 ve 3.19’da katı modeli ve bağlantı parçaları gösterilmiştir. Tasarımlar için ANSYS sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak tasarım doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Şekil 3.20’de ANSYS ile yapılan konstrüksiyon analiz sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Test simülatörünün hareket mekanizmasının katı modeli



Şekil 3.19. Test simülörünün bağlantı parçaları



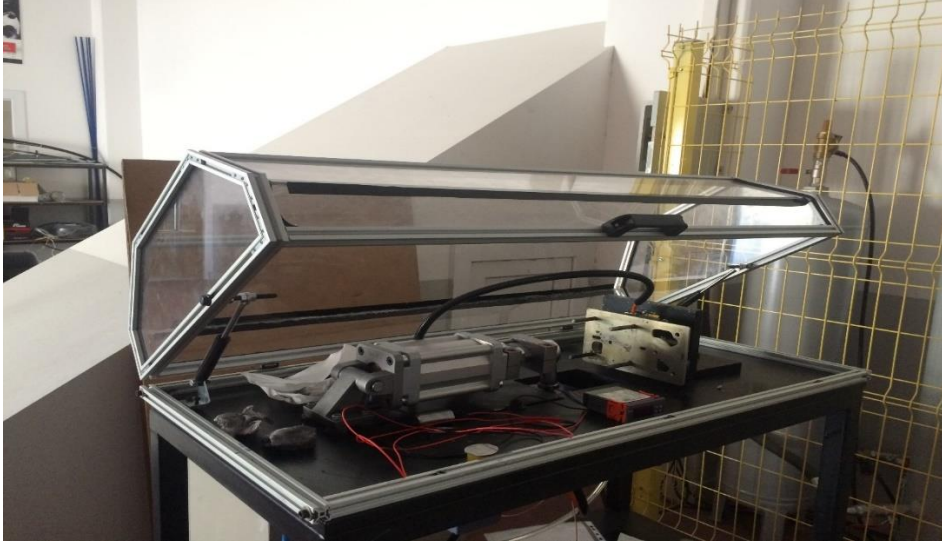
Şekil 3.20. ANSYS konstrüksiyon analizleri a) Test sisteminin 139 Hz frekansta çalışması durumunda oluşabilecek deformasyonlar, b) Test sisteminin üzerindeki ağırlıklar neticesinde oluşabilecek gerilmeler

Tasarımı analiz programlarıyla doğrulanan test simülatörü Şekil 3.21’de görülen nihai tasarımı ile üretilmesi kararlaştırılmıştır. Test simülatöründe 500 kg kapasiteli yük hücresi tercih edilerek maksimum sınır şartlarının üzerinin de test edilmesi hedeflenmiştir. Kullanılan motor 1,1 KW gücünde olup kullanılan pnömatik silindir 50mm çapında ve 80mm stroke (vuruş mesafesi) sahiptir. Motordan alınan hareket dana gözler vasıtasıyla eksantrik olarak sisteme iletilmiştir.



Şekil 3.21. Tasarımı doğrulanan test simülatörü

Tasarımı tamamlanan test simülatörü imalatı yapılarak Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Aşınma testleri farklı parametreler altında bu cihazda yapılmıştır.



Şekil 3.22. Üretimi yapılan aşınma test simülatörü

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tez çalışmasının bu bölümünde deneysel çalışmalardan elde edilen veriler incelenmiştir. İlk olarak alaşımlandırma işlemi neticesinde ortaya çıkan kimyasal analizler verilmiştir. Daha sonra üretimleri gerçekleştirilen numunelerin karakterizasyon sonuçlarına yer verilmiştir. Numunelere ait mikroyapı, XRD, SEM, EDS analizleri ile birlikte mekanik özelliklerini içeren sertlik ölçümü, çekme testi, darbe testi ve yoğunluk testleri yapılmıştır. Son olarakta elde edilen alaşımlara ait aşınma performanslarının Mg içeriğine göre değişimleri gösterilmiştir.

4.1. Kimyasal analiz

AlSi12 alaşımına değişen miktarlarda Magnezyum ilaveleri ile dökümler gerçekleştirilmiştir. Alaşımlar aşağıda Şekil 4.1’ de gösterilen kimyasal bileşime sahiptirler.

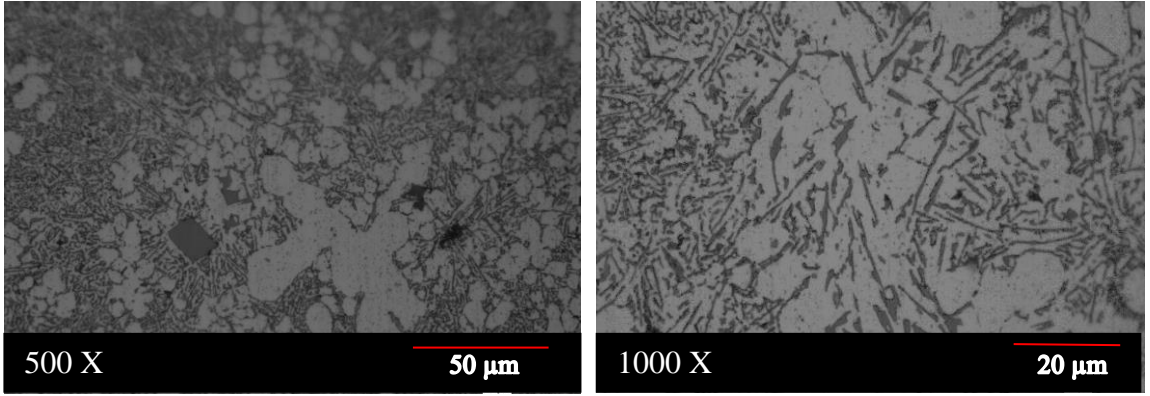
Çizelge 4.1. Döküm çalışmalarında kullanılan alaşımların kimyasal analizi (%ağırlıkça)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Ti	Pb	Sn	Zn
ETİAL-140	12.7	0.34	0.14	0.02	0.02	0.01	0.02	0.09	0.01	0.01	0.01
%1.1 Mg	12.5	0.38	0.11	0.05	1.14	0.01	0.01	0.11	0.01	0.02	0.01
%2.4 Mg	12.5	0.38	0.11	0.06	2.40	0.01	0.02	0.10	0.01	0.01	0.01
%3.1 Mg	12.3	0.38	0.10	0.06	3.10	0.01	0.03	0.11	0.01	0.02	0.01

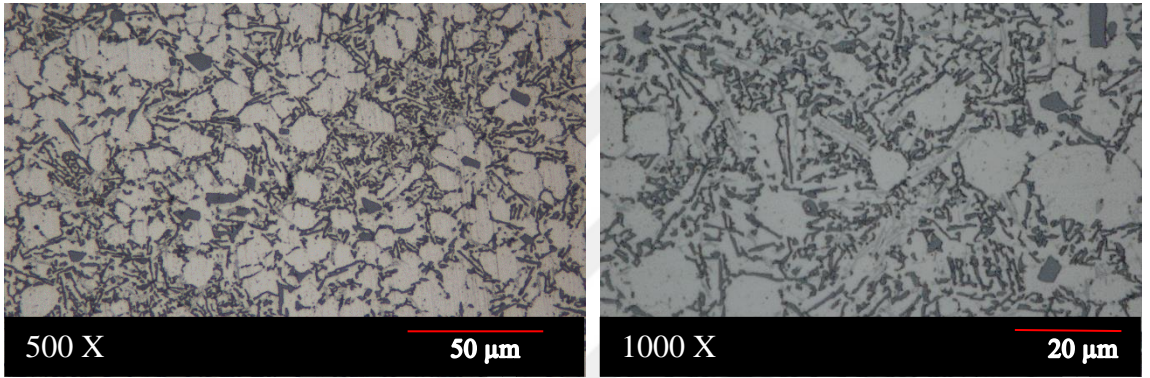
4.2. Karakterizasyon

4.2.1. Mikroyapı

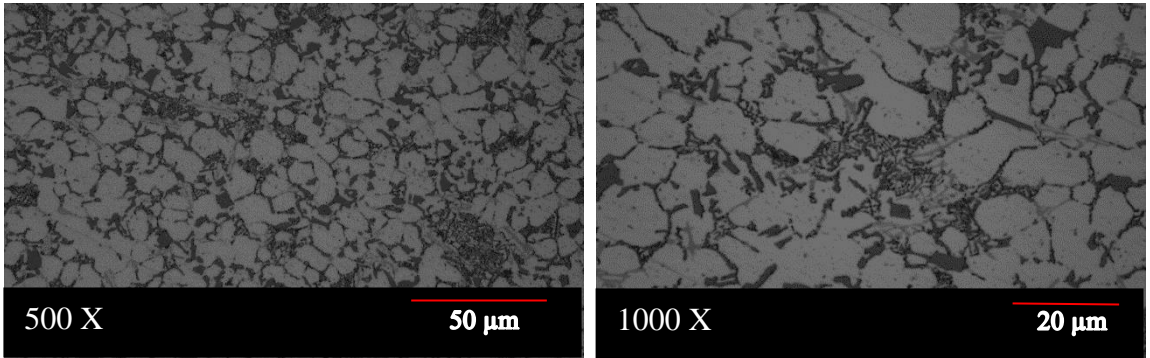
Tez çalışması kapsamında yapılan döküm işleminden elde edilen parçalardan kesitler alınarak mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Farklı büyütme altında ters metal mikroskopunda incelenen numunelere ait mikroyapı görüntüleri Şekil 4.1-4.4’de gösterilmiştir.



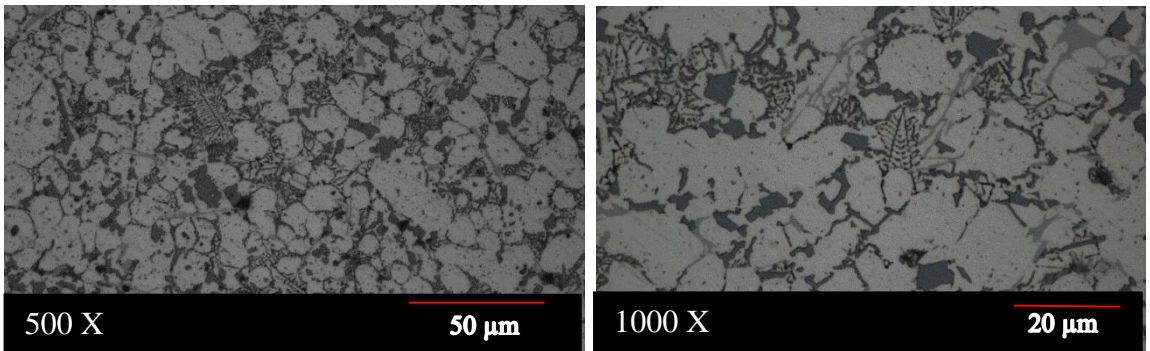
Şekil 4.1. ETİAL-140 alaşımının farklı büyütmeler altındaki mikroyapısı



Şekil 4.2. ETİAL-140 alaşımına %1,1 Mg ilavesiyle elde edilen farklı büyütmeler altındaki mikroyapısı



Şekil 4.3. ETİAL-140 alaşımına %2,4 Mg ilavesiyle elde edilen farklı büyütmeler altındaki mikroyapısı



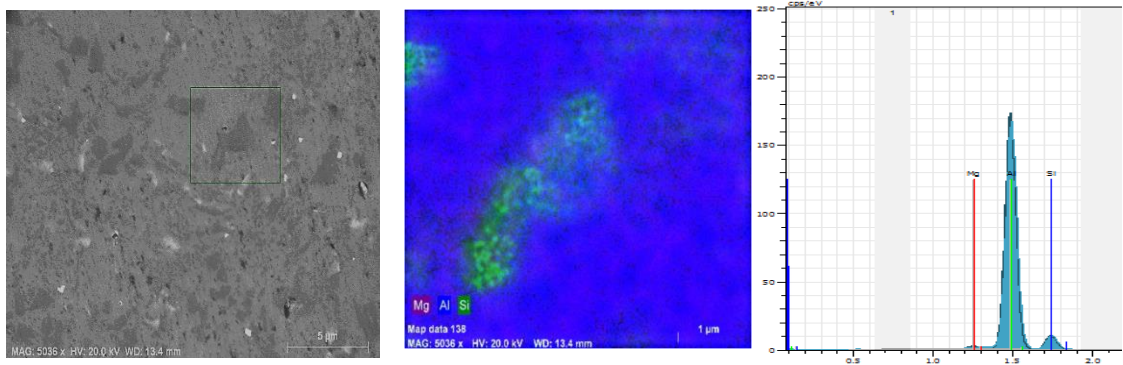
Şekil 4.4. ETİAL-140 alaşımına %3,1 Mg ilavesiyle elde edilen farklı büyütmeler altındaki mikroyapısı

Elde edilen mikroyapılar neticesinde ETİAL-140 alaşımı α -alüminyum, ötektik silisyum ve az miktarda birincil silislerden oluşmaktadır. Yüksek basınçlı döküm tekniğinde hızlı katılaşma neticesinde dentrit kollarının boylarının kısa olduğu görülmektedir. Değişen oranlarda ilave edilen Mg ile beraber mikroyapıda değişimler gözlemlenmiştir. Mg oranının artışı ile beraber yapıda oluşan intermetaliklerin yoğunluğu artmış ve china scriptler oluşmuştur. Mikroyapıda oluşan ikincil fazların Mg_2Si , β -Fe ve π $-(Al_8Mg_3FeSi_6)$ olduğu düşünülmektedir. Literatürde (Morin ve ark., 2016) $AlSi_9Cu_3Fe$ alaşımı ile yapılan çalışmada benzer ikincil fazlar bulunmuştur.

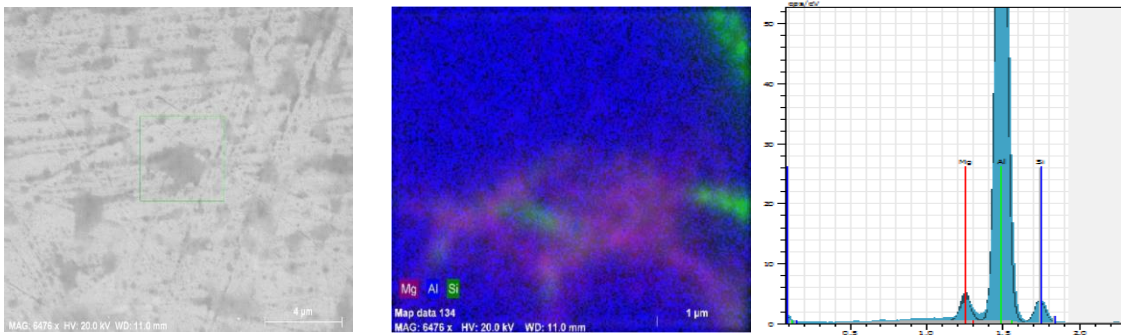
Diğer intermetalik fazlar üzerine yapılan çalışmada 6082 alüminyum alaşımının mikroyapı incelemelerinde (Nowotnik ve ark., 2007) ve $AlSi_9Cu_3$ alaşımından Mg içeriği ile (Tillová ve ark., 2012) elde edilen mikroyapılar ile bulunan sonuçlar benzerlik göstermektedir.

4.2.2. SEM ve EDS analizleri

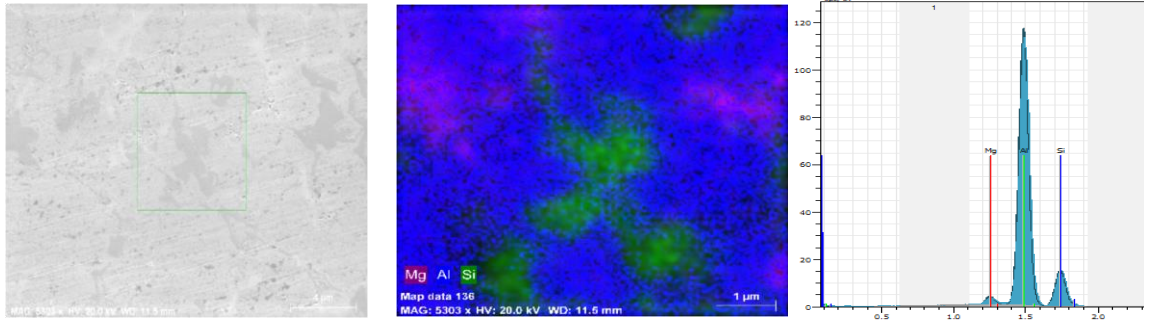
Mikroyapı numuneleri üzerinden SEM-EDS ile yapılan haritalama analizi sonucunda elde edilen görüntüler Şekil 4.5- 4.8'de gösterilmiştir.



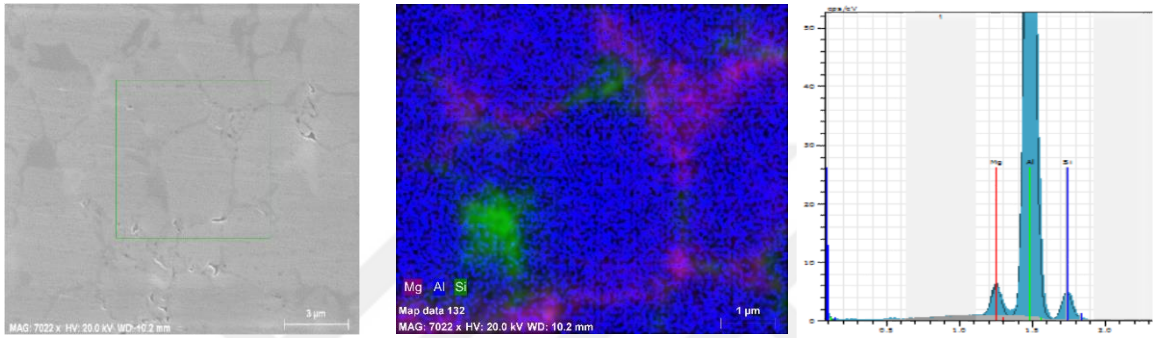
Şekil 4.5. ETİAL-140 alaşımının EDS analizi



Şekil 4.6. %1,1 Mg içeriğine sahip ETİAL-140 alaşımının EDS analizi



Şekil 4.7. %2,4 Mg içeriğine sahip ETİAL-140 alaşımının EDS analizi

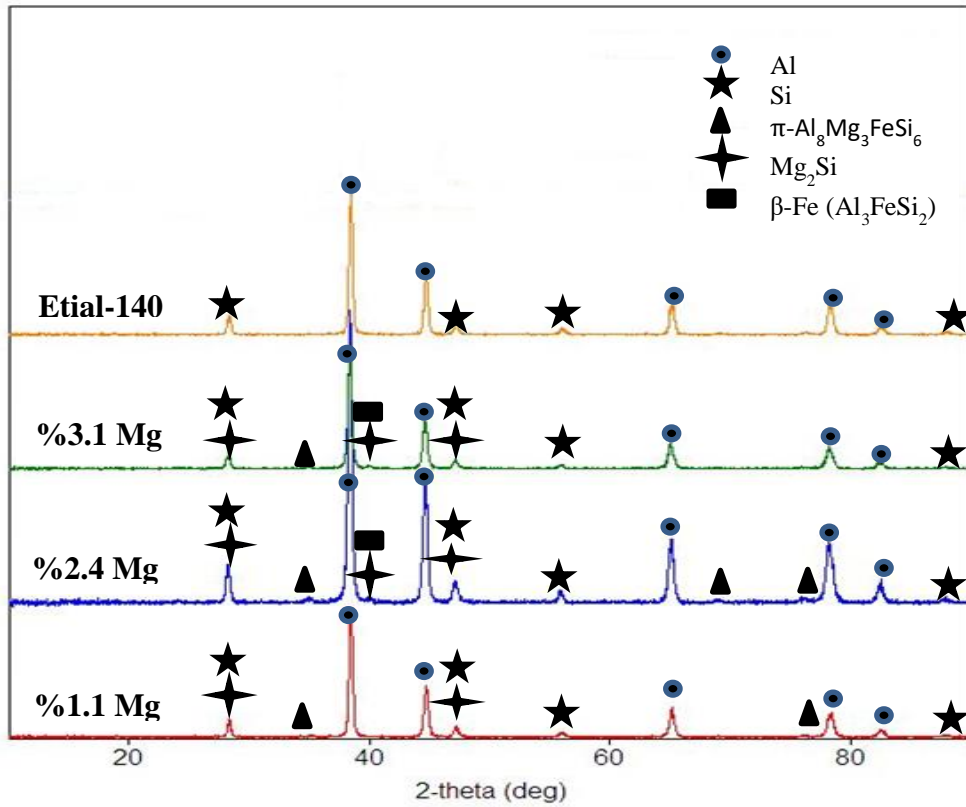


Şekil 4.8. %3,1 Mg içeriğine sahip ETİAL-140 alaşımının EDS analizi

EDS haritalama tekniği ile elementsel analizler neticesinde mikroyapıda ifade edilen yapılar burada da görülmektedir. Şekil 4.5’de Etial-140 alaşımının haritalama analizinde alüminyum matris içerisinde silisyumun yoğun olduğu bölgeler görülmektedir. Mikroyapıda magnezyum içeriğine rastlanmamıştır. Şekil 4.6-4.8’de Etial-140 alaşımına ilave edilen magnezyum alüminyum matris içerisinde silisyumla beraber segregasyon halinde bulunmaktadır. Liteartürde (Juan ve Jianmin, 2010) yapılan çalışmalarda da ifade edilen fazlar ve haritalama sonucu benzerlik göstermektedir.

4.2.3. XRD analizleri

Farklı alaşım gruplarından elde edilen numunelere ait XRD analizleri yapılarak Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında gözlemlenen fazların XRD analiz sonucuna göre Alüminyum matris içerisinde, ötektik Si, π - $\text{Al}_8\text{Mg}_3\text{FeSi}_6$, Mg_2Si ve β -Fe (Al_3FeSi_2) fazlarıdır.



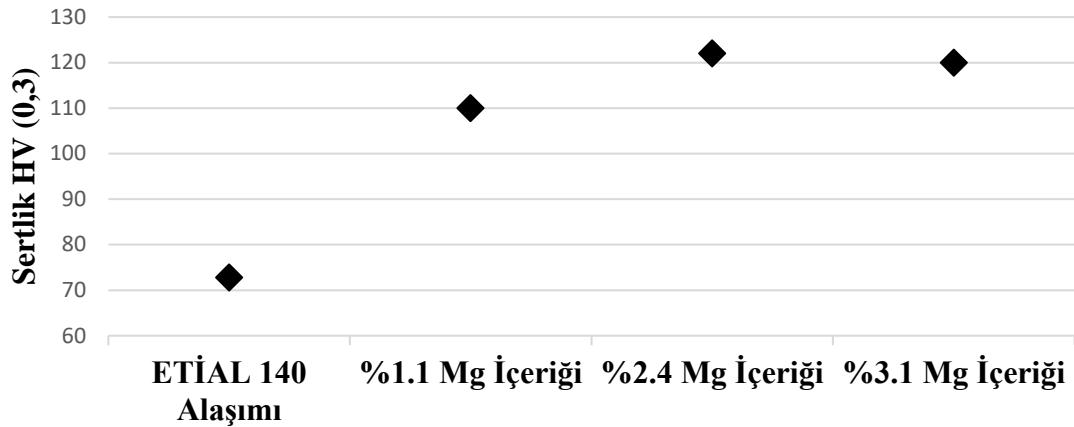
Şekil 4.9. Alaşımlara ait XRD analizleri

Elde edilen XRD pikleri literatürde Al-Si-Mg döküm alaşımı üzerine (Juan ve Jianmin, 2010) yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen piklerle benzerlik göstermektedir.

4.3. Mekanik özelliklerin incelenmesi

Farklı oranlarda magnezyum içeren ETİAL-140 alaşımının mekanik özellikleri sertlik, çekme testi ve darbe testi ile ölçülmüştür. Şekil 4.10'da magnezyum ilavesiyle parçaların değişen sertlikleri gösterilmiştir. Magnezyum ilavesi ile Etial-140 alaşımının sertliği artmıştır ancak magnezyum miktarının devam eden artışı ile sertlikte fark edilebilir bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Microvickers Sertlik Değişimi

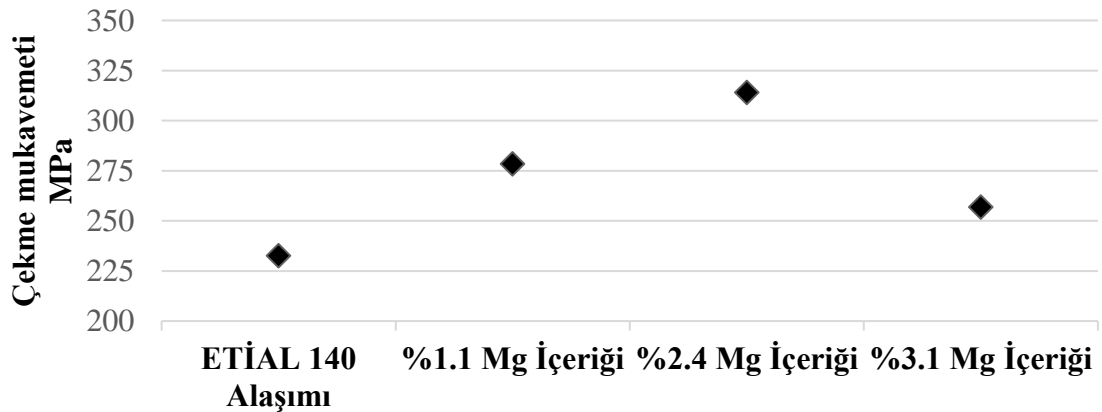


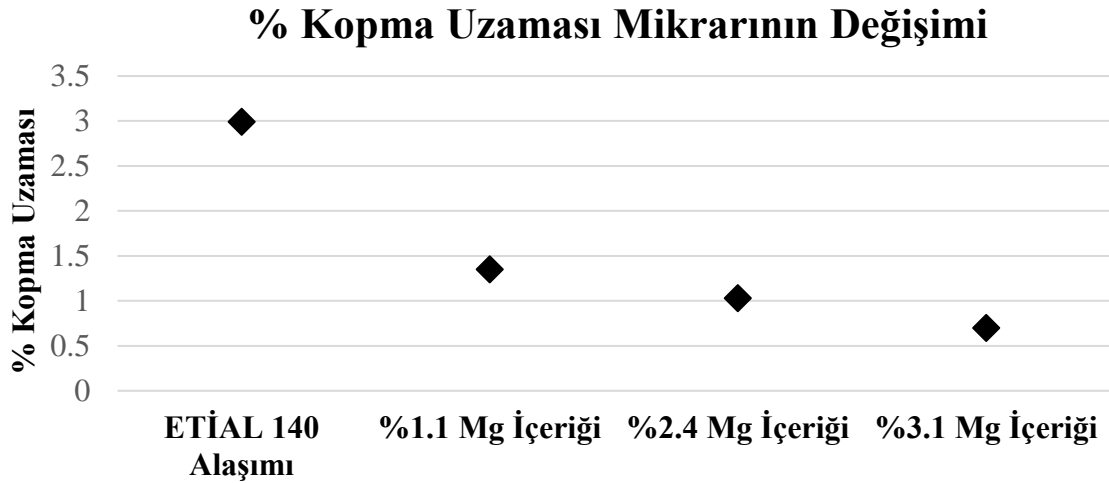
Şekil 4.10. Magnezyum ilavesiyle birlikte değişen mikrovickers sertlik değerleri

Elde edilen verilerden görüldüğü gibi magnezyum ilavesiyle birlikte sertlikte artış görülmüştür. Bunun sebebi olarak mikroyapıda görülen ikincil fazların oluşumudur. Oluşan bu fazlar sert ve kırılğan bir karakteristiğe sahip olup alaşımların sertlik değerlerini arttırıcı etki göstermiştir. Literatürdeki çalışmalarla (Ma ve ark., 2010), (Elmadagli ve ark., 2007) ve (Rana ve Purohit, 2012) uyumluluk göstermektedir.

Farklı kimyasal bileşene sahip alaşımlara çekme testi uygulanmış olup aradaki farklılıklar incelenmiştir. Oluşan çekme mukavemeti ve boyca % uzama sonuçları Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

Çekme Mukavemeti Değişimi



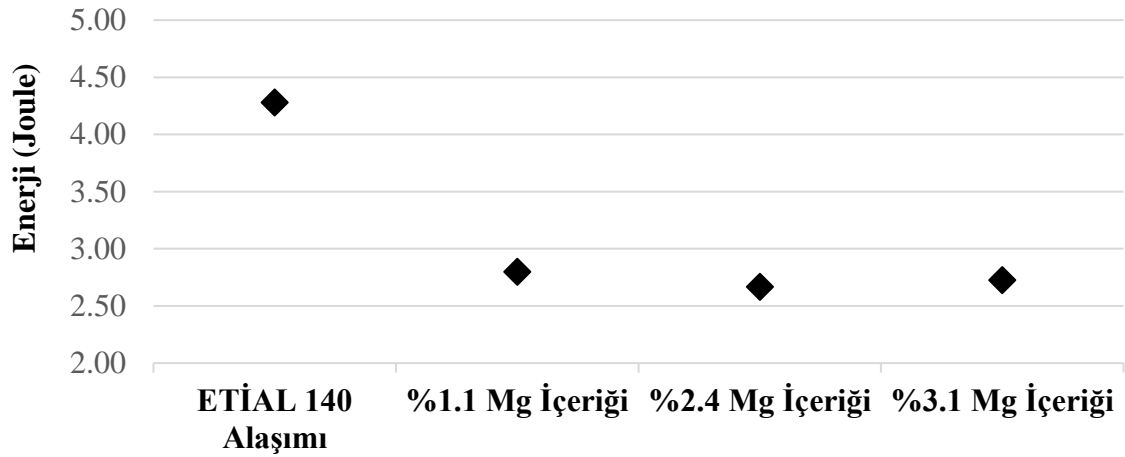


b

Şekil 4.11. Magnezyum ilavesine göre değişen; a) Çekme mukavemeti ve b) Kopma uzaması

Magnezyum ilavesi ile birlikte ETIAL-140 alaşımının çekme mukavemetinde artış gözlemlenmiş olup boyca uzama miktarında ise düşüş görülmektedir. Mg ilavesi ile birlikte yapıda oluşan ikincil fazlar dislokasyon hareketlerini engelleyerek mukavemet değerlerinde artış sağlamıştır. Alaşımların Mg artışı ile azalan sünekliğinde ise mikroyapıda oluşan iğne formundaki ikincil fazlar önemli rol almaktadır. Özellikle β -Fe fazı güçlü bir çatlak başlatıcı etkiye sahip olup sünekliği azaltmaktadır. Sadece ikincil fazların oranı ve tekil özellikleri değil aynı zamanda boyutları ve morfolojisi alaşımın mekanik özelliklerini değiştirmektedir. Ayrıca Şekil 4.12'de verilen darbe testi sonucunda bütün alaşım grupları gevrek olarak kırılmıştır. Ancak magnezyum ilavesi Etial-140 alaşımının çok daha düşük enerji absorbe etmesine neden olmuştur. Elde edilen bu sonuçlar yapılan farklı çalışmalar (Morin ve ark., 2016), (Hurtalová ve ark., 2013) ve (Casari ve ark., 2013) ile benzerlik göstermektedir. Etial-140 alaşımına göre magnezyum içeren alaşımların çekme testinde sünekliğin az ve darbe testinde daha düşük enerji absorbe etmesinin nedeni gevrek Mg_2Si ve yapıda bulunan demirce zengin β -Fe ve π fazlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Düşük darbe enerjisine sahip Mg içeren alaşımlarda çatlak başlatma ve yayılımında β -Fe etkin rol almaktadır. Kırılma büyümesi esasen Si parçacıklarının ve sivri uçlu β -Fe intermetaliklerinin, plastik deformasyon ile iç streslerinin oluşması sonucu kırılmasını içerir.

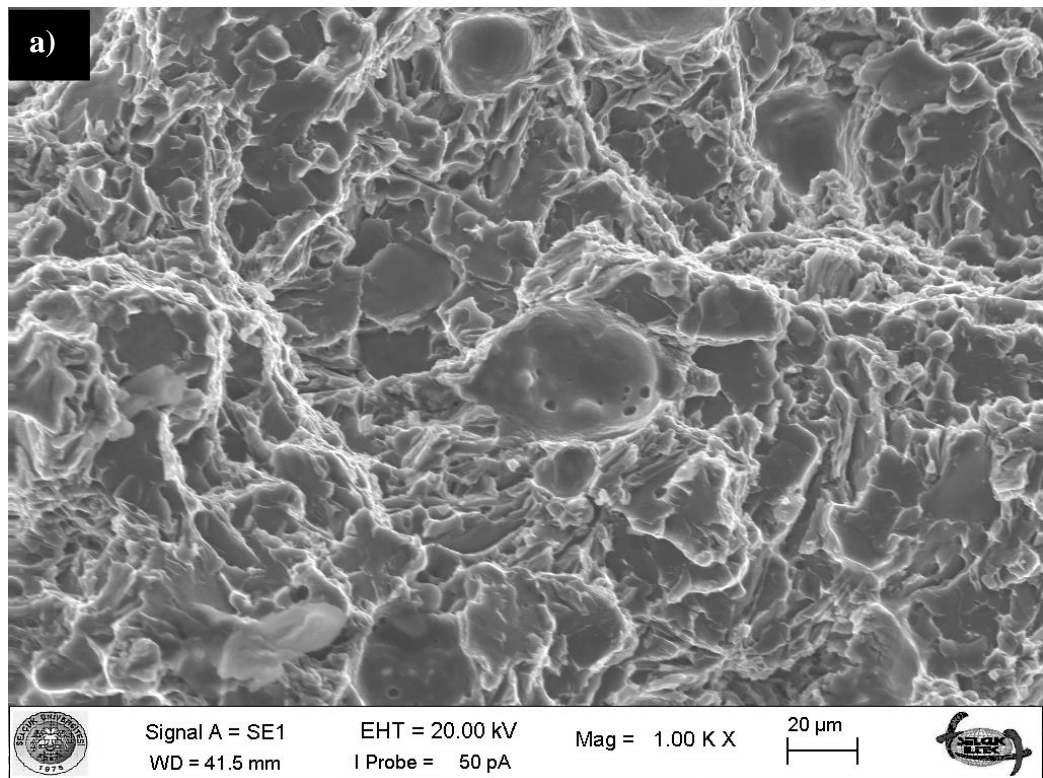
Çentik Darbe Testi Sonuçları

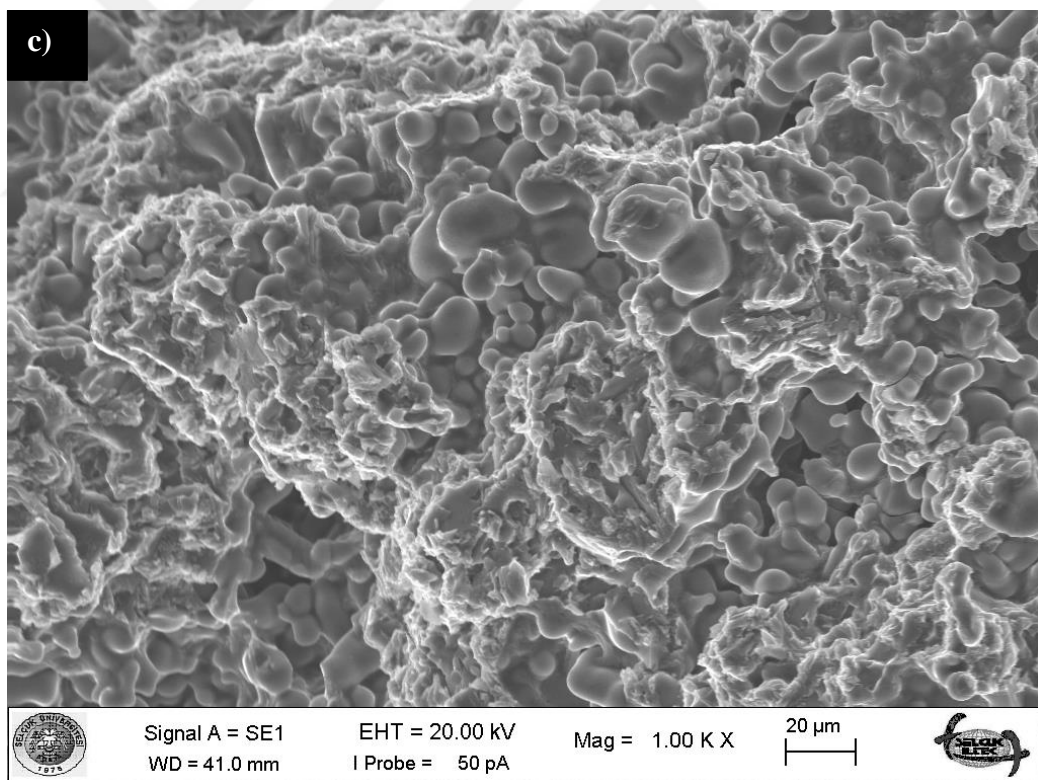
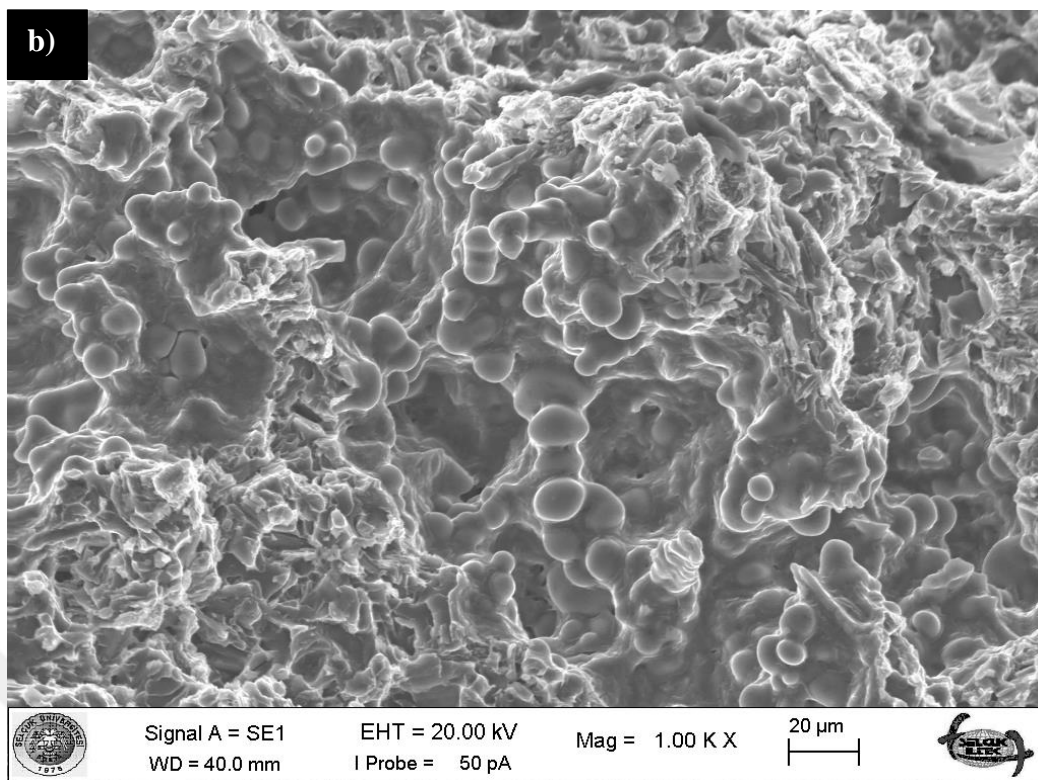


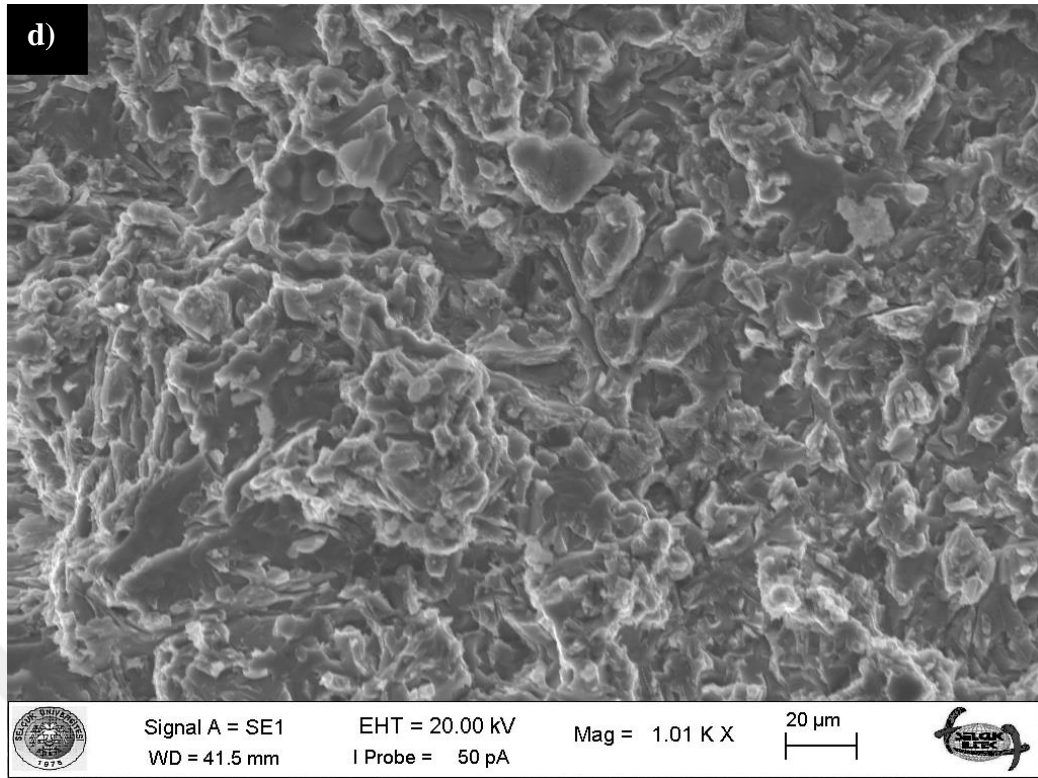
Şekil 4.12. Magnezyum ilavesine göre değişen kırılma enerjisi

4.3.1. Kırık yüzeylerin SEM incelemeleri

Farklı alaşımlardan elde edilen darbe numuneleri test edilmiştir. Test sonrası kırık yüzey görüntüleri incelenmiş olup Şekil 4.13'de gösterilmiştir.







Şekil 4.13. Darbe testi sonrası elde edilen yüzeylere ait SEM görüntüleri; a) ETİAL-140 alaşımı, b) %1,1 Mg ilave edilmiş ETİAL-140 alaşımı, c) %2,4 Mg ilave edilmiş ETİAL-140 alaşımı ve d) %3,1 Mg ilave edilmiş ETİAL-140 alaşımı

Mekanik testler ve kırık yüzey incelemeleri sonucunda ETİAL-140 alaşımının genel kırılma karakteristiği de gevrek bir davranış sergilerken alaşıma ilave edilen magnezyum ile birlikte yapıda oluşan ikincil fazların gevrek kırılmaların oluşumunu hızlandırdığı gözlemlenmiştir. Yapıda bulunan α -alüminyum sünek kırılma karakteristiği gösterirken Mg ilavesi ile oluşan intermetalikler gevrek kırılmaya yön vermektedir. Özellikle iğne uçlu ikincil fazlar çatlak başlamasında ve ilerlemesinde önemli rol oynamaktadır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki (Casari ve ark., 2013), (Ma ve ark., 2016) kırık yüzey çalışmalarıyla uyumludur.

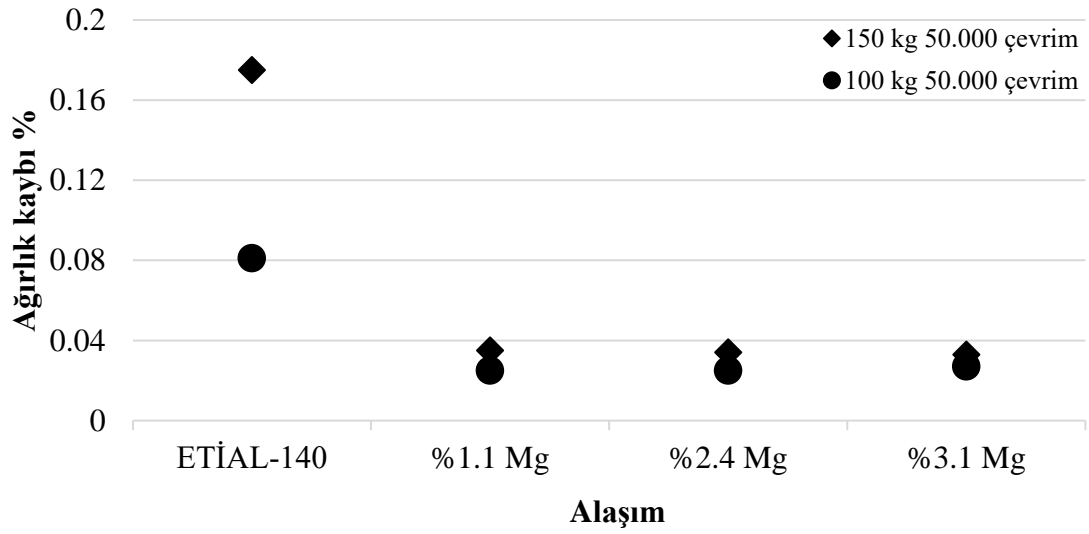
4.4. Aşınma performansı

Farklı alaşımlara ait numunelerin aşınma performansını test etmek için iki farklı aşınma testi uygulanmıştır. Bunlardan ilki kompresör silindir kapaklarında servis koşullarının yansıtıldığı aşınma simülatörüdür. Bu testte alaşımlara kuru ortamda 100 ve 150 kg kuvvet kuvvet uygulanmıştır. Uygulanan test parametreleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı alaşımlara ait aşınma test parametreleri ve sonuçları

Alaşım	%3.1 Mg	%2.4 Mg	%1.1 Mg	Etial-140 (AlSi12)
Test değerleri	50.000 çevrim, 100 kg	50.000 çevrim, 100 kg	50.000 çevrim, 100 kg	50.000 çevrim, 100 kg
Yüzey pürüzlülüğü	Ra:0.76	Ra:0.74	Ra:0.57	Ra:0.56
İlk ağırlık	48.287	48.539	27.729	33.467
Son ağırlık	48.274	48.527	27.722	33.440
Test sonrası yüzey pürüzlülük	Ra: 0.72	Ra:0.68	Ra: 0.71	Ra:0.40
Test değerleri	50.000 çevrim, 150 kg	50.000 çevrim, 150 kg	50.000 çevrim, 150 kg	50.000 çevrim, 150 kg
Yüzey pürüzlülüğü	Ra:0.72	Ra:0.40	Ra:0.74	Ra:0.71
İlk ağırlık	48.135	48.327	26.519	33.069
Son ağırlık	48.119	48.310	26.510	33.011
Test sonrası yüzey pürüzlülük	Ra:0.79	Ra:0.54	Ra:0.62	Ra:0.52
% Ağırlık değişimi (100 kg)	0.027	0.025	0.025	0.081
% Ağırlık değişimi (150 kg)	0.033	0.035	0.034	0.175

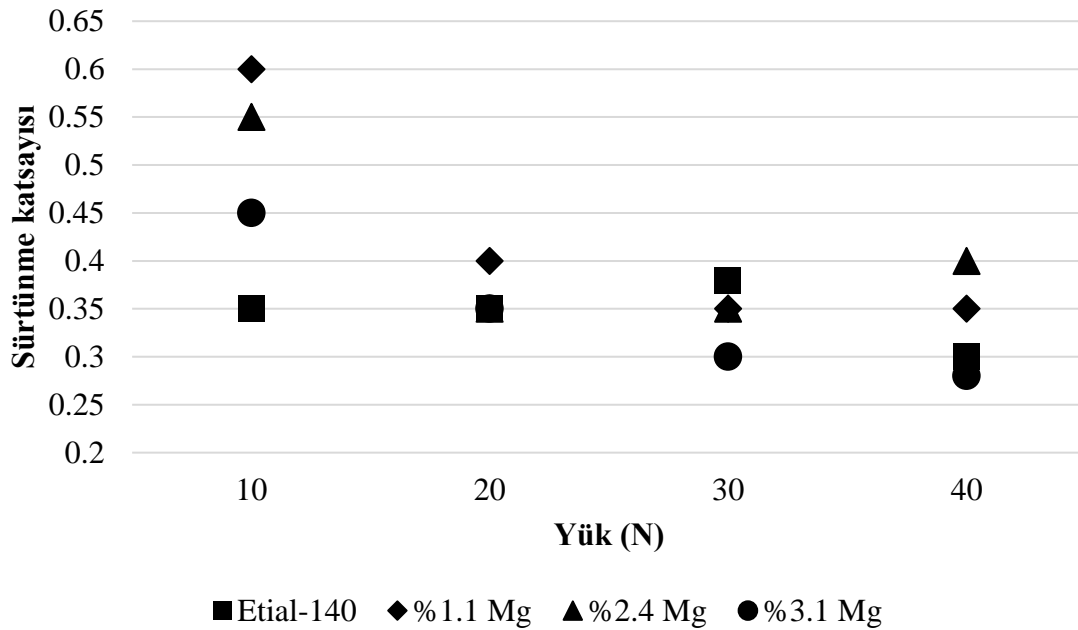
Alaşımların test simülatöründe 100 ve 150 kg yük altında, 50.000 çevrim sonucunda elde edilen aşınma performans değerleri Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Alaşımların aşınma testi sonucunda ağırlık değişimleri

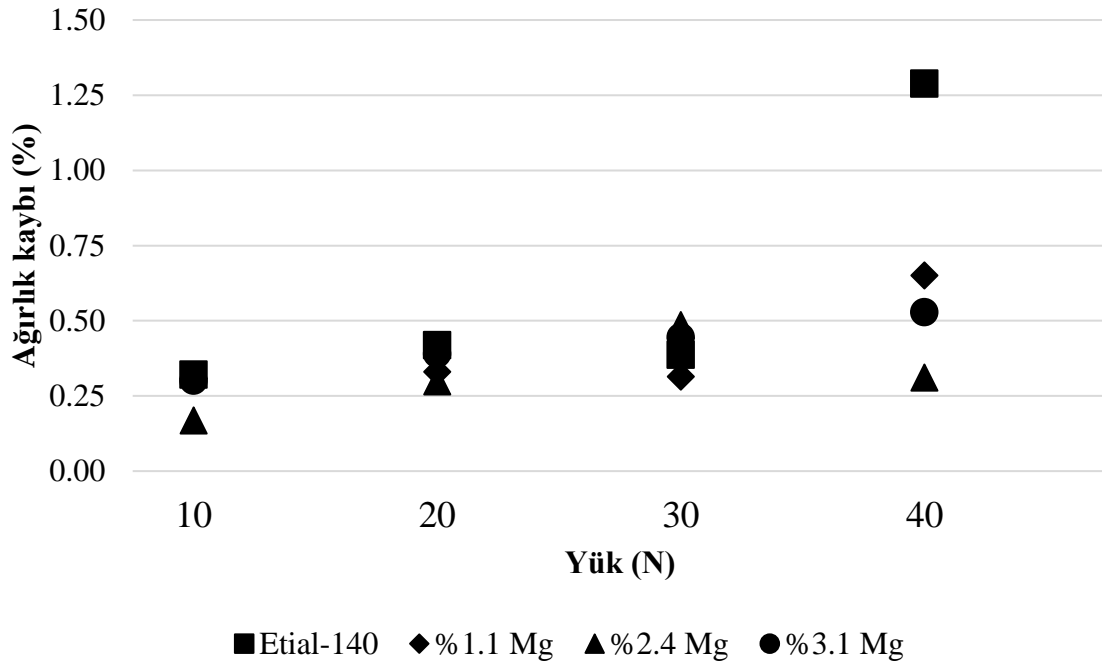
Çizelge 4.2 ve Şekil 4.14’de görüldüğü gibi, aşınma performansı testi sonuçlarına göre Etial-140 alaşımına %1 oranlarında Mg ilavesi aşınma performansını iyileştirmiştir. Grafik ve şekilden ayrıca farklı oranlardaki Mg içeriklerinin, hem 100 hem de 150 kg’lık yüklerde, aşınma direncine çok fazla etki etmediği görülebilir. Ancak Etial-140 alaşımında yükün artmasıyla beraber ağırlık kaybında büyük bir artış görülmüştür.

Çalışma kapsamında üretilen alaşımların aşınma direncinin incelendiği bir diğer test ise pin on disk testi olmuştur. 4 farklı alaşıma 10N, 20N, 30N ve 40N yükler uygulanarak alaşımların sürtünme katsayıları ve ağırlık kayıpları çıkartılmıştır. Elde edilen bu değerler sırasıyla Şekil 4.15 ve 4.16’da gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Alaşımların farklı yük altındaki sürtünme katsayılarının değişimi

Sürtünme katsayısının Mg içeriğine ve uygulanan yüke bağlı olarak değişimini veren Şekil 4.15’de görüldüğü gibi, Etial-140 alaşımında yükün artmasıyla sürtünme katsayısı çok fazla değişmemiştir. Ancak Mg ilave edilmiş alaşımlarda düşük yüklerde yüksek sürtünme katsayısı gözlenirken yük artışıyla sürtünme katsayısı benzerlik sergilemiştir. Sürtünme katsayılarında ilk etapta keskin bir artış gözlemlenir. Bu artış yüzeyin ilk temas noktasından sonra dengelenir. Kayma mesafesinin artması metalin aşınmasına ve kaybolmasına yol açmaktadır. İlk sürtünme süresi yüzeyi temizler ve pürüzsüz yüzey katmanlarını kırar ve bağlantıların kuvvetini ve yüzeyler arasındaki teması artırır. Sürtünme kuvvetinin artışı yüzeyler arasındaki sıcaklığı da artırır. Bu etki, yapışma ile sonuçlanır ve yüzey katmanlarındaki deformasyonu artırır ve metalin daha fazla aşınmasına yol açar. Yüzey sıcaklığında artış çinkıntılarının kademeli olarak düzleşmesine yol açar, böylece kayma kuvvetini azaltır, sürtünme katsayısını düşürür. Normal yük arttıkça, temas yüzeyinde sürtünme ısısı meydana gelir, dolayısıyla malzemelerin dayanımında azalma olur. Metal sertliğini arttırmak kayma esnasında daha az plastik deformasyona neden olabilir (Kaiser, 2016), (Al-Samarai ve ark., 2012).

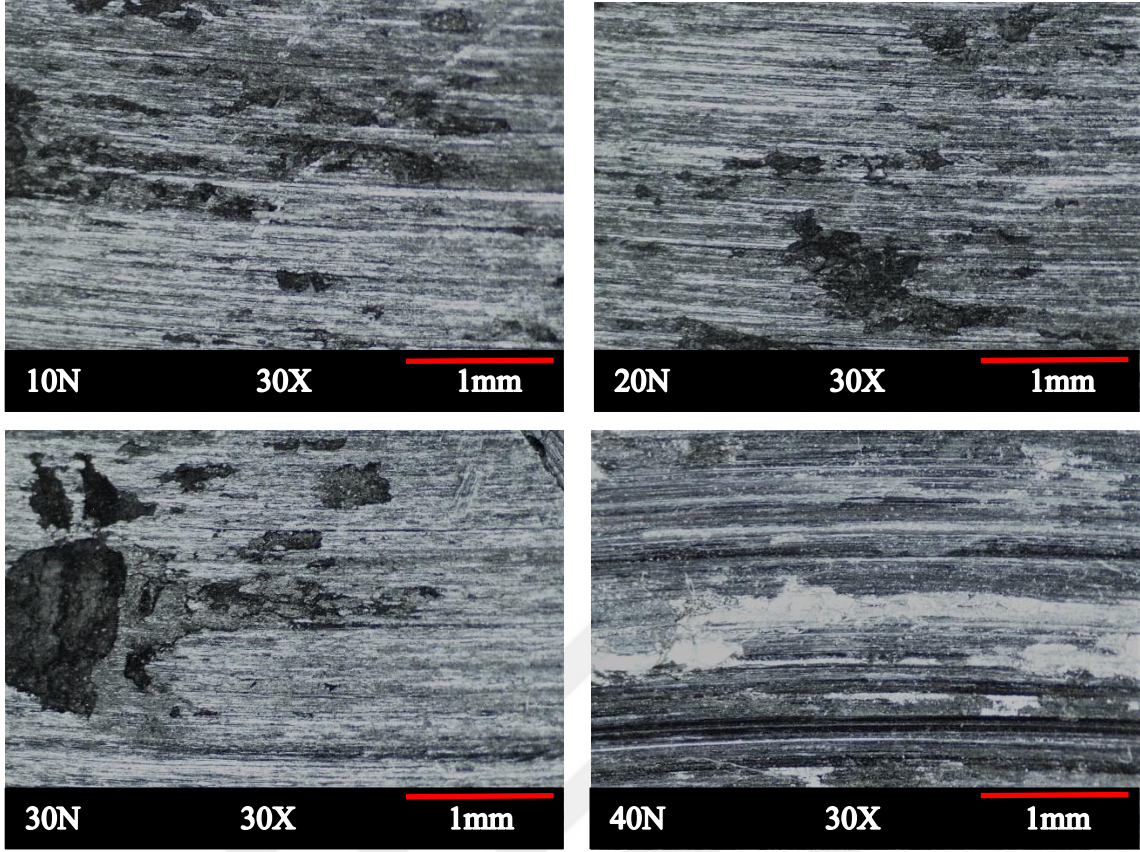


Şekil 4.16. Alaşımların farklı yük altındaki ağırlık değişimi

Pin on disk testinde farklı yükler altında yapılan testler sonucunda yük artışıyla beraber alaşımların ağırlık kaybında artış görülmüştür. Bununla beraber hemen hemen tüm yüklerde en fazla ağırlık kaybı Etial-140 alaşımında görülmüş olup maksimum kuvvet altında bu fark daha da belirginleşmiştir. Magnezyum içeriğine bağlı olarak Al-Si alaşımlarının aşınma direnci artmaktadır. Aşınma direncindeki bu artış, dayanımı ve sertliği arttıran Mg_2Si partüküllerinden kaynaklanmaktadır. Ötektik ve ötektik üstü alaşımlarda silisyum parçacıkları da aşınma direncini arttırmaktadır. Ayrıca alaşımlara ilave edilen bakır ve magnezyum gibi elementlerle alüminyum matris içerisinde oluşan intermetalikler de sert yapılar olmaları sebebiyle aşınma direncini arttırmaktadır (Sun ve Ahlatcı, 2011), (Granger ve ark., 2013).

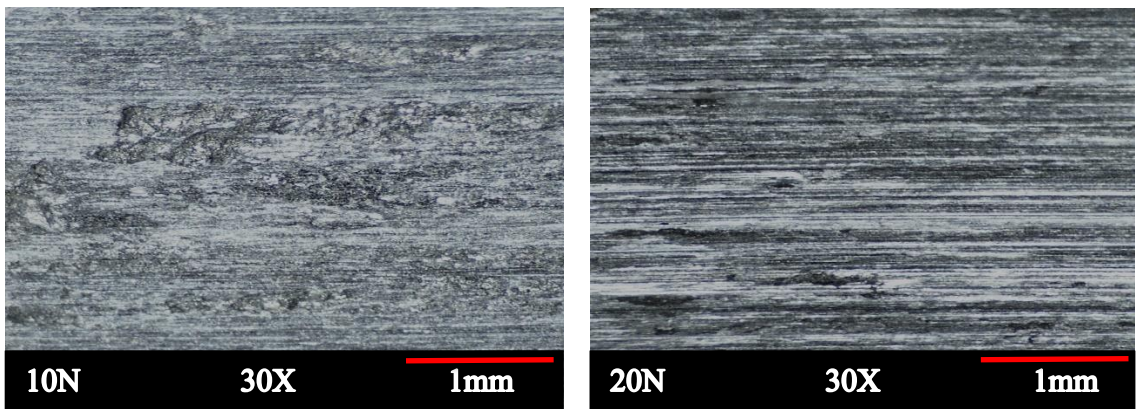
4.4.1. Aşınma yüzeyleri incelemeleri

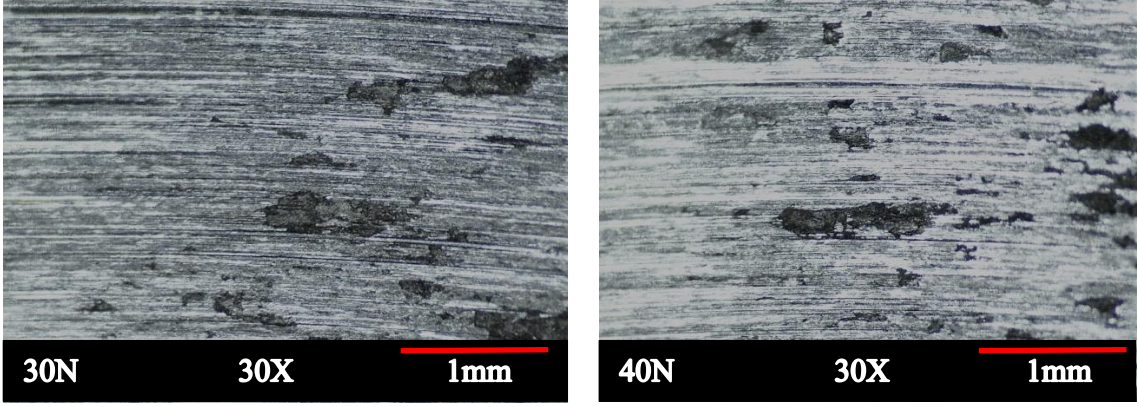
Alaşımların pin on disk test cihazında farklı yükler altında yapılan aşınma testleri sonucunda elde edilen yüzeylerin stereo mikroskop görüntülerinin incelemeleri Şekil 4.17-4.20'de gösterilmiştir. Alüminyum-silisyum alaşımlarının endüstriyel uygulamalarında yaygın olarak abrasif ve kayma aşınması mekanizmaları görülmektedir. Kayma aşınması, adhesive aşınmanın oluşmasına neden olur (Granger ve ark., 2013).



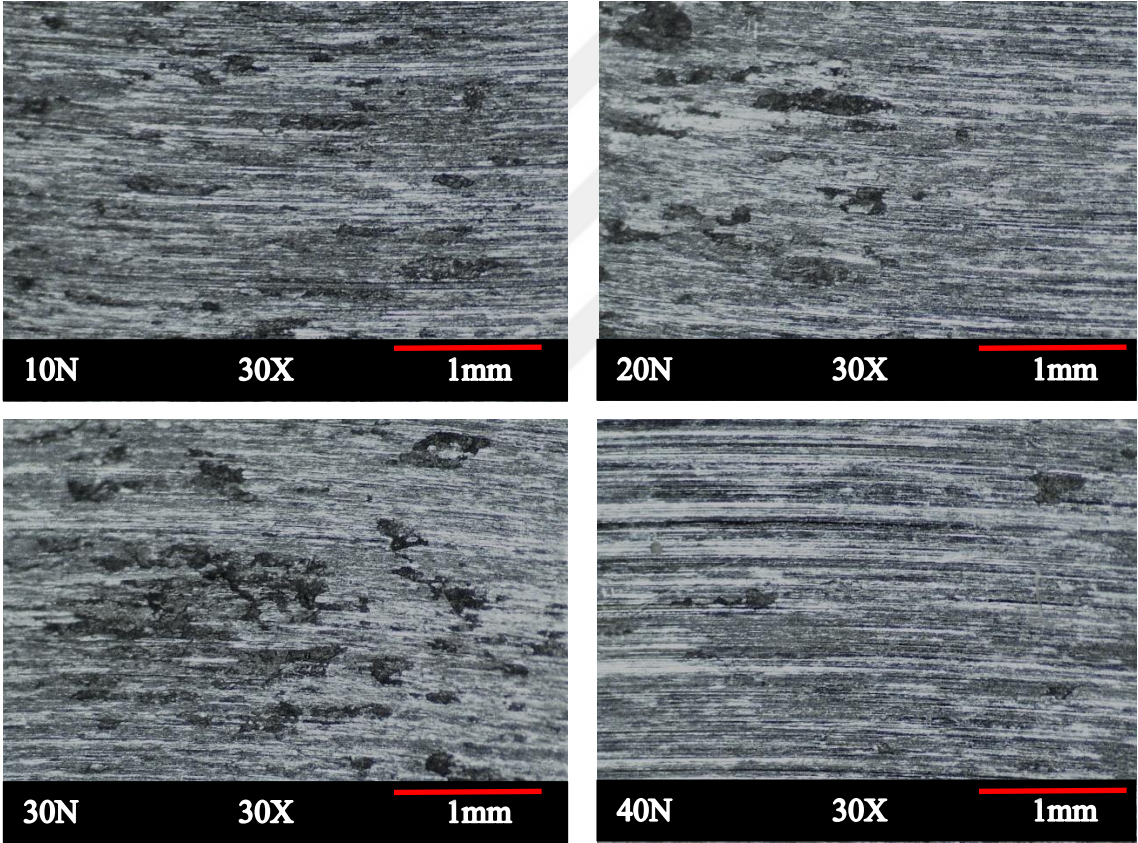
Şekil 4.17. ETİAL-140 alaşımının 10N, 20N, 30N ve 40N yük altındaki aşınan yüzeylerin stereo mikroskop görüntüleri

Şekil4.17’de görüldüğü gibi farklı yükler altında yapılan aşınma deneyi sonucunda elde edilen yüzeylerde parça kopmaları şeklinde boşluklar gözlenirken yükün artmasıyla beraber oyuk şeklinde çizgilerle aşınma gerçekleşmiştir.

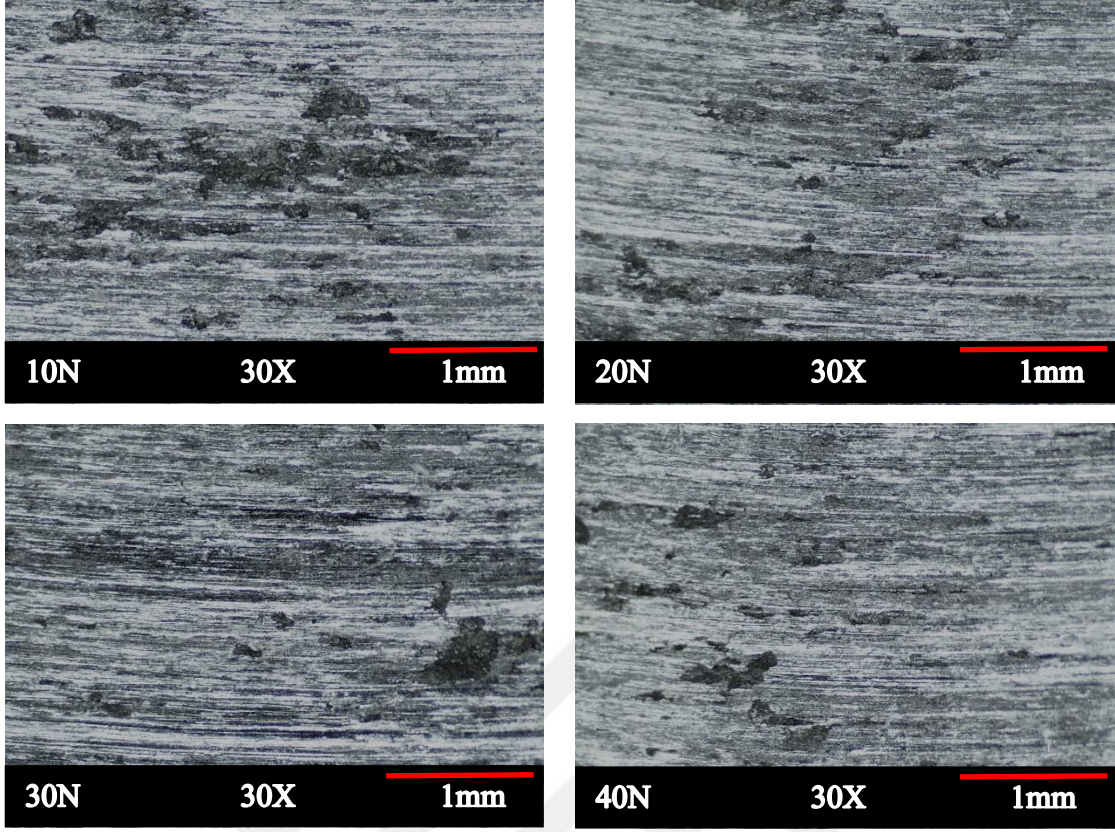




Şekil 4.18. %1,1 Mg ilave edilmiş alaşımanın 10N, 20N, 30N ve 40N yük altındaki aşınan yüzeylerin stereo mikroskop görüntüleri



Şekil 4.19. % 2,4 Mg ilave edilmiş alaşımanın 10N, 20N, 30N ve 40N yük altındaki aşınan yüzeylerin stereo mikroskop görüntüleri



Şekil 4.20. % 3,1 Mg ilave edilmiş alaşımın 10N, 20N, 30N ve 40N yük altındaki aşınan yüzeylerin stereo mikroskop görüntüleri

Şekil 4.18-4.20’de verilen aşınma yüzeylerinin stereo mikroskop görüntülerinde Mg içeren bütün alaşımlarda düşük yüklerde hem abrasiv hemde adhesiv aşınma belirtisi olan sırasıyla ince oyuklanmalar ve tabaka kalkması görülmüştür. 40N’luk yüklerde yapılan aşınma deneylerinde bütün alaşım grupları için yüzeyden kalkan tabaka boyutunun ve miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Aşınma yüzeylerindeki uzun oyuklanmalar sert partiküllerin yumuşak yüzeye batmasından kaynaklanmaktadır. Tabaka kalkması aşırı plastik deformasyondan kaynaklanmakta olup adhesiv aşınmanın göstergesidir (Xavier ve Suresh, 2016). Farklı Mg içeriğine sahip alaşımların aşınma yüzeyleri karşılaştırıldığında, Mg içeriğinin artışına bağlı olarak özellikle yüksek yüklerde oluşan oyuklanmaların derinliğinin azaldığı görülmüştür.

Alaşımlara magnezyum ilavesinin yoğunluk değişimlerini incelemek için ölçümler yapılarak Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Yapılan yoğunluk ölçümleri neticesinde artan magnezyum miktarı ile birlikte yoğunluk değerlerinde kademeli düşüşler görülmüştür.

Çizelge 4.3. Farklı kimyasal bileşene sahip alaşımların yoğunluk ölçümleri

	Kuru Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Yoğunluk (gr/cm³)
ETİAL-140	6.214	3.851	2.630
%1.1 Mg katkılı ETİAL-140	5.111	3.161	2.621
%2.4 Mg katkılı ETİAL-140	5.431	3.352	2.612
%3.1 Mg katkılı ETİAL-140	4.979	3.057	2.591

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ağır vasıtalarda kullanılan havalı fren kompresörlerinin silindir kapaklarında meydana gelen aşınma performansını iyileştirmek amacıyla Etial-140 (AlSi12) alaşımına farklı oranlarda magnezyum ilavesinin mikroyapı, mekanik özellikler ve aşınma performansına olan etkisi incelenmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Optimum döküm kalitesinde ürün elde edebilmek için döküm simülasyonlarını tasarım aşamasında kullanmak hem kalıp revizyonlarını azaltacak hem de farklı kalıp tasarımlarını deneyerek zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacaktır. Bununla birlikte üretim parametreleri ve simülasyon parametrelerinde aynı koşulların sağlanması büyük önem arz etmektedir. Simülasyon çalışmaları ile döküm sonrası elde edilen numuneler aynı özellikleri göstermiştir.
2. ETİAL-140 alaşımına magnezyum ilavesiyle birlikte mikroyapıda ikincil fazlar oluşmuştur. Oluşan bu fazların Mg_2Si , β -Fe ve π $-(Al_8Mg_3FeSi_6)$ olduğu XRD ve SEM –EDS element analizinden belirlenmiştir.
3. Mekanik testler kıyaslandığında alaşıma ilave edilen magnezyumun çekme mukavemetini arttırmış olup süneklikte azalma meydana gelmiştir. Çekme mukavemeti 232 MPa değerinden 314 MPa değerine kadar artış sağlamış olup buradaki en iyi sonuç % 2,4 Mg içeriğine sahip alaşıma aittir. Buna bağlı olarak çentik darbe testi kırılma enerjilerinde düşüş görülmüştür.
4. Elde edilen ikincil fazlar sertlik artışını doğrudan arttırıcı etkiye sahip olmuştur. Sertlikteki değişim magnezyum miktarının artışı ile birlikte yaklaşık 73 HV değerinden 122 HV değerine ulaşmıştır.
5. Aşınma simülatöründe yapılan 100 ve 150 kg'lık testlerde magnezyum ilavesinin aşınma performansını olumlu etkilediği görülmüştür. Mg katkılı alaşımlar ETİAL-140 alaşımına göre yaklaşık 3 kat performans artışı sağlamıştır.

6. Pin on disk aşınma testi sonucunda aşınma direncinin düşük olduğu görülen Etial-140 alaşımına Mg ilavesi ile alaşımların aşınma performansları farkedilebilir şekilde iyileştirilmiştir.
7. Aşınma yüzeyleri incelendiğinde, tüm alaşımlar hem abrasiv hem de adhesiv aşınma karakteristiği sergilemiştir. Yük artışıyla beraber abrasiv aşınma karakteristiği olan oyuklanmaların derinliği artmıştır.



KAYNAKLAR

- Ak, M., 2012, AA206 Alüminyum döküm alaşımında empürite demirin mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3.
- Al-Samarai, R. A., Haftirman, K. R. A. ve Al-Douri, Y., 2012, Effect of load and sliding speed on wear and friction of aluminum–Silicon casting alloy, *International J. of Scientific and Research Publications*, 2 (3), 1-4.
- Anonymous, 2002, The aluminium automotive manual, *European Aluminium Association*.
- Anonymous, 2012, Aluminium in cars unlocking the light-weighting potential, *European Aluminium Association*, 5-10.
- Başaranel, M., Saklakoğlu, N. ve İrizalp, S. G., 2013, ETİAL 180 alüminyum alaşımına ilave edilen Mg ve Sn elementlerinin intermetalik fazlara etkisi, *Celal Bayar University Journal of Science*, 9 (2).
- Biol, Y. ve Biol, F., 2007, Wear Properties of Thixoformed and High Pressure Die Cast Aluminium Alloys for Connecting Rod Applications in Compressors, *10th ESAFORM Conference on Material Forming*, 1167-1172.
- Biol, Y. ve Biol, F., 2008, Wear properties of high-pressure die cast and thixoformed aluminium alloys for connecting rod applications in compressors, *Wear*, 265 (5-6), 590-597.
- Bozkurt, U., 2003, Mechanical properties and microstructure evolution of thixoformed aluminium alloys, *Istanbul Technical University B.S. in M.E.*, İstanbul, 3-16.
- Casari, D., Fortini, A. ve Merlin, M., 2013, Fracture behaviour of grain refined A356 cast aluminium alloy: tensile and Charpy impact specimens, *CONVEGNO IGF XXII ROMA 2013*.
- Demirel, Ç., 2013, AISI 8640 ve GS 60 çelik malzemelerin abrasif aşınma ve korozyon davranışına borlama işleminin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Dey, S. K., Perry, T. A. ve Alpas, A. T., 2009, Micromechanisms of low load wear in an Al–18.5% Si alloy, *Wear*, 267 (1-4), 515-524.
- Diaofeng Li, Chunxiang Cui, Xin Wang, Qingzhou Wang, Cheng Chen ve Liu, S., 2016, Microstructure evolution and enhanced mechanical properties of eutectic Al–Si die cast alloy by combined alloying Mg and La, *Materials & Design*, 90, 820-828.
- Elmadagli, M., Perry, T. ve Alpas, A. T., 2007, A parametric study of the relationship between microstructure and wear resistance of Al–Si alloys, *Wear*, 262 (1-2), 79-92.
- Esgandari, B. A., Nami, B., Shahmiri, M. ve Abedi, A., 2013, Effect of Mg and semi solid processing on microstructure and impression creep properties of A356 alloy, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23(2013), 2518-2523.
- Fabrizi, A., Ferraro, S. ve Timelli, G., 2013, The influence of Sr, Mg and Cu addition on the microstructural properties of a secondary AlSi9Cu3(Fe) die casting alloy, *Materials Characterization*, 85, 13-25.
- Granger, D. A., Shabel, B. S. ve Truckner, W. G., 2013, Friction and Wear of Aluminum-Silicon Alloy.
- Guofa, M., Xiangyu, L., Kuangfei, W. ve Hengzhi, F., 2009, Numerical simulation of low pressure die-casting aluminum wheel, *China Foundry*, Vol.6 No.1, 48-52.
- H. Yamagataa, W. Kasprzak, M. Aniolekb, H. Kuritaa ve Sokolowski, J. H., 2008, The effect of average cooling rates on the microstructure of the Al–20% Si high pressure

- die casting alloy used for monolithic cylinder blocks, *Journal of Materials Processing Technology*, 203 (1-3), 333-341.
- Hekmat-Ardakan, A., Liu, X., Ajersch, F. ve Chen, X. G., 2010, Wear behaviour of hypereutectic Al-Si-Cu-Mg casting alloys with variable Mg contents, *Wear*, 269 (9-10), 684-692.
- Hurtalová, L., Tillová, E. ve Chalupová, M., 2013, Effect of heat treatment on fracture surfaces in recycled aluminium cast alloy, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 41 (2), 117.
- Ilgaz, O., 2014, Döküm, ekstrüzyon ve dövme işlemlerinin 6082 Al alaşımlı dövme süspansiyon parçalarında mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 8.
- Juan, Z. Y. X. Z. H. ve Jianmin, Z., 2010, Crystallographic Characteristic of Intermetallic Compounds in Al-Si-Mg Casting Alloys Using Electron Backscatter Diffraction, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 23 (3), 1.
- Kaiser, S., 2016, Effects of solution treatment on wear behaviour of Al-12Si-1Mg piston alloy containing trace Zr, *MAYFEB Journal of Materials Science*, 1.
- Kalkan, İ. H., 2016, Al-Si yüksek basınç döküm alaşımlarında Fe İntermetaliklerinin kalıp ömrüne etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul.
- Kırtay, S., 1997, Etial-24 ve Etial-44 alüminyum alaşımlarına yarı katı halde şekil verilmesi, mikroyapı ile mekanik özelliklerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Lasa, L. ve Rodriguez-Ibabe, J. M., 2003, Wear behaviour of eutectic and hypereutectic Al-Si-Cu-Mg casting alloys tested against a composite brake pad, *Materials Science and Engineering*, 363 (1-2), 193-202.
- Lee, S.-Y. ve Oh, S.-I., 2002, Thixoforming characteristics of thermo-mechanically treated AA 6061 alloy for suspension parts of electric vehicles, *Journal of Materials Processing Technology*, 130-131 (2002), 587-593.
- Ma, Z., Samuel, E., Mohamed, A. M. A., Samuel, A. M., Samuel, F. H. ve Doty, H. W., 2010, Influence of aging treatments and alloying additives on the hardness of Al-11Si-2.5Cu-Mg alloys, *Materials & Design*, 31 (8), 3791-3803.
- Ma, Z., Samuel, A. M., Doty, H. W. ve Samuel, F. H., 2016, On the Fractography of Impact-Tested Samples of Al-Si Alloys for Automotive Alloys, In: *Fracture Mechanics-Properties, Patterns and Behaviours*, Eds: InTech, p.
- Morin, S., Elgallad, E. M., Doty, H. W., Valtierra, S. ve Samuel, F. H., 2016, Effect of Mg Content and Heat Treatment on the Mechanical Properties of Low Pressure Die-Cast 380 Alloy, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, 1-12.
- Nowotnik, G., Sieniawski, J. ve Wierzbińska, M., 2007, Intermetallic phase particles in 6082 aluminum alloy, *Archives of Material Science and Engineering*, 28, 69-76.
- Özcömert, M., 2006, Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum, *İstanbul Ticaret Odası*, 3-7.
- Palta, A., Sun, Y. ve Ahlatcı, H., 2012, Effect of copper addition on wear and corrosion behaviours of Mg₂Si particle reinforced composites, *Materials & Design (1980-2015)*, 36, 451-458.
- Rana, R. ve Purohit, R., 2012, Effect of magnesium enhancement on mechanical property and wear behaviour of LM6 aluminium alloy, *International Journal of Scientific Engineering and Research*, 3 (7).
- Serçe, O., 2015, Yüksek Basıncılı Döküm Prosesinde Enjeksiyon Parametrelerine Bağlı Olarak Döküm Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Sun, Y. ve Ahlatcı, H., 2011, Mechanical and wear behaviors of Al-12Si-XMg composites reinforced with in situ mg₂si particules, *Materials & Design*, 2983-2987.

- Şirin, S., 2010, Kalın kesitli yüksek basınçlı dökümlerde döküm ve simülasyon parametrelerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Tillová, E., Chalupová, M. ve Hurtalová, L., 2012, Evolution of phases in a recycled Al-Si cast alloy during solution treatment, In: Scanning Electron Microscopy, Eds: InTech, p.
- Uğurlu, H. H., 2009, Titanyum İle Alüminyum-magnezyum-silisyum Alaşımlarının Yapı Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Ünlü, B., Köksal, N. ve Atik, E., 2003, Bakır Esaslı Bronz ve Pirinç Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması, *Dokuz Eylül Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi (Basımda)*.
- Varol, T., 2013, Aşınma Deneyi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 5.
- Vinarcik, E. J., 2002, High integrity die casting processes, John Wiley & Sons, p.
- Xavier, L. F. ve Suresh, P., 2016, Wear Behavior of Aluminium Metal Matrix Composite Prepared from Industrial Waste, *ScientificWorldJournal*, 2016, 6538345.
- Y. Sun, M. Baydoğan ve H.Çimenoglu, 1999, The effect of deformation before ageing on the wear resistance of an aluminium alloy, *Materials Letters*, 38, 221-226.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Samet AKSOY
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : Akşehir / 15.03.1988
Telefon : 0506 572 97 79
Faks :
e-mail : aksoysam@hotmail.com.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Akşehir Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi, Konya	2006
Üniversite	: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon	2011
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Konya	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011-2012	Hars Makina Otomotiv ve Döküm San. ve Tic. Ltd. Şti.	Dökümhane Mühendisi
2012-2014	Aydınlr Yedek Parça San. ve Tic. A.Ş.	Kalite Mühendisi
2015-	Yıldız Pul Otomotiv Motor Parçaları A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Alüminyum döküm ve dövme üretimi
 Pik ve Sfereo döküm
 Demir ve demir dışı alaşımların metalografisi
 Yüzey kaplama teknikleri

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Aksoy, S., Ünüvar, E. ve Acarer, M., AlSi12 Alaşımından Üretilen Kompresör Silindir Kapağında Abrasif Aşınma Davranışının İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 5(2017), 161-168.

Ayaz, M., Avcioglu O., Aksoy, S., Ahlatci, H., Acarer, M., Sun, Y., Turen, Y., Kara, İ. H., Aktasoglu, C. Ve Ozturk U. K., Assesment of the nitration process parameters to improve the wear resistance of DIN 1.2714 quality hot work tool steel, *International conferance on material science and technology in Cappadocia(IMSTEC'16)*, Nevşehir, 406-409.

