



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÖKÜM PRESİ İLE ELDE EDİLEN
MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Recep ARSLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI**

KIRŞEHİR/2019



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÖKÜM PRESİ İLE ELDE EDİLEN
MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Recep ARSLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİMDALI**

**DANIŞMAN
Doç.Dr. Levent URTEKİN**

KIRŞEHİR/2019

Bu çalışma 19.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İleri Teknolojiler Anabilim Dalı,
İleri Teknolojiler Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir

Tez Jürisi



Doç. Dr. Levent URTEKİN
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi



Prof. Dr. Ali Osman KURBAN
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi



Prof. Dr. Mehmet Duran TOKSARI
Erciyes Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Recep ARSLAN



ÖZET

Bu çalışmada, AZ91 Magnezyum alaşımı soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi ile üretilmiştir. ASTM çekme standartlarına uygun kalıplara döküm işlemi farklı parametreler (döküm sıcaklığı, kalıp içi basınç ve yolluk giriş hızı) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca geleneksel döküm yöntemi ile de test numuneleri üretilmiştir. Elde edilen numunelerin çekme testi, sertlik testi, aşınma testi ve mikro yapı analizleri yapılmıştır. Ayrıca basınçlı döküm yönteminde döküm işlem parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi belirlenmiştir Basınçlı döküm ve geleneksel döküm yöntemi ile üretilmiş numunelerin mekanik özellikleri kıyaslanmıştır.

İlk ve ikinci numune için 1000 bar ve üçüncü numune için 1200 bar kalıp içi basınç değeri seçilmiştir. Yolluk giriş hızı 30 m/s, 45 m/s ve 45 m/s olarak belirlenmiştir. Sırasıyla 680°C, 680°C ve 640 °C döküm sıcaklığı uygulanarak çekme test numuneleri üretilmiştir. Döküm sıcaklığı ve kalıp içi basıncın sabit kalması ve yolluk giriş hızınının 30 m/s den 45 m/s yükseltilmesi tane boyutunda irileşmeye ve mekanik özelliklerde (çekme dayanımı, sertlik değerleri ve aşınma direncinde) azalmaya sebep olmuştur. Döküm sıcaklığının 640 °C düşürülmesi ve kalıp içi basıncın 1200 Bar'a yükseltilmesi geleneksel döküm yöntemine yakın mukavemet değerleri elde edilmiştir. Aşınma testlerinde, basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş numunenin sertlik değerlerindeki artışla beraber sürtünme katsayısında azalmanın olduğu ve malzeme kaybının olmadığı gözlemlenmiştir. Geleneksel döküm yönteminde soğuma hızı, basınçlı döküm yöntemine göre yavaş olduğundan, basınçlı döküm yönteminde ince taneli yapı oluşması ile yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar, çizelgeler halinde deneysel bulgular bölümünde verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı döküm, AZ91 Magnezyum alaşımı, Mekanik özellikler

ABSTRACT

In this study, AZ91 Magnesium alloy is produced by cold chamber die casting machine. The casting process was carried out using different parameters (casting temperature, in-mold pressure and gating input speed). In addition, test samples were produced by conventional casting method. Tensile test, hardness test, abrasion test and microstructure analysis of samples were performed. In addition, the effect of casting process parameters on the mechanical properties was determined in the pressure casting method. The mechanical properties of the samples produced by pressure casting and traditional casting method were compared.

In-mold pressure values of 1000 bar for the first and second samples and 1200 bar for the third sample were selected. Runner entry speed is determined as 30 m / s, 45 m / s and 45 m / s. Tensile test specimens were produced by applying casting temperatures of 680 ° C, 680 ° C and 640 ° C respectively. The casting temperature and in-mold pressure remained constant and the runner entry speed increased from 30 m / s to 45 m / s, resulting in coarse grain size and reduced mechanical properties (tensile strength, hardness values and wear resistance). Decreasing the casting temperature by 640 ° C and increasing the in-mold pressure to 1200 Bar strength values were obtained close to the traditional casting method. In abrasion tests, it was observed that there was a decrease in friction coefficient and no loss of material with the increase of hardness values of the sample produced by pressure casting method. Since the cooling rate in the traditional casting method is slower than that of the pressure casting method, high mechanical properties are obtained by the formation of fine-grained structure in the pressure casting method. Experimental results are given in the experimental findings section.

Key Words: Die casting, AZ91 Magnesium alloy, Mechanical properties

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Levent URTEKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde bana destek olan Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Öğretim Elemanı Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ 'ye teşekkürlerimi sunarım.

Aşınma testi çalışmalarımnda bana yardımcı olan Osman Gazi Üniversitesi Öğretim Elemanı Dr. Öğretim Üyesi Ümit ER'e ve Eskişehir Teknik Üniversitesi Öğretim Elemanı Dr. Fatih BOZKURT'a teşekkürlerimi sunarım.

Sertlik testi, Çekme testi ve Mikro yapı çalışmalarımnda ÇEMAŞ Döküm San. A.Ş. laboratuvarlarında bana yardımını esirgemeyen Metalürji ve Malzeme Mühendisi Serkan KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım

Tüm eğitim hayatım boyunca bana maddi manevi desteğini esirgemeyen Babam Ahmet ARSLAN ve Annem Havva ARSLAN 'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tüm çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her anında beni destekleyen değerli eşim Betül'e ve kızım Zeynep'e teşekkürlerimi sunarım.

Recep ARSLAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ BİLDİRİMİ	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI VE BASINÇLI DÖKÜM	14
3.1.Magnezyum Elementi	14
3.1.1.Magnezyum Alaşimleri.....	16
3.1.2. AZ91 Magnezyum Alaşımı.....	17
3.2.Basınçlı Döküm	18
3.2.1.Basınçlı Döküm Yöntemleri.....	19
3.2.1.1. Pres (Basma) Döküm.....	19
3.2.1.2.Enjeksiyon (Püskürtme) Döküm.....	20
3.2.2.Basınçlı Döküm Makineleri.....	20
3.2.2.1.Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm Makineleri.....	21
3.2.2.1.1.Pistonlu Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm Makineleri.....	21
3.2.2.1.2.Havali Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm Makineleri.....	22
3.2.2.2.Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm Makineleri.....	23
3.2.3. Basınçlı Döküm Kalıpları.....	25
3.2.4. Magnezyum Alaşımının Basınçlı Dökümü.....	28
4.MATERYAL VE YÖNTEM	32
4.1.Giriş	32
4.1.1 Alaşım Malzemesinin Kimyasal Kompozisyonu.....	32
4.2.Deney Numunelerinin Hazırlanması	33
4.4. Metalografik İnceleme	34
4.4.1.Optik Mikroskopla Mikro yapı İncelenmesi.....	35
4.3.Mekanik Testler	35
4.3.1.Çekme Testi.....	35
4.3.2.Sertlik Testi.....	39

4.3.3.Aşınma Testi	40
4.3.3.1.Aşınma Test Parametreleri	40
5.DENEYSEL BULGULAR.....	42
5.2.Metalografik İnceleme.....	42
5.2.1.Optik Mikroskop Bulguları	42
5.1.Mekanik Testler İle İlgili Bulgular.....	48
5.1.1.Çekme Testi bulguları	48
5.1.2.Sertlik Testi bulguları.....	50
5.1.3.Aşınma Testi bulguları	51
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKÇA.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	74



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1 Saf Haldeki Magnezyum ve Alüminyum Elementlerinin Fiziksel Özellikleri (21)	15
Çizelge 3.2. Basınçlı Döküm Magnezyum Alaşımlarının Genel Özellikleri (32)	31
Çizelge 4.1. AZ91 Alaşımının Kimyasal Kompozisyonu (ESAN).....	33
Çizelge 4.2. Döküm İşlem Parametreleri	33
Çizelge 4 3. ASTM B557M – 2016 Standartlarına Göre Çekme Numunesi Ölçüleri	38
Çizelge 4 4. Aşınma Test Parametreleri.....	41
Çizelge 5.1. Numunelerin Tane Boyutu Ölçüleri.....	42
Çizelge 5.2. Numunelerin Çekme Testi Sonuçları	48
Çizelge 5.3. Numunelerin Çekme Testi Sonuçlarının Grafikselsel Gösterimi	50
Çizelge 5.4. Numunelerin Sertlik Testi Sonuçları.....	51
Çizelge 5.5. Numunelerin Aşınma Testi Sonuçları.....	56
Çizelge 5.6. 1 Numaralı numunenin EDS analizi.....	57
Çizelge 5.7. 2 Numaralı numunenin EDS analizi.....	60
Çizelge 5.8. 3 Numaralı numunenin EDS analizi.....	63
Çizelge 5.9. 4 Numaralı numunenin EDS analizi.....	66

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Mineral Haldeki Magnezyumun Külçe Olarak Eldesinin Gösterimi.....	2
Şekil 3.1. Magnezyum Alaşımlarından Üretilmiş Koltuk İskeleti (1)	16
Şekil 3.2. Külçe haldeki AZ91 Magnezyum Alaşımı	17
Şekil 3.3.Magnezyum Alaşımlarında Kodlama Yöntemi (25).....	17
Şekil 3.4.Sıcak Kamara tipi basınçlı döküm makinasının şematik gösterimi (4)	22
Şekil 3.5. Basınçlı hava ile çalışan makinenin şematik şekli (10)	23
Şekil 3.6. Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi (15).....	24
Şekil 3.7. Soğuk kamaralı makinede işlem döngüsü (12).....	25
Şekil 3.8. Basınçlı Döküm Kalıpları (16).....	26
Şekil 3.9.Basınçlı döküm kalıbı (5).....	27
Şekil 3.10. AZ91 Magnezyum Alaşımı İle Üretilmiş Döküm Parçaları a) Üst Yağ Kapağı b) Aktarma Parçası (29).....	29
Şekil 4.1. Metal Pres MP100 Basınçlı Döküm Makinesi.....	37
Şekil 4.2. Struers Numune Hazırlama Cihazı	38
Şekil 4.3. Nikon Eclipse MA 100 optik mikroskop	38
Şekil 4.4. Çekme Deneyinin Şematik Gösterimi (34).....	39
Şekil 4.5. Çekme Test Numunesi	40
Şekil 4.6. ASTM B557M – 2016 Standartlarında Çekme Test Numunesi	40
Şekil 4.7. Alşo Ktm 100 Çekme Test Cihazı	42
Şekil 4.8. Brinell Sertlik Deneyinin Prensipteki Şeması. (35)	42
Şekil 4.9. Emco Test Dur Vision 30, Mepro Sertlik Ölçme Cihazı	43
Şekil 4.10. CSM Marka Aşınma Test Cihazı	44
Şekil 4.11. Kalıplanmış Ve Parlatılmış Aşınma Deney Numuneleri	45
Şekil 5.1. Dislokasyonların Tane Sınırında Yığılmasının Şematik Gösterimi (34) ...	46
Şekil 5.2.Kaymanın Bir Taneden Komşu Bir Taneye Geçişinin Gösterimi (34).....	47
Şekil 5.3. 1 Numaralı Basınçlı Döküm Yöntemi İle Elde Edilen Numunenin Optik Mikroskop Görüntüsü (% α -Mg-Mg ₁₇ Al ₁₂ : 54,2-45,8).....	48
Şekil 5.4. 1 Numaralı Numunenin ASTM tane boyutu ölçümü ekran görüntüsü(X100 Büyütme)	48

Şekil 5.5. 2 Numaralı basınçlı döküm yöntemi ile elde edilen numunenin optik mikroskop görüntüsü (α -Mg-Mg ₁₇ Al ₁₂ : 60-40).....	49
Şekil 5.6. 2 Numaralı Numunenin ASTM tane boyutu ölçümü ekran görüntüsü(X100 Büyütme)	49
Şekil 5.7 3 Numaralı basınçlı döküm yöntemi ile elde edilen numunenin optik mikroskop görüntüsü (α -Mg-Mg ₁₇ Al ₁₂ : 63,6-36,4)	50
Şekil 5.8 3 Numaralı Numunenin ASTM Tane Boyutu Ölçümü Ekran Görüntüsü (X100 Büyütme)	50
Şekil 5.9. 4 Numaralı geleneksel döküm yöntemi ile elde edilen numunenin optik mikroskop görüntüsü (α -Mg-Mg ₁₇ Al ₁₂ : 23,9-76,1)	51
Şekil 5.10. 4 Numaralı Numunenin ASTM Tane Boyutu Ölçümü Ekran Görüntüsü(X100 Büyütme)	52
Şekil 5.11. AZ91D ve AZC1231 magnezyum alaşımlarının 2 N yük altındaki aşınma davranışları (37).....	56
Şekil 5.12. AZ91D ve AZC1231 magnezyum alaşımlarının 5 N yük altındaki aşınma davranışları (37).....	57
Şekil 5.13. AZ91D ve magnezyum alaşımlarının 10 N yük altındaki aşınma davranışları (37)	58
Şekil 5.14. Kaplama yapılmamış AZ91 alaşımının kuru kayma koşullarındaki sürtünme katsayısı grafiği (39).....	60
Şekil 5.15. Kaplama Yapılmamış AZ91 Alaşımına Ait Aşınma İzlerinin SEM Görüntüsü (38)	60
Şekil 5.16 1 Numaralı Numunenin EDS ve SEM Analizi	62
Şekil 5.17 1 Numaralı Numunenin SEM Görüntüleri	63
Şekil 5.18 1 Numaralı Parçanın 3 Boyutlu Aşınma Görüntüsü	64
Şekil 5.19 1 Numaralı Numunenin Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	64
Şekil 5.20 2 numaralı numunenin EDS ve SEM analizi	65
Şekil 5.21 2 Numaralı numunenin SEM görüntüleri.....	66
Şekil 5.22 2 numaralı numunenin 3 boyutlu aşınma görüntüsü.....	67
Şekil 5.23 2 Numaralı numunenin sürtünme katsayısı grafiği	67
Şekil 5.24 3 numaralı numunenin EDS ve SEM analizi	68
Şekil 5.25 3 numaralı numunenin SEM görüntüleri	69
Şekil 5.26 3 numaralı numunenin 3 boyutlu aşınma görüntüsü.....	70
Şekil 5.27 3 Numaralı Numunenin Sürtünme Katsayısı Grafiği.....	70

Şekil 5.28 4 numaralı numunenin EDS ve SEM analizi	71
Şekil 5.29 4 Numaralı Numunenin SEM Görüntüleri.....	72
Şekil 5.30 4 Numaralı Numunenin 3 Boyutlu Aşınma Görüntüsü.....	73
Şekil 5.31 4 Numaralı Numuneye Ait Sürtünme Katsayısının Mesafeye Göre Değişimi.....	73



SİMGELER VE KISALTMALAR

TSE	Türk Standartları Enstitüsü
Mg	Magnezyum
Sr	Stronsiyum
Cl	Klor
Al	Alüminyum
Sn	Kalay
SF ₆	Kükürt Hekzaflorür gazı
HFC	Hidroflorokarbon gazı
Ti	Titanyum
Zr	Zirkonyum
Fe	Demir
Pb	Kurşun
Cu	Bakır
Si	Silisyum
H13	Sıcak İş Takım Çeliği
SO ₂	Kükürt dioksit
ASTM	Amerika Malzeme Test Kurumu
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
CO ₂	Karbondioksit

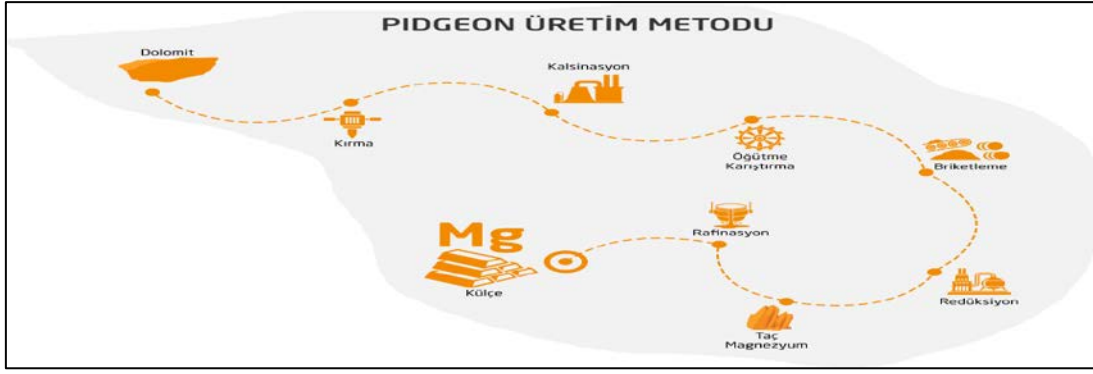
1.GİRİŞ

Yoğunluğunun düşük olması, özgül ısı kapasitesinin ve ses absorpsiyonu yüksek olması sayesinde birçok sektörde Magnezyum kullanılabilir bir metaldir. Ancak bu koşulların sağlanabilmesi de kolay olmamış, üretim maliyetinin yüksek olması sebebiyle Magnezyum uzun süre endüstride kabul görmemiştir. Gelişen teknoloji ile beraber düşen maliyetler neticesinde Magnezyum elementide çeşitli sanayi dallarında kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyum ve Demir'den sonra doğada en fazla miktarda bulunan elementin Magnezyum olduğu tespit edilmiştir. Endüstride ağırlığı düşük ve mukavemeti yüksek olan mühendislik malzemelerine olan talebin gitgide artmasından dolayı bu kategoriye giren Magnezyum alaşımlarının, endüstriyel uygulamalardaki kullanımının ileriki yıllarda oldukça artacağı tahmin edilmektedir. Magnezyumun yoğunluğunun 1.74 gr/ cm^3 olması sebebiyle Alüminyumun $2/3$ 'ü, Demirin $1/4$ 'ü kadardır. Magnezyum alaşımlandırıldığında; iyi dökülebilirlik özelliği, yüksek özgül dayanımı ve yüksek sönümlenme kapasitesi elde edilir.

(1)

Magnezyum, yapı elamanı olarak kullanılan metal alaşımların en hafif olanıdır. Otomobil üretiminde magnezyum hafif olma özelliğinden dolayı çelik, dökme demir ve Alüminyum alaşımlarının yerini almaktadır. Avrupa Birliğine uyum çerçevesinde yasal sınırlamaların getirilmesinin bir sonucu olarak, araç parçalarının ağırlığını azaltma gereksinimi Magnezyuma olan alakanın artmasına sebep olmuştur. (2)

Magnezyum doğada mineral olarak bulunan doğal metal formuna dönüştürmek için, ham maddeler (magnezit, dolomit, bisofit, karnelit, serpantin ve deniz suyu) elektroliz prosesi, kalsilasyon termal indirgenme gibi kimyasal işlemlere tabi tutularak magnezyum metali elde edilmiş olur. Bu şekilde üretilen magnezyum metaline birinci Magnezyum adı verilir. Magnezyum metali geri dönüşüm yöntemiyle atık malzemelerden de elde edilir. Bu şekilde üretilen Magnezyuma ise ikincil Magnezyum adı verilir. (3)



Şekil 1.1 Mineral Haldeki Magnezyumun Külçe Olarak Eldesinin Gösterimi

Magnezyum alaşımları için farklı döküm metotları uygulanabilmektedir. Bu metotlar; soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm, kum kalıba döküm, hassas döküm, sürekli kalıba (kokil) döküm, düşük basınçlı döküm (low pressure die casting), vakumlu döküm, yarı-katı metal döküm (semi-solid metal casting) ve sıkıştırma döküm (squeeze casting) yöntemleridir. Son yıllarda basınçlı döküm yönteminde kullanılan alaşımların sayısı oldukça çoğalmıştır. Spesifik bir malzeme üretmek için döküm metodu seçiminde; tasarım şekli, istenilen mekanik ve yüzey özellikler, imal edilecek malzeme sayısı ve metalin döküm yeteneği belirleyici etkenlerdir. (4)

Hassas bir döküm metodu olmasına rağmen basınçlı döküm yönteminde, ürün kalitesini ve mekanik özelliklerine tesir eden birçok unsur bulundurmaktadır. Bu unsurlar, kalıp-parça tasarımı ve kalıp üretiminin doğru yapılmasıyla yakından ilişkilidir. Fakat işlem parametreleri parça kalitesini ve mekanik özellikleri etkileyen en önemli etkenlerdendir. Kalıp ve ürün imalatının istenildiği gibi olması; kalıbın bölme yüzeyine, hareketli ve sabit maçaların yerine, kalıbın rijitliğine, kalıp yarılarının tam öpüşmesine ve konikliğin uygunluğuna bağlı olarak belirlenebilir. Kusursuz bir kalıp tasarlayıp üretimi gerçekleştirilse bile, döküm üretimi zamanında hatalı seçilen proses aşamaları, düzgün dizayn edilmiş malzemelerin bile, eksik ve iyi olmayan mekanik özelliklere sahip olacak biçimde imal edilmesine neden olmaktadır. İşlem parametreleri; kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı, dolum zamanı, meme ve piston giriş hızı, sıkıştırma basıncı ve soğuma esnasında tatbik edilen basınç meydana getirmektedir. (4) AZ91 Magnezyum alaşımı basınçlı döküm yöntemi ile ASTM standartlarına uygun kalıba: basınç, döküm sıcaklığı ve yolluk giriş hızı gibi işlem parametreleri değiştirilerek, farklı mekanik özelliklerde numuneler elde edilmiştir. Elde edilen bu numunelere çekme, aşınma ve sertlik testleri uygulanıp ayrıca optik mikroskop ile mikro yapıları analiz edilerek, çeşitli işlem parametrelerinde Magnezyum alaşımının sahip olduğu mekanik özellikler tespit edilmiştir.

2.LİTERATÜR ÖZETİ

Vicario, I., Crespo, I., Val, D., Weiss, U.,Cao D., Sanchez J.M.,(2019,Journal of Materials Engineering and performance , Pages 1-6) “Yüksek Basınçlı döküm yöntemi ile yarı eriyik haldeki Magnezyum alaşımlarının döküm işleminin geliştirilmesi” Bu çalışmada yarı eriyik haldeki Magnezyum alaşımları için en çok tercih edilen yüksek basınçlı döküm yöntemi kullanılarak, enjeksiyon hızının düşürülüp yüksek kalıp sıcaklığında bir döküm prosesi uygulanmıştır. Dökümü yapılmış parça ve T4 ısıtma işlemi görmüş malzemelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelendi.

Sharifi, P., Jamali, J.,Sadayappan, K., Wood, J, T., (February 2018, Journal of Materials Science ve Technology , Page 324), ”Yüksek basınçlı döküm yönteminde Magnezyum alaşımlarının katılaşması sırasında ergimiş metal –kalıp ara yüzeyinde tane boyutu ve ısı transfer katsayısını incelemek” Bu çalışmanın amacı yüksek basınçlı döküm yönteminde Magnezyum alaşımlarının katılaşması sırasında ergimiş metal –kalıp ara yüzeyinde tane boyutu ve ısı transfer katsayısını incelemek için ticari döküm simülasyon paketi PROCAST ile ısı transfer katsayısı değeri kullanılarak kalıp doldurma ve katılaşma olayını modellemek için kullanıldı.

Wang J,X,. Wang.Y. (February 2018 Journal Of Materials Science and Technology)"Magnezyum alaşımlarındaki gelişmeler " Çin dünyadaki önde gelen metalürji ve malzeme bilimciler açısından ön plana çıkan Magnezyum ve alaşımları konusunda en aktif gelişen ülkelerden olmuştur. Çin'in Harbin (2015) ve Chongqing (2016) şehirlerinde yapılan Magnezyum araştırma sempozyumu ile sanayi gereksinimlerinin karşılanması için Mg bazlı malzemelerin geliştirilmesi için geniş kapsamlı girişimlerin artırılması amaçlanarak, plastik deformasyon mekanizması ve güçlendirme stratejisi, yeni Mg bazlı malzemelerin geliştirilmesi ve yeni işlem teknolojilerinin geliştirilmesi kapsamında fikir birliğine varıldı.

Makhlof (2018), “Magnezyum çinko alaşımlarının mikroyapı ve korozyon özelliklerine çinko ilaveleri ve ısıtma işleminin etkisi” Bu çalışmada %0,5-3 arasında çinko eklenen magnezyum alaşımının üretimi esnasında ısıtma işlem parametrelerinin değiştirilerek, alaşımın mikro yapı, sertlik ve korozyon özelliklerine etkisi belirlenmiştir. İyapıları SEM ve Optik mikroskoplarında tetkik edilirken, elektrokimyasal korozyon deneyinde ise potansiyodinamik polarizasyon verileri elde edilmiştir. İyapı incelemeleri neticesinde

Çinko miktarının artışıyla tane boyutunun azaldığı görülmüştür. Sertlik testi neticesinde, Çinko miktarının artmasıyla sertlikte artma belirlenmiştir. Çinko miktarı arttıkça 8 saat ısıtma işlemiyle sertlik %39 oranında artmışken, 16 saat ısıtma işlemi uygulandığında %58 oranında artma gözlemlenmiştir. Korozyona direnç çinko miktarının artışı ile azalmışken 8 ve 16 saat ısıtma işlemi uygulandıktan sonra artma göstermiştir.

Karaoğlan (2018), “Enjeksiyon döküm kalıplarına uygulanan farklı kaplamaların kalıp ömrüne etkisi” Basınçlı döküm metodunda dayanıklı parça üretmek üç temel etkene bağlıdır. Bunlar, döküm makinası, döküm parametreleri ve kalıp tasarımıdır. Basınçlı döküm metodunda makine olarak sıcak kamaralı ve soğuk kamaralı olmak üzere iki çeşit makine kullanılmaktadır. Sıcak kamaralı döküm prosesinde metal pompası, sıvı metal içerisine batırılmıştır ve metal ile aynı sıcaklıktadır. Soğuk kamaralı döküm prosesinde ise metal pompası ergitme potasından bağımsızdır. Bu metotta sıvı metal kepçe veya otomatik sistemler yardımıyla döküm makinasına taşınır. Basınçlı döküm metodunda kullanılan kalıplarının tasarımı parça kalitesini etkileyen diğer bir unsurdur. Eğer hatalı kalıp tasarlanmış ise hata üretimde aksamalar ve duruşlar yaşanır. Tasarımda sıvı metalin kalıp boşluğuna rahat akabileceği yolluk ve kanallar açılmalıdır. Kalıp içerisindeki havayı atabilmek için uygun hava tahliye kanalları veya cepleri yapılmalıdır. Ayrıca maça kullanılacaksa maçaların yönü iyi ayarlanmalıdır. Ayrıca kaliteli takım iş çeliklerinin kalıp malzemesi olarak kullanımı kalıp ömrünün artması bakımından büyük önem teşkil etmektedir.

Akar (2018) “Döküm hataları ve önlenmesi için tasarım yöntemleri” Endüstriyel uygulamalarda önemli bir yer tutan farklı malzemelerin döküm tekniği, döküm metodları, kalıp ve maça tekniği, kalıplamada ve dökümde oluşan kusurlar ve bu kusurların giderilmesi bu çalışmanın temelini oluşturmuştur. Dünya tarihinde metallerin keşfi ile birlikte işlenmesi ve şekillendirilmesi hemen hemen aynı zamanda yapılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda dökümcülük ve döküm tekniği asırlar boyunca gelişimini sürdürmüş, günümüzde gelişen teknoloji ile simülasyon ortamında olası hatalar ve giderilme metodları önceden belirlenerek kusursuz, kaliteli, ekonomik ve daha mukavemetli ürün imal edilmesi sağlanmıştır.

Walczak, M., Zwierzchowski, M., Bienias, J., Caban, J., (2017), “The Tribological Characteristics Of Al-Si-Graphite Composite”. Bu çalışmada grafit eklenmesinin %12’lik Si-Al alaşımının aşınma mukavemeti üzerine olan tesiri araştırılmıştır. Aşınma

testleri bilye-disk mekanizmasında 5 Newtonluk yük uygulanarak yapılmıştır. Bu testler sonucunda abrazyon aşınma tespit edilmiştir. Bununla birlikte kırıkların-mikro çatlakların vuku bulması malzemede yorulma aşınmasına neden olmuştur. Deney malzemelerin yüzey morfolojisine bakıldığında bilye malzemesinin yüzeyine geçen alaşım malzemesinin aşınmaya karşı direnç gösterdiği tespit edilmiştir.

Tutaş (2016), “Magnezyum-alüminyum alaşımlarının kontrollü atmosferde geleneksely döküm yöntemi ile üretilmesi ve alaşım elementlerinin özelliklere etkisinin incelenmesi”

Bu çalışma geleneksel döküm yöntemiyle kontrollü atmosferde üretilmiş magnezyum esaslı Mg-3Al-3Sn alaşımına farklı oranlarda ilave edilen Sr'nin alaşım üzerine etkileri incelenmiştir. Pin-on-disc yöntemi kullanılarak Mg-3Al-3Sn-xSr alaşımının tarayıcı elektron mikroskopu ve X-ray spektrometresi kullanılarak aşınma mekanizmalarını belirlemek amacıyla analiz edilmiş olup ayrıca stronsiyum ilavesinin alaşımın akma, çekme mukavemeti ve sertlik değerlerine etkisi incelenmiştir.

Pan,F., Yang ,M. , ,Chen,X., (2016, Journal of Materials Science & Technology) “A review on casting magnesium alloys: modification of commercial alloys and development of new alloys”

Bu çalışmada bugüne kadar, magnezyum alaşımları için toplam uygulama ürünlerinin neredeyse % 90'ı döküm işlemlerini içermektedir. Bununla birlikte, döküm magnezyum alaşımlarının uygulamaları hala sınırlıdır. Ana nedenlerden biri, odadaki mekanik özelliklerin ve ticari döküm magnezyum alaşımları için yüksek sıcaklıkların, Al alaşımlarına kıyasla hala yetersiz olmasıdır. Sonuç olarak, yüksek performanslı döküm magnezyum alaşımlarının geliştirilmesi son yıllarda çok fazla küresel ilgi görmüştür ve özellikle ticari döküm magnezyum alaşımlarının modifikasyonu ve düşük maliyetli, yüksek mukavemetli ve / veya sürünmeye karşı dayanıklı dökümün geliştirilmesi üzerine birçok olumlu sonuç alınmıştır magnezyum alaşımları elde edilmiştir.

Luo A.A.(2016,Essential Readings in Magnesium Teknoloji , 25-34)” Otomotiv Endüstrisinde Magnezyum alaşımlarının uygulamaları ve diğer kullanılan malzemelerle kıyaslanması”

Bu çalışmada, Magnezyum alaşımlarının hafiflik, mekanik özellikleri ve tasarım özellikleri Dökme Demir, Çelik, Alüminyum ve Polimer gibi rakip malzemeler ile kıyaslanmıştır. Magnezyumun mevcut ve potansiyel otomotiv uygulamaları gözden geçirilmiş ve bu uygulamalar için teknik zorluklar tartışılmıştır.

Demirci (2014) “Magnezyum alaşımlarının ergitme prosesinde kullanılan koruyucu gaz atmosferlerinin incelenmesi” Magnezyum alaşımları hafifliği ve dayanımı dolayısıyla

otomotiv, havacılık gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümü endüstride en çok tercih edilen yöntem olmuştur. Ülkemiz, Magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle üretilmesi konusunda bilgi ve tecrübe eksikliği nedeniyle, Mg ürünlerinden ithalat yoluyla yaralanmaktadır. Eriyik Magnezyum alaşımlarının üstünde oksijen geçirgen bir film tabakası oluşturarak, oksijenin alaşımın içerisine girmesini ve oksit tabakası altında Mg alaşımının yanmasına neden olmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için ergimiş magnezyum alaşımları koruyucu toz (flux) veya koruyucu gaz (fluxless) olmak üzere iki biçimde korunmaktadır. Ancak koruyucu toz kullanımında meydana çıkan HCl ve MgCl₂ dumanı sebebiyle dökümün korozyon direncini düşürmektedir. Bu sorundan dolayı ergimiş ergitme fırını içerisinde mg alaşımını korumak için genelde SF₆ gazı kullanılmaktadır. Fakat SF₆ 'nın sera gazı olması sebebiyle küresel ısınma potansiyeli, kendisine göre daha az küresel ısınma potansiyeline sahip HFC-134a'nın koruyucu gaz olarak denenmesi ile ergimiş Magnezyum metali üzerinde oluşan koruyucu film tabakası incelenmiştir.

Engin (2013), “AZ91 Magnezyum alaşımına farklı oranlarda alaşım elementlerinin ilavesi ile uygulanan ısıtma işleminin mikro yapı ve sertlik üzerine etkilerinin incelenmesi”

Bu çalışmada; AZ91 Magnezyum alaşımının dayanımı ve şekillendirilebilirlik özelliklerinin düşük olması sebebiyle bu özellikleri iyileştirmek için, alaşıma belirli oranlarda Sn, Sr, Sb ve Bi elementler eklenerek 420°C'de homojenleştirme ve 8, 16, 32 saat çökelme sertleşmesi ısıtma işlemi uygulanarak alaşımın mikro yapı ve sertlik özellikleri incelenmiştir.

Vanlı (2007), “Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde işlem faktörlerinin araştırılması”

Yapı malzemesi olarak kullanılan metaller içerisinde en hafif olanı magnezyumdur. Birçok endüstri kollarında (otomotiv, havacılık gibi) plastik kadar hafif olması ve metal kadar dayanıklı olması sebebiyle tercih edilmektedir. Bu malzemenin döküm kabiliyetinin iyi olması sebebiyle Mg alaşımlarının basınçlı döküm yöntemi ile üretimi, hızla büyüyerek universal olarak kendine yer bulmuştur., Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümü otomasyona uyumluluğu yönüyle, büyük hacimli malzemelerin üretimi için kullanılan uygun bir metottur. Basınçlı döküm, hassas bir metot olmasına rağmen, mekanik özellikleri ve malzeme kalitesini etkileyen birçok sebep bulunmaktadır. Hatalı parça veya kalıp tasarımı, alaşım içindeki segregasyonun kötü etkileri hata etkenlerini meydana getirmektedir. Mekanik özellikleri iyi, düşük poroziteli ve hatasız

parçalar üretmek için; yüksek enjeksiyon basınçlarında, düşük döküm sıcaklıklarında, uygun kalıp sıcaklıklarında ve optimum akış hızları ile döküm işleminin yapılması gerekmektedir.

Ünal (2008) “Magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin incelenmesi” Bu çalışmada, AZ91 magnezyum alaşımının döküm özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, alaşıma yüzey aktif (Pb Sn,), yüzey aktif olmayan (Fe, Si, Cu) ve aşıl原因ıcı elementler (Zr, Ti) eklenmiştir. Argon ve CO₂+SF₆ gazları alaşımın döküm pratiğine etkisi ile beraber eklenen elementlerin akıcılık, kalıp sıcaklığı, sıcak yırtılma ve mekanik özelliklere tesirleri araştırılmıştır. Düşük miktarda eklenen Pb, Si, Fe, Sn, Cu, Zr ve Ti elementlerinin hepsi çekme dayanımına olumlu etki yapmışken bu elementlerin miktarının artması ile Si hariç çekme dayanımına olumlu etkileri de azalmıştır. Si oranının artması ile alaşımın çekme dayanımı artmıştır. Düşük miktarda Pb ilavesi % uzamayı artırırken Sn, Fe ve Ti % uzamayı düşürmüştür. AZ91 alaşımına Sn, Pb, Fe, Cu, Zr ve Ti ilavesi sertlik ve uzamayı düşürmüştür. Yüksek miktarda (%2) Si hem sertliği hem de uzamayı artırmıştır.

Demirci, Vanlı ve Akdoğan (2015), “Savunma Sanayinde Kullanılan Magnezyum Alaşımları ve Uygulama Alanları” Bu çalışmada Magnezyum alaşımlarının savunma endüstrisinde kullanım yerlerine ait örnekler verilmektedir. Magnezyum alaşımlarının savunma endüstrisinde Al alaşımları, seramik veya kompozit malzemeler yanında kullanım alanlarının arttığı ve bu malzemeler ile kıyaslama yapılmıştır. Ayrıca savunma endüstrisinde kullanıldığı yerler ve bu kullanımdaki artışın sağladığı avantajlar üstünde durulmuştur.

Özer (2013, İstanbul Sanayi Odası -Yıldız Teknik Üniversitesi Doktora / Yüksek Lisans Tezlerine Sanayi Destek Projesi),“Termal yöntemlerle magnezyum üretim teknolojisinin geliştirilmesi” Magnezyum ve alaşımları diğer metallere göre düşük yoğunluklu oluşu ve mekanik olarak iyi özelliklere sahip olmasından dolayı birçok sanayi kolunda kullanılmaktadır. Mekanik özelliklerinin iyi olması ve düşük yoğunluklu olmasından dolayı, endüstride git gide kullanımının artması beklenen magnezyumun üretiminin zor olması sebebiyle kullanımı kısıtlanmıştır. Günümüzde ilerleyen teknoloji ile birlikte bu zorluklar aşılarak Magnezyum üretimi artmıştır. Bu çalışmada ülkemizde elektrik ark ocağı kullanımının fazla olması ve alüminyum endüstrisinin gelişmiş olması nedeniyle magnezyum üretimini için alümina termik yöntem ile Magnetherm fırınlarda üretiminin daha uygun olacağı düşünülmüş. Bu metotla elde edilen magnezyumun gaz

halinde olmasından dolayı magnezyum buharını yoğunlaştırmak amacıyla elektrik ark ocağına monte edilmek üzere tasarlanmıştır.

Serçe (2015), “Yüksek basınçlı döküm prosesinde enjeksiyon parametrelerine bağlı olarak döküm simülasyonu” Basınçlı döküm metodunda, Enjeksiyon hızı, döküm sıcaklığı kalıp sıcaklığı ve kalıp yüzey pürüzlülüğü gibi parametrelerdeki değişiklik ürünün kalitesine doğrudan etki ettiği bilinmektedir. Bu sebepten dolayı döküm simülasyon programları kullanılarak, döküm işlemini gerçekleştirmeden önce farklı parametrelerle simülasyon işlemleri yapılarak en uygun dizayn belirlenmiş olacaktır. Bu çalışmada, dişli kutusu parçası modellenerek simülasyon işlemleri tamamlanmıştır. Böylece en uygun döküm dinamik ve termal parametrelerinin belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon programında farklı Enjeksiyon hızı, kalıp sıcaklığı, döküm sıcaklığı ve pürüzlü ve pürüzsüz değerleri seçilerek simülasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon programında elde edilen sonuçlar neticesinde en uygun döküm parametreleri belirlenmiştir. Bu çalışmada belirlenen uygun parametreler, döküm sıcaklığı 1053 K, Enjeksiyon hızı 2 m/s ve kalıp sıcaklığı 573 K şeklinde belirlenmiştir.

Karahmet (2013), “Magnezyum AZ91 alaşımının değişik sıcaklıklarda deformasyon kabiliyetinin incelenmesi” Günümüzde Magnezyum alaşımlarının hafif olmasından dolayı otomotiv, havacılık gibi birçok endüstri kollarında kullanımı git gide artarak birçok sektörün ilgisini çekmektedir. Magnezyum alaşımları içerisinde en çok kullanılan alaşım AZ91 alaşımıdır. Fakat Mg alaşımlarının üretimi sadece döküm yoluyla yapılmakta, dövme yöntemiyle üretimi yapılmamaktadır. AZ91 alaşımının son yıllarda sıcak dövme yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, AZ91 Mg alaşımının farklı sıcaklıklarda deformasyon yeteneği incelenmektedir. Deformasyon yeteneğinin belirlenmesi için çekme testi kullanılmaktadır. AZ91 alaşımının döküm, homojenizasyon ve T6 ısıl işlemi uygulanmış üç farklı yapısına, farklı sıcaklıklarda çekme testi yapılmıştır. T6 işlemi ilk başta 420 °C'de 12 saat bekletilerek ve ortama su verilerek soğutulmaktadır. Daha sonra 215 °C'de 4 saat bekletilerek yapay yaşlandırılmaktadır. Homojenizasyon işlemi 415 °C'de 12 saat bekletilerek uygulanmaktadır. 400 °C, 350 °C, 250 °C ve 25 °C sıcaklık değerlerinde çekme testi yapılmıştır. Bu sıcaklık değerlerinde elde edilen veriler neticesinde, en yüksek mukavemet değerine 25 °C'de yapılan deneylerde ulaşılmış olup, ancak çekme testi sıcaklığı arttıkça mukavemet değerleri sürekli düşmüştür. 400, °C 350 °C ve 250 °C sıcaklık değerlerinde gerinim değerlerinin arttığı, yani deformasyon yeteneğinde artış görülmüş olup, 25 °C sıcaklıkta ise gerinim değerleri çok düşük seviyeye

ulaşmıştır. Döküm numunelerinin ve T6 numunelerinin gerinim değerinin yüksek sıcaklıklarda arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek gerinim değeri 400 °C'de 0,51 ile T6 numunelerden elde edilmiştir. Fakat homojenize numunelerin 250 °C'de en yüksek gerinim değeri elde edilmiştir. Döküm numunelerin gerinim değerleri, intermetalik gevrek bir mikro yapıya sahip olmasına rağmen sıcaklıkla arttığı fakat T6 numuneler kadar yüksek değerlere çıkmadığı gözlemlenmiştir. Numunelerin gerinim değerlerine göre deformasyon yeteneği yapılan deneyler sonucunda incelenmiş olup. En yüksek gerinim değeri T6 numunelerinden elde edilmiştir. Döküm ve T6 numunelerinin gerinim değeri homojenize numunelerin gerinim değerlerine göre çok daha yüksek değerlerdedir.

Yılıkı (2011), “Farklı soğuma hızları ve alaşım elementlerinin AZ91 magnezyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi” Bu çalışmada, AZ91 serisi Magnezyum alaşımlarına TiB, Si, Pb, Sr, elementlerin ilave edilmesi ve değişik soğuma hız değerlerinin, alaşımın mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu gaye ile alaşımlar; dökme demir kalıba kademeli olarak dört farklı katılma hızı ayarlanarak dökülmüştür. Bununla birlikte soğuma hızlarının değişimi her bir parametre için alaşımlara ağırlığının %0,5 oranlarında TiB Si, Pb, Sr elementleri katılarak gözlemlenmiştir. Bu deneylerin sonucunda soğuma hızı arttıkça AZ91 Magnezyum alaşımının çekme mukavemetinin ve sertliğinin arttığı Si, Pb, Sr, TiB elementlerin ilavesi ile beraber bu artışın yükseldiği gözlenmiştir. Soğuma hızına bağlı olarak tanelerin boyutunun küçüldüğü ve Mg17Al12 fazının değiştirilebildiği görülmüştür.

Mert, Özdemir ve Karataş (2010) “Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Döküm Yöntemiyle Kalıplanabilirliğinin Değerlendirilmesi” Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümü, magnezyum alaşımlarının kullanıldığı sanayi kollarında hızlı bir şekilde büyüyen ve gelişen sahadır. Otomotiv endüstrisi doğal enerji kaynaklarının ve çevrenin korunması amacıyla, yakıt tüketimini azaltmayı temel alan önemli değişiklikleri uygulamaya koymuştur. Bu amaç doğrultusunda otomotiv sektöründe kullanılmak için bir plastik kadar hafif ve bir metal gibi dayanıklı olan magnezyum ve alaşımları dikkat çekmiştir. Bu çalışmada, magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm metodu ile şekillendirilebilirliği ve basınçlı döküm ürünlerinin dökülebilirliği hakkında genel bir değerlendirme yapılmış ve son yıllarda yapılan ve kapsama giren çalışmalar derlenmiştir. Magnezyum ve alaşımlarının artan oranlarda üretim sektörlerinde tercih edilen ve döküm yeteneği kolay olan malzemelerden olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan otomotiv endüstrisinde

magnezyum alaşımlarına dayalı ürünlerin fazla olmasının, magnezyum alaşımlarının döküm yeteneğinin geliştirilmesiyle doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir.

Erarslan ve Akça, (2015, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi), “AZ91D Magnezyum kompozitin aşınma davranışı” Bu çalışmada Magnezyum alaşımı olan AZ91D alaşımının geleneksel döküm yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Daha sonra SiC seramik takviye malzemesi 32µm ve 7µm ebatlarında ve %8, 4 ve 2 ağırlıklarında Magnezyum AZ91 alaşımı ile karıştırılmalı döküm metodu ile karıştırılarak AZ91/SiC kompozit malzemesi üretilmiştir. Üretilen AZ91/SiC kompozit malzemeleri ve AZ91 alaşımının özellikleri aşınma ve sertlik deneyleri ile belirlenerek, OM(optik mikroskop) ve TEM(taramalı elektron mikroskobu) ile XRD (x-ışını kırınımı)metodu kullanılıp iç yapı karakterize edilmiştir. Bu araştırmada, 7 µm çapındaki kompozitin sertlik değerindeki artışın 32µm çapındaki kompozitten daha yüksek değerde olduğu gözlemlenmiştir. Aşınma testinde sürtünme katsayısı 0,115-0,172 değer aralığında tespit edilmiş olup, Alümina (Al₂O₃) batıcı uç (ball) malzemesinde herhangi bir aşınma görülmemiştir.

Koç (2008), “Alaşım elementlerinin magnezyum döküm özelliklerine etkisinin incelenmesi” Magnezyum alaşımlarının AZ91 serisi, ileri teknoloji döküm özelliklerinin iyileştirilmesi gayesiyle, bu çalışmada; çeşitli endüstri kollarında kullanılan AZ91 alaşım içerisine ağırlıkça yüzey aktif %0,2 Kalay, %0,3 Kurşun ve yüzey aktif olmayan % 0.4 Silisyum ve aşılama elemanları Titanyum ve Zirkonyum ilave edilmiştir. Bu alaşıma katılan elementlerin, sıcak yırtılma, mikro yapı, akıcılık ve mekanik davranışlara tesiri araştırılmıştır. Sonuç olarak, Sn ve Pb elementlerinin akıcılığı yükselttiği görülmüştür. Ayrıca Magnezyum ‘un yüzey enerjisini azaltması ve buharlaşma sebebiyle oksit oluşumunu mâni oluşuna dayandırılmıştır. Si, Ti ve Zr ilaveleri çekme ve akma mukavemetini artırdığı saptanmıştır.

Milli Eğitim Bakanlığı (2011,Metalurji Teknolojisi), “Basınçlı Döküm” Sıcak iş takım çeliğinden yapılmış sürekli (kokil) kalıplar içerisine ergimiş metalin yüksek basınçla doldurulmasına basınçlı döküm metodu denir. Kum kalıba döküm metodunda ergimiş metal kendi cazibesi ile (yer çekimi kuvveti yardımıyla) kalıbı doldururken, bu metodun gelişmiş uygulaması olan basınçlı dökümde ise sıvı metal basınç yardımı ile kalıbı doldurarak çeşitli malzemelerin çok kolay ve hızlı bir şekilde eldesini sağlamaktadır.

Çelik (2014), “AZ91 magnezyum alaşımlarında soğuma hızlarının mekanik ve korozyon özelliklerine etkisinin incelenmesi” Bu çalışmada, içerisinde %0,5 Kurşun ve

%0,5 Titanyum içeren AZ91 Magnezyum alaşımlarına uygulanacak soğuma hızının içyapı, korozyon ve mekanik özellikleri üzerine tesiri saptanmıştır. Bu gayeyle alaşımlar; dört farklı katılaşma hızında dökme demir kademeli olarak kalıba dökümü yapılmıştır. Magnezyum numunelerinin içyapıları; OM (optik mikroskop), SEM (taramalı elektron mikroskobu), mekanik deneyler; sertlik, çekme testleri ve korozyon davranışı; galvanostat / potansiyostat aygıtından elde edilen polarizasyon eğrileri yardımı ve daldırma deneyi ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Mekanik özelliklerin deney neticesi, alaşımların çekme ve akma dayanımlarının soğuma hızının artmasına bağlı olarak arttığını tespit edilmiştir. AZ91 Mg alaşımı, ağırlıkça %0,5 Pb ve %0,5 Ti içeren AZ91 Mg alaşımlarına göre daha düşük çekme ve akma mukavemeti görülmüştür. Daldırma deneyi sonuçları, soğuma hızı arttıkça alaşımın korozyona karşı mukavemetinin arttığını göstermiştir. SEM analizleri, Pb veya Ti içeren AZ91 alaşımına göre korozyon direncinin AZ91 alaşımında daha düşük olduğunu göstermiştir.

Buldum (2013) , “*AZ91 magnezyum alaşımının işlenebilirliğinin incelenmesi*” Bu çalışmada Taguchi metodu kullanılarak AZ91D Magnezyum alaşımının tornalamada işlenebilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın neticesinde, belirlenen yüzey pürüzlülük verileri YSA (Yapay Sinir Ağları) ile modellenerek kıyaslanması yapılmıştır. İşlem parametreleri olarak Magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri ile aynı özellikler gösteren malzemelerde kullanılan değerler ve kaynaklar göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmalarda kaplamasız VCGT, CCGT ve DCGT karbür uçlar kullanılmıştır. Deney çalışmasında Magnezyum alaşımlarının fiziksel ve kimyasal yeteneklerinden dolayı kuru işleme ve düşük miktarda yağ ile soğutma uygulanmıştır. AZ91D alaşımlarının kesme kuvvetine karşı göstermiş olduğu direncin düşük olduğu gözlemlenmiş olup, her bir kesme olayında meydana çıkan kuvvetler incelenip değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü kesme kuvvetlerinin artışına paralel olarak arttığı tespit edilmiştir. Elde edilen bulguların YSA ile karşılaştırılması neticesinde elde edilen sonuçlar deneysel çalışma ile tam uyumluluk göstermiştir. Bu çalışmayla AZ91D Magnezyum alaşımının işlenebilirliğinde güncel neticeler ve işlem yöntemleri hakkında yaklaşımlar geliştirilmiştir. Taguchi yöntemi maddi değeri yüksek olan bu malzeme için maliyetler azalmış, modelleme metodu ile de işleme süresinin kısalması sağlanmıştır.

B.L. Mordike, T. Ebert (2001, Materials Science and Engineering) “*Magnezyum alaşımlarının özelliği, Uygulaması ve Potansiyeli*” Magnezyum, konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan, tüm metallerin en hafif olanıdır. Otomotiv sektöründe mevzuat gereği

emiyon değerlerinin dūşük olmasının istenmesi sebebiyle, Otomobil endüstrisinde kullanılan parçalarının magnezyum alaşımlarından üretilmesinde artış görülmeye başlanmıştır.

Mert ve Özdemir (2011), “Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümü ve Otomotivdeki Uygulamaları” Oto sanayinde Magnezyum alaşımlı malzeme üretilmesinde maliyetleri düşürmesi sebebiyle, sık kullanılan imalat metodu basınçlı dökümdür. Dizayn ve imalatta esneklik sağlaması ve et kalınlığı düşük karmaşık parçalarda mükemmel kalıp dolum özellikleri göstermesi diğer yetenekleri arasında sayılır. Magnezyum alaşımlarında temel alaşım elementi alüminyumun olduğu için döküm yeteneği yüksek olur. Magnezyum alaşımlarının sahip olduğu, alçak ısı kapasitesi ve katılaşıma sırasında gösterdiği düşük gizli ısı özellikleri döküm üretim sürelerini kısaltmaktadır. Eriyik Magnezyum alaşımının döküm esnasında demir ile etkileşime girmemesi sebebiyle alüminyumla kıyaslandığında bu alaşımın dökümünde kalıp ömrü daha uzun olmaktadır. Basınçlı döküm yönteminin verimliliğinin yüksek olmasına rağmen, bu metodun önündeki en büyük mâni ergimiş metalin hızlı bir şekilde kalıba enjekte edilmesi neticesinde kalıp içerisine sıkışan gazların neden olduğu gözenekliliktir. Et kalınlığı($t \leq 2,5\text{mm}$) parçaların dökümünde parozite tane yapısı ince ve pürüzsüz döküm yüzeyi sayesinde daha az problem olmaktadır. Fakat mukavemet ve rijitliğin zorunlu olduğu kalın cidarlı ($t \geq 2,5\text{mm}$) malzemelerde, mekanik özellikler üzerine porozitenin tesiri önemlidir. Magnezyum alaşımının ergitilmesi anında dikkat edilecek en önemli unsur ergimiş metalin atmosfer ile etkileşiminin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Eğer bu konuda ergimiş magnezyum için bir koruyucu önlem alınmazsa, ortamdaki oksijen ile reaksiyonuna girerek tutuşur. Bu tepkime kontrol altında tutulamayacak kadar şiddetli olabilir. Bu sebepten dolayı, Alüminyum içeren Magnezyum alaşımlarının 400 °C'nin üstündeki sıcaklıklardan itibaren, SF₆, CO₂ ve SO₂ gibi gazlarla korunması gerekmektedir.

Öztürk ve Kaçar (2012) “Magnezyum alaşımları ve kullanım alanlarının incelenmesi” Bu çalışmada, Magnezyum ve alaşımlarının üretim metotları, şekillendirilebilirlik, korozyon direnci, çevreye olan tesiri ve mevcut kullanım sahaları incelenmiştir. Magnezyum alaşımlarının havacılık, uzay ve otomotiv endüstrisinde yapı malzemesi olarak kullanımı gün geçtikçe çoğalmaktadır. Henüz yaygın kullanımda olmaması ve üretiminin pahalı olması sebebiyle, demir ve çelik üreticilerine göre üreticilerin sayısı daha azdır. Magnezyum alaşımlarından üretilen malzemelerin ücretinin pahalı olmasının ana sebeplerinden biri bu durumdur.

Atalay (2006), “Magnezyum ve alaşımlarının konstrüksiyon malzemesi olarak otomotivde kullanımı” Bu çalışma, yapı malzemesi olarak kullanılan Magnezyum ve alaşımlarının otomotiv sanayindeki kullanımları araştırılmış, Ülkemizin otomobil sanayindeki dünyadaki yeni gelişmeleri nasıl takip etmesinin gerektiği anlatılmıştır. Çevresel zorunluluklar ve dünyamızdaki enerji kaynaklarının koruma altına alma adına, araçlarda yakıt tüketiminin azaltılması açısından önlemler alınmış olup, artık Magnezyum gibi hafif malzemelerin kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Dünyadaki bütün otomotiv imalatçıları için geçerli olan bu hal karşısında; uygulamada ve teknolojinin ulaştığı durumlar incelenerek, ileride otomotiv sektöründe dünya ile yarış içerisinde bulunabilmek için nasıl bir yol haritası çizilmesi gerekliliği hususunda bir yol gösterilmeye çalışılmıştır. Bütün yapı metalleri içerisinde ağırlığı en az olanı magnezyumdur. Magnezyum bir metal kadar dayanıklı aynı zamanda bir plastik kadar hafiftir. Döküm yeteneği, özgül rijitliği, yüksek özgül mukavemeti, kaynaklanabilirliği, ve iyi işlenebilirliği gibi özelliklerinden dolayı bu malzemenin otomotiv endüstrisinde kullanımını çekici hale getirmiştir. Magnezyum %0,13 oranında deniz suyunda olması da elde edilebilirliği açısından avantajları arasındadır. Dünyadaki otomobil imalatçıları Magnezyum üretimi için yeni araştırma destekleri ve yatırımlar yapmaktadır.

Kılıç (2013), “AZ91D Magnezyum alaşımının mikro ark oksidasyonunda elektrolite karbon nanotüp ilavesinin yüzey özelliklerine etkisi” İnsanoğlunun gelişen teknoloji ile birlikte artan ihtiyaçlarını karşılamak giderek zorlaşmaktadır. Bu gereksimi karşılamak için otomotiv ve savunma endüstrisinin gibi birçok sektörde gereksinim duyulan malzemelerin geliştirilmesi ve imal edilmesi amacıyla sürekli çalışma yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalarda Magnezyum alaşımlarının korozyon özelliklerinin, yüzey özelliklerinin ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gibi konularda çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu bağlamda malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirici kaplamalar yapma, katkılandırma, kompozit malzeme üretme, plastik şekil verme ve ısıl işlem uygulanmakta olup, bu yöntemler içerisinde yüzey kaplama işlemi öne çıkmaktadır. Yoğunluğunun düşük olması ile birçok konstrüksiyon malzemenin temel taşı olan magnezyum, bu elementler içerisinde ön plana çıkmaktadır. Magnezyum, yoğunluğunun düşük olması sayesinde, metal konstrüksiyon malzemeleri içerisinde en hafif olan metaldir. Magnezyumun düşük yoğunluğu, hafif olması, yüksek spesifik mukavemeti, iyi dökülebilirliği, kaynaklanabilirlik özelliği, iyi elektriksel iletkenliği, yüksek sönümlenebilirlik ve yüksek ısıl iletkenliği özelliklerinin iyi olması ve

mekanik özellikleri ve korozyon direncinin düşük olması sebebiyle genel olarak Zirkonyum, Çinko, Alüminyum, Gümüş, Manganez, Toryum ve nadir toprak elementleri ile alaşımlandırılma yapılarak düşük olan bu özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sağlanmaktadır. Bu çalışmada AZ91 Magnezyum alaşımı kullanılmıştır. Bu alaşımlar genel olarak Mg-Al-Zn elementlerinden oluşmakta olup çoğunlukla otomobil parçalarının basınçlı dökümle üretiminde kullanılmaktadır. AZ91D alaşımı diğer Magnezyum alaşımları ile kıyaslandığında daha yüksek akma dayanımı ve daha iyi döküm özellikleri sergileyebilmektedir. İyi mekanik özellikleri ile çoğu mühendislik dalında önemli bir yeri olan magnezyum alaşımları genellikle ağırlık tasarrufunun önemli olduğu havacılık sanayi, taşımacılık gibi günlük kullanım alanlarında ön plana çıkmaktadır. Yoğunluklarının düşük olması yanında özgül mukavemetlerininse yüksek olması Magnezyum ve alaşımlarının, çelik ve alüminyum alaşım malzemelerinin yerine kullanılmasına imkân sağlamıştır.

3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI VE BASINÇLI DÖKÜM

3.1. Magnezyum Elementi

Magnezyum ismi Magnezya denilen bir Yunanca kelimedenden gelmiştir. İlk kez 1808 yılında Sir Humphery Davy tarafından ve daha sonra Antoine Bussy tarafından metalik formda keşfedildi. Magnezyum yer kabuğunda kütlece en fazla bulunan sekizinci element ayrıca deniz suyunda çözünmüş en çok bulunan üçüncü elementtir. Mg polimerlerden daha dayanıklı ve Demir ve Alüminyuma göre daha iyi sönümleme kapasitesine sahiptir. (18)

Mg yoğunluğunun düşük olması, özgül ısı kapasitesi yüksek ve ses absorpsiyonun yüksek olması sayesinde çoğu endüstri kolunda kullanılmaktadır. Ancak bu koşulların sağlanabilmesi de kolay olmamış, üretim maliyetinin yüksek olması sebebiyle Magnezyum uzun süre endüstride kabul görmemiştir. Çin dünyadaki önde gelen metalürji ve malzeme bilimciler açısından ön plana çıkan Magnezyum ve alaşımları konusunda en aktif gelişen ülkelerden olmuştur. Çin'in Harbin (2015) ve Chongqing (2016) şehirlerinde yapılan Magnezyum araştırma sempozyumu ile sanayi gereksimlerinin karşılanması için Mg bazlı malzemelerin geliştirilmesi için geniş kapsamlı girişimlerinin artırılması amaçlanarak, plastik deformasyona mekanizması ve güçlendirme stratejisi, yeni Mg bazlı malzemelerin geliştirilmesi ve yeni işlem teknolojilerinin geliştirilmesi kapsamında karar alındı. Gelişen

teknoloji ile beraber düşen maliyetler sonucunda Magnezyum alaşımları da sanayi dallarında kendisine yer açmaya başlamıştır. Doğada Magnezyum, Demir ve Alüminyumdan sonra en çok bulunan elementtir. Hafif mühendislik malzemelerine endüstride olan talebin artmasından dolayı Magnezyum alaşımlarının, özellikle otomotiv sektöründe mevcut durumu ve potansiyel özelliklerinden dolayı sanayideki kullanımının ileride kayda değer şekilde artacağı tahmin edilmektedir, Magnezyumun yoğunluğunun 1.74 gr/cm³ olması sebebiyle Alüminyumun 2/3'ü, Demirin 1/4'ü kadardır. Magnezyum alaşımlandırıldığında, iyi dökülebilirlik özelliğın, yüksek özgül mukavemeti ve yüksek sönümlenme kapasitesine sahip olur. (1) (19) (20)

Çizelge 3.1 Saf Haldeki Magnezyum ve Alüminyum Elementlerinin Fiziksel Özellikleri (21)

Özellik (20°C)	Mg	Al
Atom No	12	13
Atom Ağırlığı	24,3	26,98
Kafes Yapısı	HSP	YMK
Ergime noktası	650 °C	659 °C
Kaynama noktası	1103 ± 8 °C	2447 °C
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,738	2,699
Elektriksel iletkenliği (m/ΩK)	22,2	37,6
Termal iletkenlik (W/m.K)	154	222
Özgül Isısı (J/kg.K)	1047	930
Hacimsel Isı Kapasitesi (J/m. K)	1783	2430

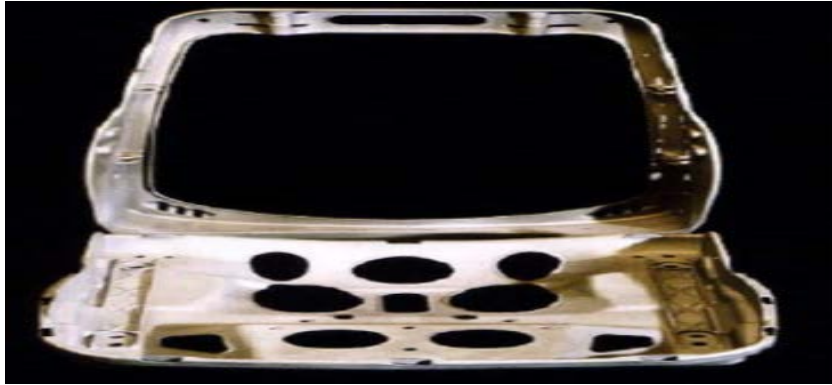
Magnezyum doğada mineral olarak bulunur. Magnezyumu doğal metal formuna dönüştürmek için, ham maddeler (magnezit, dolomit, bisofit, karnelit, serpantin ve deniz suyu) elektroliz prosesi, kalsilasyon, termal indirgenme gibi kimyasal işlemlere tabi

tutularak Magnezyum metali elde edilmiş olur. Bu şekilde üretilen Magnezyum metaline birinci Magnezyum adı verilir. Magnezyum metali geri dönüşüm yöntemiyle atık malzemelerden de elde edilir. Bu şekilde üretilen Magnezyuma ise ikincil Magnezyum adı verilir. (3)

3.1.1.Magnezyum Alaşımları

Magnezyum alaşımları, kopma uzaması %2-15, çekme dayanımı 160-300 N/mm² ve akma dayanımı 80-190 N/mm² değerlerine sahip alaşımlardır. Alüminyum ve Çelik üzerine yapılan çalışmalar son 40 yılda daha ziyade yoğunlaşmıştır. Fakat hafifliği ve dayanımından dolayı günümüzde, plastiklerin yerine Endüstride birçok yerde Magnezyum alaşımlarının kullanılmasına dönüş yapılmıştır. (1)

Şekil 3,7. 'de Magnezyum alaşımlarının uygulanmasına örnek verilecek olursa; AM20 ve AM50 Magnezyum alaşımlarından imal edilmiş Mercedes' in Roadstar modelinde basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş koltuk iskeleti verilebilir. Aynı koltuk iskeleti çelik ile yapıldığında 35 kg gelmekte iken, Magnezyum malzeme kullanılarak üretilen iskelet 8,4 kg gelmekte ve ikinci işlem olarak 30 ila 20 kaynak işlemi ve zımbalama gerekmektedir. (1)



Şekil 3,1 Magnezyum Alaşımlarından Üretilmiş Koltuk İskeleti (1)

Magnezyum metalinin alaşımsız halde kullanılması çoğu diğer metallerde olduğu gibi mukavemet değerlerinin düşük olmasından dolayı pek mümkün gözükmemektedir. Bu sebeple Magnezyum metaline alaşımlandırılma yapılmıştır. Magnezyum alaşımlarının diğer alaşımlara göre en önemli özelliği hafifliktir. Bu açıdan bazı Mg alaşımlarının spesifik çekme dayanımı, Al ve çeliğin spesifik çekme dayanımından daha büyüktür. (22)

3.1.2. AZ91 Magnezyum Alaşımı



Şekil 3,2 Külçe Haldeki AZ91 Magnezyum Alaşımı

AZ91 Magnezyum alaşımları genellikle Magnezyum-Çinko-Alüminyum elementlerinden oluşup, genellikle otomotiv endüstrisinde araç parçaların dökümlerinde tercih edilmektedir. AZ91 Magnezyum alaşımı diğer Magnezyum alaşımları ile kıyaslandığında döküm yeteneği daha iyi ve akma mukavemet özellikleri daha yüksek davranış sergilemektedir. Magnezyum alaşımlarında Al elementi, alaşımın sertlik değerini, katılaşıma zaman aralığını ve çekme mukavemeti değerini artırmaktadır. Fakat sünekliğini ve darbe dayanımını azaltmakta olup, Mg alaşımlarında sık tercih edilen %6'dan daha fazla Al elementi içeren alaşımların ısıtılma yeteneğini daha da artırmaktadır. (23) AZ91Magnezyum alaşımı; akma mukavemeti, 95 MPa, çekme mukavemeti 144 MPa, Vickers sertlik 63 HV gibi mekanik özellik değerlerine sahiptir. (24)



Şekil 3,3 Magnezyum Alaşımlarında Kodlama Yöntemi (25)

3.2.Basınçlı Döküm

Ottmar Mergenthaler'in Linotip makineler ile başlayan basınçlı döküm makineleri çalışmasından yararlanılarak, basınçlı dökümün sanayideki ilk uygulaması, Kurşun ve Kalay alaşımlarını kullanıp motor yataklarının imal edilmesi ile başlamıştır. Daha sonra bu yöntem, metal parça üretiminde önemli bir etken haline gelerek mekanik özellikleri iyi olan alaşımların dökümlerine uyum sağlanmıştır. Kalay-Kurşun alaşımlarına yakın ergime sıcaklığına sahip olduğu için çinko alaşımları, basınçlı döküm malzemesi olarak ikinci olarak kullanılmıştır. Basınçlı döküm yönteminde Alüminyum alaşımını ilk defa 1915'te Doehler Pres Döküm Şirketi, kullanarak ticari malzeme üretimi sağlamıştır. Alüminyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemi ile Savunma sanayinde kullanımı, Birinci Dünya Savaşı esnasında gaz maskesi, makineli tüfek ve dürbün gibi sistemlerin parçalarının üretilmesi ile başlamıştır. Günümüzde Alüminyum alaşımlarının basınçlı dökümü, metal imalat tekniklerinin en önemli metotlarından biridir. Magnezyum konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metal alaşımları içerisinde ticari olarak en önemli olanlarından biridir. Mg-Al alaşımları ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça kayda değerdir. Magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm işlemleri, metalürjik gelişmelerin artmasını sağlamıştır. Magnezyum ve alaşımları mühendislik uygulamalarında çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur. (3)

Basınçlı döküm, sıcak iş çeliklerinden üretilmiş metal kalıplar içerisine ergitilmiş metalin yüksek basınçla doldurulmasına işlemine denir. Kum kalıba döküm metodunda ergitilmiş metal yer çekimi kuvveti yardımıyla kalıbı doldururken, (5) basınçlı döküm yönteminde ise kalıp iki parçadan oluşur ve bu iki kalıp parçası kapatılarak birbirine bağlandıktan sonra ergitilmiş metal bir basma haznesine doldurulur. Bu hazne soğuk ya da sıcak olabilir. Haznedeki eriyik metal bir itenek veya basınçlı hava yardımıyla kalıp boşluğuna doldurulur. Kalıp içerisinde ortaya çıkan gaz, kalıp dolum sırasında kalıp bünyesinde bulunan havalandırma kanalları vasıtasıyla ortamdan uzaklaştırılır. Basınç kalıp boşluğu eksiksiz doldurulduktan sonra parça soğuyuncaya kadar uygulamaya devam edilir. (3) Bu metotla imal edilen parçaların birçoğunda kalıbın dışına taşan metal çapak, gaz çıkışı ve piston kanallarına dolmuş metal parçalar bulunur. Bunların ana parçadan uzaklaştırılması gerekir. Bu çapak ve yolluklar mekanik preslerle kesilerek, taşlanarak veya başka bir metotla ortamdan uzaklaştırılır. (6)

Basınçlı dökümün avantajı:

- Yüksek üretim yapılan ürünler için ekonomik
- Boyut toleransı yüksek ve iyi yüzey kalitesi
- İnce kesitlerin oluşturulması mümkün
- Dökülen metal alaşımı hızlı soğuyarak, ince tane boyutu ve yüksek mukavemet sağlar. (7)

Basınçlı dökümün dezavantajı:

- Genellikle dökümü düşük ergime sıcaklığına sahip metallere sınırlıdır
- Dökülen parçanın kalıptan kolaylıkla çıkarılabilmesi için, parça geometrisinin çok karmaşık olmaması gerekir. (7)

3.2.1. Basınçlı Döküm Yöntemleri

Basınçlı döküm yöntemi ile genellikle demir dışı metal ve alaşımlarından olan, Alüminyum, Magnezyum, Kurşun, Kalay ve Çinkonun dökümü yapılmaktadır. (8) Basınçlı döküm metodundaki farklılık, İhtiyaç durumuna göre farklı özelliklerin birbirine tercih edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yetenekler arasında sıvı metalin akışı, kalıp boşluğundaki gazların uzaklaştırılması, ergimiş metalle hidrolik sistem arasında reaksiyon oluşması, enjeksiyon sırasında oluşan ısı kaybı sayılabilir. Mekanik tasarım, ısıl kontrol ve hareket sistemlerine bakıldığında ise, farklı metodların aynı özelliklere sahip olduğu gözlemlenir. Basınçlı döküm yöntemleri, Ülkemiz kaynaklarında püskürtme döküm ve pres döküm olarak iki ana başlık altında toplanmaktadır. (3)

3.2.1.1. Pres (Basma) Döküm

Kurşun (Pb), Kalay (Sn.) ve Çinko (Zn.) alaşımlarına göre nispeten ergime derecesi daha yüksek olan Magnezyum (Mg) Alüminyum (Al) ve Bakır (Cu) alaşımlarının ergitme fırınından alınarak döküm makinasının haznesine bir kepçe vs. yardımı ile doldurulup, bir piston(ıti)ci) yardımıyla kalıp boşluğunun doldurulması veya kalıp boşluğuna basılması metodudur. Döküm sıcaklığı bu metottaki püskürtme döküm yöntemine göre kıyasla daha düşük değerlerdedir. Soğuk kamaralı makineler ile gerçekleştirilen bu metod ile püskürtme metoduna kıyasla imalat hızı daha düşüktür. (9)

3.2.1.2.Enjeksiyon (Püskürtme) Döküm

Enjeksiyon döküm: Kurşun (Pb), Kalay (Sn.) ve Çinko (Zn) gibi Ergime dereceleri düşük alaşımların, ergime sıcaklıklarının oldukça üstündeki bir sıcaklığa ısıtılıp, yüksek basınç yardımı ile kalıp içerisine püskürtülerek kalıbın doldurulduğu metottur. Ergimiş bir piston-silindir düzeneğinin oluşturduğu basınç yardımıyla veya hava basıncıyla memeden kalıp boşluğuna püskürtülür. Sıcak kamaralı döküm makineleriyle gerçekleştirilen bu metot ile imalat hızlı bir şekilde gerçekleşmiş olur. (10)

3.2.2.Basınçlı Döküm Makineleri

Basınçlı döküm makinesinin işlevi, iki parçalı kalıbı aksenel olarak sabit tutup, basınç uygulayarak sıvı haldeki metali kalıp boşluğuna göndermektir. Ayrıca iki parçadan oluşan kalıbın hareketli parçasını açıp kapatarak soğuyan parçayı bir itici pim yardımıyla kalıptan çıkarılmasını sağlamaktır (10)

Soğuk ve sıcak hazneli olmak üzere basınçlı döküm makineleri iki ana başlıkta toplanır. Bu ayrışmanın sebebi farklı enjeksiyon dizaynlarından kaynaklanmaktadır. Soğuk ve sıcak hazneli makinelerin enjeksiyon ve silindir-piston sistemleri hariç diğer kısımları aynı tasarlanmaktadır. (11)

Ergime derecesi düşük olan metallerin dökümünde sıcak hazneli makineler kullanılır iken ergime derecesi yüksek olan ve döküm makinesinin parçalarıyla sürekli temas halinde olan Bakır, Alüminyum ve Magnezyum gibi metal alaşımlarının dökümünde soğuk hazneli makineler kullanılmaktadır. (6)

Bir basınçlı döküm makinesinin önemli elamanları aşağıdaki gibi sıralanabilir. (10)

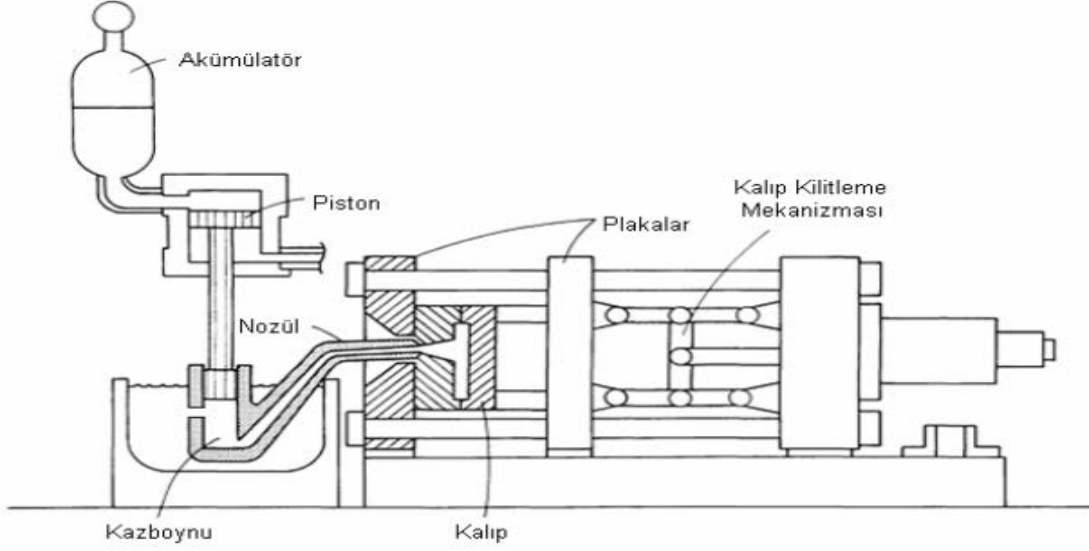
- ❖ Kilitleme Sistemi
- ❖ Sütunlar
- ❖ Kapama-Açma
- ❖ Hidrolik Sistemi
- ❖ Silindir Piston
- ❖ Sabit ve Hareketli
- ❖ Tabla Enjeksiyon Sistemi (10)

3.2.2.1.Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm Makineleri

Sıcak hazneli basınçlı döküm makinesi genellikle Kalay, Kurşun ve Çinko gibi ergime dereceleri düşük olan alaşımların döküm işleminde kullanılır. Bu tür makinaların ön tarafında, döküm sıcaklığında, eriyik haldeki metali sabit tutan bir fırın bulunur. Püskürtme işlemi genel olarak sıvı metalin içerisine daldırılmış piston- silindir (kaz boynu) sistemi ile sağlanır. Bir pota içerisinde ergitilen metal kalıp içine 20-60 atü' lük basınçlı hava ile kalıp içerisine püskürtülür. Her püskürtme işleminden sonra sıvı metal silindir içine dolarak diğer işlemde kullanılmak üzere hazır hale gelmiş olur. Bu makinalarda 20 g'dan 22 kg'a kadar çeşitli büyüklükteki parçaların üretimi mümkündür. (5) (3) Sıcak hazneli basınçlı döküm makineleri de çalışma prensibine göre havalı ve pistonlu olmak üzere ikiye ayrılır. (12)

3.2.2.1.1.Pistonlu Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm Makineleri

Pistonlu makineler; kalıp, pota, kalıbı açıp-kapatma ve ergimiş metali enjekte etme bölümlerinden meydana gelmektedir. Endüstride sık tercih edilen bu tarz basınçlı döküm makinelerin bütün hareketleri bir otomasyon sistemi ile kullanılır. Fırın içerisine yerleştirilmiş dökme demirden imal edilmiş ergitme potasında, dökümü yapılacak metal alaşımı ergitilir. Ergimiş metal alaşımı içinde daldırılacak şekilde bir silindir ve silindir içerisinde çalışan bir itenek (piston) bulunur. Pistonlu sıcak hazneli basınçlı döküm makinesi çalıştırıldığında ilk olarak pimler içeriye doğru hareket eder. Ayrıca imal edilecek parça bünyesinde maça kullanılıyorsa bu maçalar kalıp içerisindeki yerine konur. Bu işlemlerden sonra kalıplar kapatılıp birbirine kilitlenmesi sağlanır. Yerçekimi etkisi ile silindir içerisine dolmuş ergimiş metal, piston aşağıya doğru hareket ederek kalıbın içerisinin doldurulması sağlanmış olur. Bu olay kaynaklarda sıvı metalin enjekte edilmesi veya püskürtülmesi olarak adlandırılır. Dökümü yapılan ergimiş metalin katılaşması için biraz beklenerek ve geriye doğru piston çekilir. Katılaşma sonlandıktan sonra hareketli kalıp açılır ve itici pimler vasıtasıyla da dökümü yapılmış parçanın kalıptan çıkarılması sağlanmış olur. Bu yöntem ile ortalama 20 kg/cm²' yi aşan basınçlara erişmek mümkün olmaktadır. Bu yöntemin üretim hızı çok yüksek olmakla beraber ergimiş metalin ısı kaybı minimum seviyededir. (5) (13)

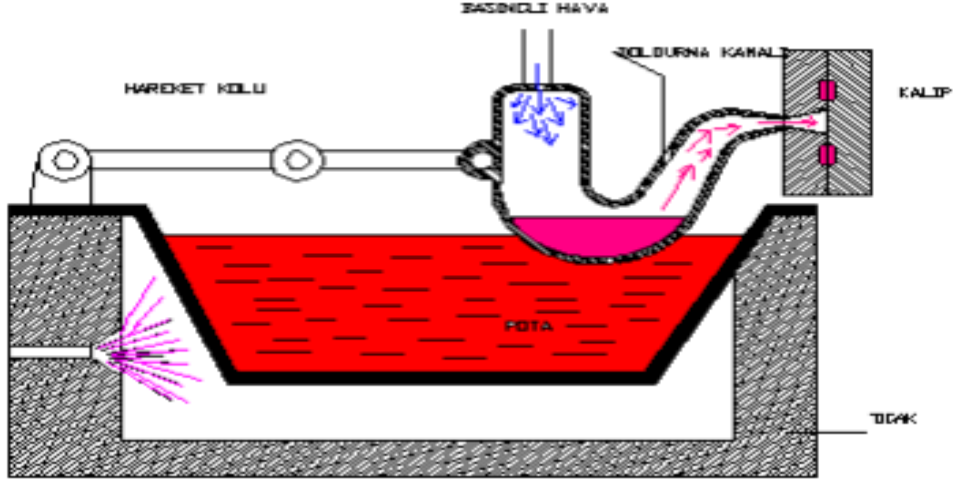


Şekil 3.4.Sıcak Kamara Tipi Basınçlı Döküm Makinasının Şematik Gösterimi

3.2.2.1.2.Havalı Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm Makineleri

Günümüzde diğer basınçlı döküm makinelere göre kullanımı az olan bu tür makineler, Alüminyum alaşımlarının imalatında kullanılmaktadır. (5) Soğuk hazneli makinaların geliştirilmesi ile alüminyum alaşımlarının havalı makineler ile dökümü oldukça azalmış durumdadır. (3)

Havalı makineler; görsel olarak kazın boynuna benzetildiğinden dolayı kaz boynu da denilmektedir. Hareketli kol yardımıyla, hareket edecek kola bağlı bulunan kaz boynu ergimiş metal içine daldırılıp ve ergimiş metal içerisine daldırılan kaz boynu içine ergitilmiş metalin doldurma kanalından dolması sağlanmaktadır. Bununla birlikte hareket kolu vasıtası ile kaz boynu ergimiş metali kalıba basacak biçimde kilitlendikten sonra eriyik, kaz boynu yardımıyla kalıp içerisine basınçlı (yaklaşık 35 kg/cm²) bir hava yardımı ile doldurulmaktadır. Bekleme haznesi içerisindeki ergimiş metal alaşımı ergime noktasının üstündeki bir sıcaklıkta bekletilmektedir. (10)

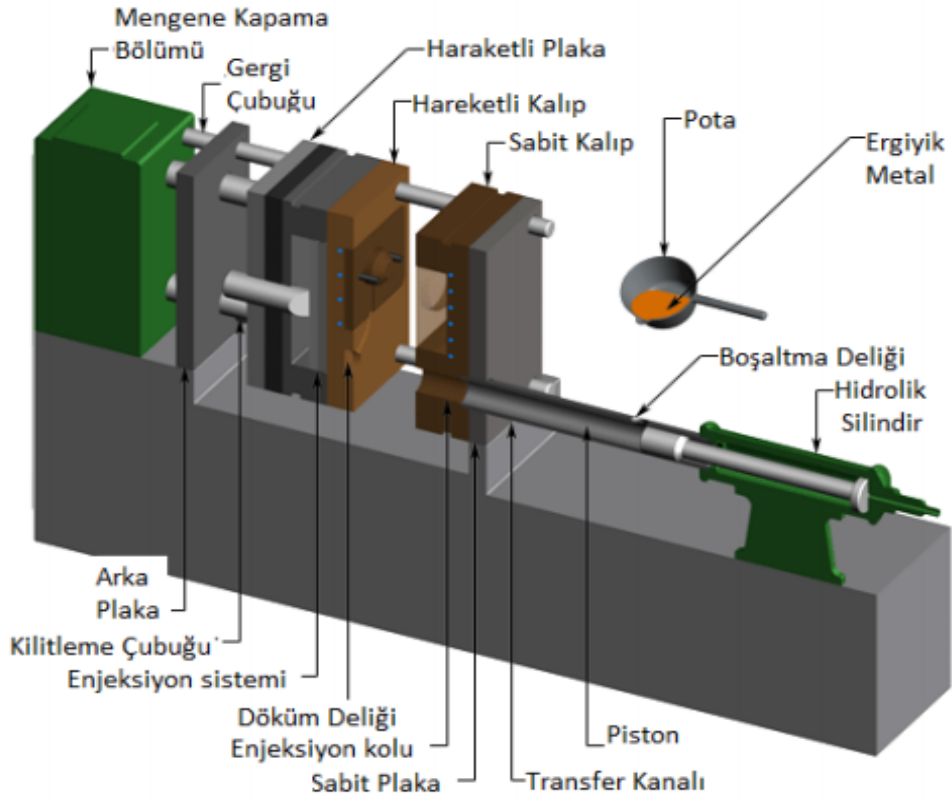


Şekil 3.5. Basınçlı Hava ile Çalışan Makinenin Şematik Şekli (10)

Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm Makinelerinin bir türü olan havalı ve pistonlu makinaların yapısal elemanlarında kullanılan malzeme türleri; gömlek malzemesi genellikle H13 takım çeliği veya yüksek hız çeliği, nitrürlemeye uygun alaşımlı çelik veya paslanmaz çeliktendir. Kaz boynu ve hazne, gri (esmer) dökme demir, küresel grafitli dökme demir veya çelikten imal edilebilir. Meme (nozül) malzemesinin imalatında ise paslanmaz çelik veya H13 takım çeliği kullanılır. Ayrıca, pistonlu makinaların pistonu için de alaşımlı dökme demir kullanılır. (3) (14)

3.3.2.2. Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm Makineleri

Bu makinelerin en önemli farkı; sıcak hazneli makinalardaki gibi döküm potasının makinaya bitişik olmayıp makineden bağımsız bir yerde durmasıdır. Sıcak hazneli makinaların, yüksek ergime dereceli alaşımların dökümünün yapılmasında ihtiyacı karşılayamaması, soğuk hazneli makinaların geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Soğuk kamaralı makinelerde ergime sıcaklıkları Alüminyum (665 °C), Magnezyum (649 °C) ve Bakır (1083 °C) gibi, ergime sıcaklıkları yüksek olan metal alaşımlarının basınçlı dökümünde kullanılmaktadır. Soğuk kamaralı makinalarda hazne içerisine ergimiş metal operatör veya robot yardımıyla doldurulur. Harekete geçirilen piston haznedeki sıvı metali yüksek bir basınçla kalıp boşluğuna doldurur. Sıvı metal ile kalıp arasındaki ısı transferi sonucunda kalıp içerisinde katılaştıran metal, kalıbın açılması ile itici pimler yardımıyla kalıptan çıkarılır ve kalıp tekrar yağlanarak bir sonraki işlemde kullanılmak üzere hazır hale getirilir. (14) (15)



Şekil 3.6. Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Makinesi (15)

Soğuk kameralı basınçlı döküm makinelerinde eriyik malzeme itenek vasıtasıyla kalıp içerisine yüksek basınçla 2000-2250 kg/cm³ doldurulur. Piston genelde yatay olarak sıkıştırma hareket edip, bazen de dikey olarak hareket edenleri kullanılmaktadır. Bazı hallerde, yarı eriyik hâlde bulunan metal kalıp içerisine piston yardımıyla 50 ton-550 ton aralığında büyük bir basınçla basılır. Bu makinelere basma veya pres döküm makineleri denir. (12)

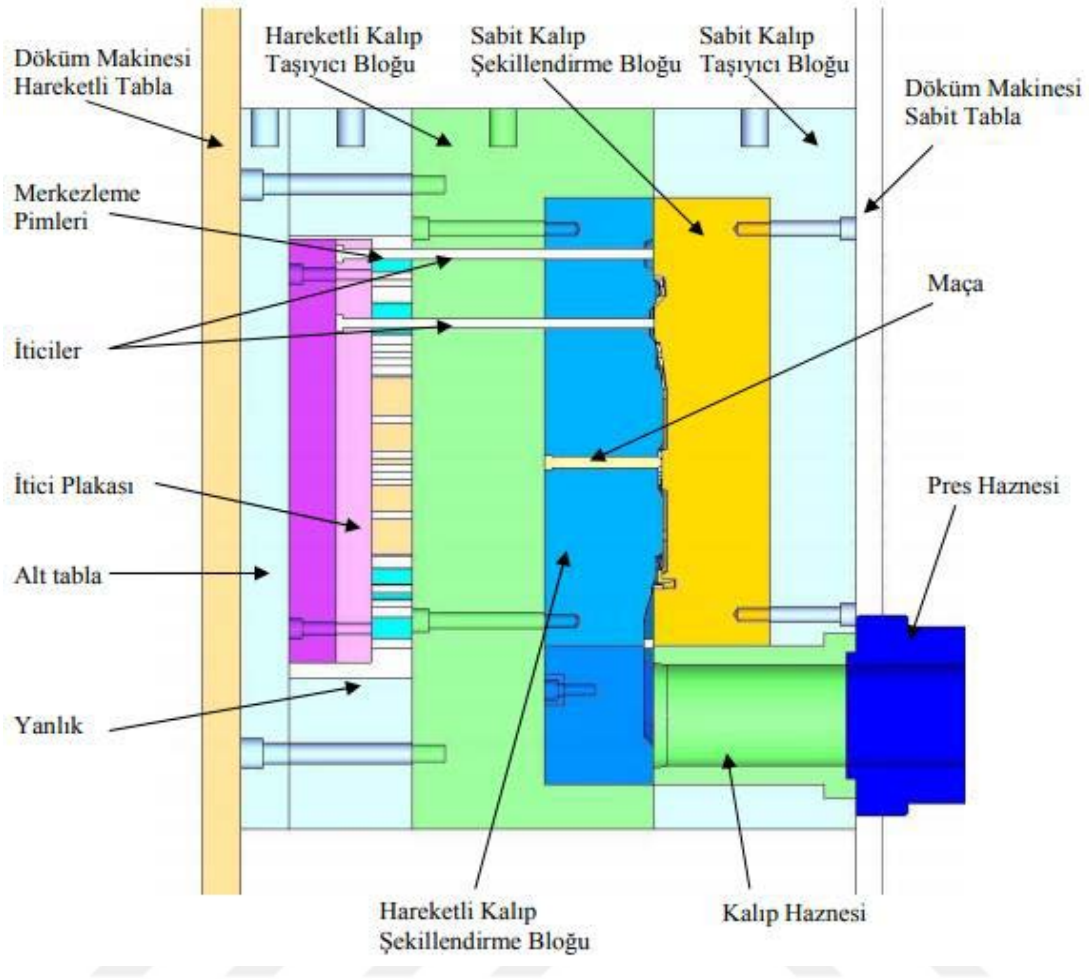


Şekil 3.7 Soğuk Kamaralı Makinede İşlem Döngüsü (12)

3.2.3. Basınçlı Döküm Kalıpları

İki temel parçadan oluşan basınçlı döküm kalıpları, basınçlı döküm makinesinin hareketli kısmına takılan kalıp parçasına hareketli, makinenin hareketsiz kısmına takılan kalıp parçasına ise sabit kalıp denir. Sabit kalıp döküm süresince harekette bulunmaz. Kalıbın boş kısımları genelde talaşlı üretim yöntemleriyle üretilir. Kalıplar birbirini birebir karşılamalıdır. Aksi halde ergimiş malzeme püskürtme hızının yüksek olması sebebiyle ergimiş malzeme yüzeyden dışarı çıkar. Bu durum hatalı ürün elde edilmesini ortaya çıkarır. (16)

Kalıp içerisinde, katılan parçanın çıkarılması itici pim aracılığıyla olur. Bu pimler, hareketli kalıp tarafına eklenerek itici plaka üstünde bulunur. Malzemenin kalıp içerisinde kolay çıkarılması için parça kalıbın hareketli kısmı içerisinde bulunmalıdır. Şekil 3,5'de basınçlı döküm kalıp şeması belirtilmiştir. (16)



Şekil 3.8. Basınçlı Döküm Kalıpları (16)

Kalıpları birbirinden ayırma yüzeyi simetrik parçaların merkezinde olacak biçimde yapılır. Fakat biçimsiz olan kompleks parçalarda kalıp parçalarını ayırma yüzeyi seçilmesi kolay değildir. Bu tip malzemelerin kalıp parçaları ayırma yüzeyi firmaların verdiği kullanma talimatına ve tasarımcı deneyimine göre belirlenmektedir. (16)

Basınçlı döküm makinelerinde kullanılan kalıplarda, ergimiş malzemenin girişini sağlayan yolluklar, kalıp içerisindeki zararlı gazların çıkması için gaz çıkış yolu, besleme kanalları, parça üstünde istenilen boşluk ve deliklerin elde edilmesinde kullanılan maça ve kalıpları birbirine birleştirme düzenekleri gibi bölümler bulunmaktadır. Dökümü yapılmış parçanın kalıp içerisinden rahatça çıkarabilmek için itici pim kullanılmaktadır. (16)



Şekil 3,9. Basınçlı Döküm Kalıbı (5)

Sıcaklık yüksek oluşu ve yüksek basınç sebebiyle, basınçlı döküm kalıplarında; çatlak-kırılma, ısıl yorulma, erozyon-korozyon benzeri problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemleri minimum seviyeye düşürmek için kalıp malzemelerinde bulunması gerekli başlıca yetenekler; (17)

1- Homojenlik ve Yapısal sağlamlık

2-Basit işlenme özelliği,

3-Sıcakta çalışma esnasında, ısıl problemlere karşı yüksek mukavemet,

4-Döküm esnasında aşınmayı önleyecek şekilde dayanım ve sertlik,

5-Molekül boyutta çatlağı önlemek için yeterli dayanıklılık,

6-Dökümü yapılacak olan metalin silici ve aşındırıcı tesirine karşı yüksek mukavemet,

7- Isıl iletkenliği yüksek,

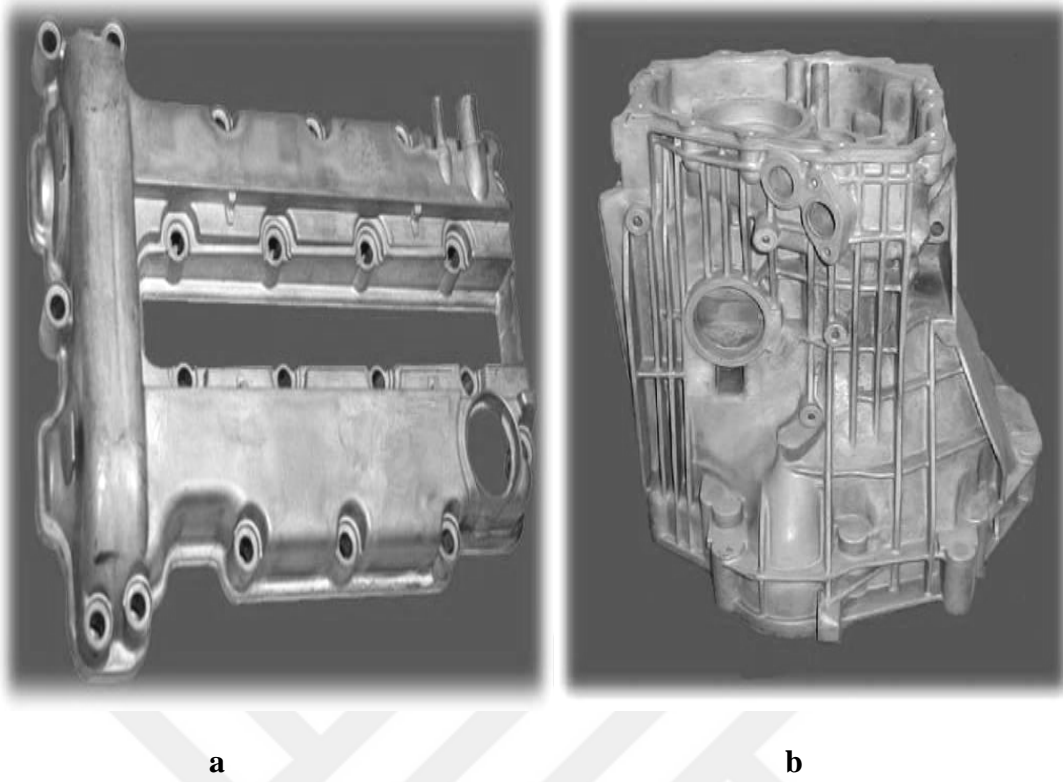
8- Isıl genleşme katsayısı çok düşük,

Kusursuz imal edilmiş kalıp ile Magnezyum ve Çinko alaşımından ortalama iki yüz bin parça dökülürken, Bakır alaşımları için bu oran ortalama on bin civarındadır. (5)

3.2.4. Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümü

Bugüne kadar, Magnezyum alaşımları için toplam uygulama ürünlerinin neredeyse %90' ı döküm işlemlerini içermektedir. Bununla birlikte, döküm magnezyum alaşımlarının uygulamaları hala sınırlıdır. Ana nedenlerden biri, oda sıcaklığındaki mekanik özelliklerin ve ticari döküm Magnezyum alaşımları için yüksek sıcaklıkların, Al alaşımlarına kıyasla hala yetersiz olmasıdır. Sonuç olarak, yüksek performanslı döküm Magnezyum alaşımlarının geliştirilmesi son yıllarda çok fazla küresel ilgi görmüştür ve özellikle ticari döküm magnezyum alaşımlarının modifikasyonu ve düşük maliyetli, yüksek mukavemetli ve / veya sürünmeye karşı dayanıklı dökümün geliştirilmesi üzerine birçok olumlu sonuç alınmıştır. (26)

Magnezyum alaşımlarının dökümünde en çok tercih edilen metot, basınçlı döküm metodudur. (27) Magnezyum alaşımlarının imalatı; elektronik parçalardan otomobil parçalarına kadar çok geniş bir üretim yelpazesinde kendine yer bulmuş bir imalat metodudur. Bu metot; imalat kapasitesi yüksek, aynı tür malzemelerin aynı işlemlerin tekrarı ile imalatında kullanılan, bir kalıplama yöntemidir. Üretim aşaması, ergimiş metalin yüksek basınç altında metal bir kalıba doldurulması olarak isimlendirilir. Basınçlı döküm yönteminde, eriyik halde bulunan sıvı metalin yüksek basınç ve sıcaklık ile püskürtülebilmesinde kullanılan kalıp, parçanın kalıptan aynı anda çıkabilmesi için, kalıptan çıkacak katılığa kadar soğutulmasını da hızlı bir şekilde sağlamaktadır. Bu döküm yöntemi ile ergimiş Magnezyum metali istenilen boyutlarda ve sıkıntısız bir şekilde mümkün olduğunca en hızlı çevrim zamanında, istenilen son biçime dönüştürülmesi konusunda benzersiz bir kabiliyete sahiptir. Basınçlı döküm yöntemi ile malzemeler, plastik enjeksiyon yöntemine benzer bir şekilde, genel olarak ilave ikincil bir işleme ihtiyaç duyulmadan son halinde imal edilmektedir. (28)



Şekil 3,10 AZ91 Magnezyum Alaşımı İle Üretilmiş Döküm Parçaları a) Üst Yağ Kapağı b) Aktarma Parçası (29)

Basınçlı döküm metoduyla Magnezyum ve alaşımlarının biçimlendirilmesi, Başka döküm metotları ile kıyasla daha iyi netice verebilmektedir. Magnezyum alaşımları basınçlı döküm yöntemi ile sıcak kameralı veya soğuk kameralı makineler kullanılmaktadır. Sıcak kameralı makinelerde; püskürtme mekanizması, ergimiş sıvı metalin bekletildiği fırınının içerisinde ergimiş Magnezyum banyosuna daldırılır ve eriyik malzeme piston aracılığıyla kalıba içerisine gönderilir. Bu metotla çoğunlukla boyutu küçük Magnezyum alaşımı malzemelerin dökümünde kullanılır. Maliyetli bir üretim yöntemidir. Soğuk kameralı basınçlı döküm makineleri; ergimiş metal el potaları veya otomatik sistemler ile hazneye doldurulur. Bu makinaların avantajı ise büyük et kalınlığına sahip parçaların üretiminde kullanılıyor olması. (1)

Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde katılma sırasında metale uygulanan basınç, meme giriş ve piston hızı, kalıp sıcaklığı ve sıvı metalin ergitme veya döküm sıcaklığı gibi işlemlerin farklı değerler olarak uygulanması parça kalitesine, mekanik özelliklere, porozite ve kusurlu parça imalatında direkt tesir etmektedir. Farklı değerler olarak üretilen numunelerde parça kalitesine, mekanik özelliklere, porozite oluşumu, deneysel olarak incelenmiştir. (30)

Magnezyum alaşımlı malzemelerin imalatında kullanılan basınçlı döküm yönteminde çevrimin ve katılaşmanın hızlı olması dolayısı ile tane yapısı ince malzeme elde edilir. Bu yöntemde döküm esnasında kalıp içerisinde oluşan gazlar gözeneklik meydana getirmektedir. Gözenek ise parçaları, mukavemet, ısıl işlem ve kaynak edilebilirlik açısından olumsuz hale getirmektedir. Basınçlı döküm yöntemi, viskozitesi düşük alaşımların kullanıldığı, ince et kalınlığına sahip malzemelerin imalatı için uygun bir metottur. (31)

Basınçlı döküm malzemesi olarak endüstride en çok kullanılan magnezyum alaşım serileri: AS (Magnezyum-Alüminyum-Mangan-Silisyum-), AM (Magnezyum-Mangan Alüminyum), AZ (Magnezyum-Çinko-Mangan-Alüminyum), ve yeni geliştirilen AE (Magnezyum-Alüminyum-Nadir toprak serisi) bu alaşımların özellikleri Çizelge 2 de belirtilmiştir. (32)

Çizelge 3.2. Basınçlı Döküm Magnezyum Alaşımlarının Genel Özellikleri (32)

Magnezyum Alaşımı	Genel Özellikleri
AZ91D	Magnezyumun basınçlı dökümünde en çok kullanılan alaşımdır. Oda sıcaklığında yüksek mukavemet, döküm yeteneği üstün, atmosferik kararlılık iyi ve tuzlu su ortamında yüksek aşınma direnci özelliği gösterir.
AM60B	Tokluk ve şekil değiştirme kabiliyeti iyi, sulu ortamda (Tuzlu) korozyon direnci yüksektir. Yüksek çekme ve akma mukavemetine sahiptir.
AE42	Sürünme direnci bakımından diğer basınçlı döküm alaşımlarına göre üstündür. Döküm yeteneği fena sayılmaz. Yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya uygundur.
AS21	175 °C' ye kadar Sürünme direnci iyidir. Sulu ortamda (Tuzlu) korozyon direnci yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya uygundur.

Döküm işlemi için hazırlanan ergimiş Magnezyum alaşımının hava ile temas etmesine izin verilirse, hızla oksitlenme meydana gelir. 450°C'nin altında, katı halde bulunan Magnezyum metalinin oksitlenmesi bilakis koruma etkisi yapar. Fakat 475°C' sıcaklığın üstünde çıkıldığında oksit film tabakası, gözenekli olarak koruyucu etkisini kaybeder. Oksitlenme hızı zamana bağlı olarak lineer şekilde artış göstererek, metalin tümünü kapsayacak şekilde devam eder. 623°C'nin üstünde Magnezyum metali yanar. Bu sorunun giderilmesi için geliştirilen çözüm ergimiş magnezyum alaşımının bir koruyucu gaz ile kaplanmasıdır. En çok kullanılan SF₆ ve SO₂ gazları Magnezyum eriyiğinin korunmasında bu görevi ifa etmektedir. (33)

4.MATERYAL VE YÖNTEM

4.1.Giriş

Bu çalışmada, AZ91 Magnezyum alaşımının; soğuk hazneli Magnezyum enjeksiyon makinası ile standartlara uygun kalıplara çeşitli işlem parametrelerinin (döküm sıcaklığı, kalıp içi basınç ve yolluk giriş hızı) değiştirilerek üretilmiştir. Farklı işlem parametrelerinde dökümü yapılmış üç farklı numuneye ve geleneksel döküm yöntemi ile dökümü yapılmış numunelere uygulanan, çekme testi, sertlik testi, aşınma testi ve mikro yapı incelenmesiyle basınçlı döküm yöntemi ve geleneksel döküm yöntemi ile üretilmiş numunelerin mekanik özellikleri ve tane boyutları bakımından kıyaslanmasını içermektedir. Bu sebeple farklı döküm parametrelerinde AZ91 alaşımların üretimi ve üretilen alaşımların mikro yapı ve mekanik testleri çalışmanın ana başlıklarını oluşturmuştur. Ayrıca Magnezyum metali ve alaşımları, basınçlı döküm, basınçlı döküm makineleri ve kalıpları ve magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümü ile üretimi hakkında bilgiler verilmiştir. AZ91 Magnezyum alaşımlarının döküm işlemi Yıldız Teknik Üniversitesinin makine bölümü basınçlı döküm laboratuvarında yapılmıştır. Farklı döküm parametrelerinde üretilen AZ91 alaşımından elde edilen numunelerin ve geleneksel döküm yöntemi ile üretilen numunelerin çekme testi, sertlik testi ve metalografik analizleri Çemaş Döküm A.Ş. laboratuvarlarında, aşınma testi ise Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Basınçlı döküm yöntemi ile AZ91 Magnezyum alaşımına, farklı döküm parametreleri (döküm sıcaklığı, kalıp içi basınç ve yolluk giriş hızı) uygulanarak üretilen parçalara, çekme testi, sertlik testi, aşınma testi ve mikro yapı analizi uygulanarak alaşımların mekanik ve metalografik özellikleri tespit edilmiştir.

4.1.1 Alaşım Malzemesinin Kimyasal Kompozisyonu

Deney numuneleri AZ91 basınçlı döküm Magnezyum alaşımı ve geleneksel döküm yöntemi ile üretilmiş külçe AZ91 Magnezyum alaşımı tornada işlenerek hazırlanmıştır. Döküm sanayinde en çok kullanılan basınçlı döküm Magnezyum alaşımları AZ91 serisi alaşımlardır. Oda sıcaklığında mukavemeti iyi, döküm yeteneği iyi, atmosferik kararlılık iyi ve Sulu ortamda (tuzlu) mükemmel korozyon direncine sahiptir. Fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi olmasının yanında, mükemmel döküm yeteneği sergilemektedirler.

Deneysel numunelerin üretimi aşamasında kullanılan ve Esan Eczacıbaşı Endüstri Hammaddeler San ve Tic. AŞ. Firması tarafından üretilen AZ91 külçelere ait kimyasal kompozisyon Çizelge 4,1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. AZ91 Alaşımının Kimyasal Kompozisyonu (Esan)

Kimyasal kompozisyon		Maximum
Mg	(%)	88 – 90,50
Be	(%)	0,0005 - 0,0015
Al	(%)	8,50 - 9,50
Cu	(%)	Max. 0,025
Ca	(%)	Max. 0,010
Zn	(%)	0,45 - 0,90
Mn	(%)	0,17 - 0,40
Ni	(%)	Max. 0,001
Fe	(%)	Max. 0,004
Si	(%)	Max. 0,050
Sn	(%)	Max. 0,010
Zr	(%)	Max. 0,010
Pb	(%)	Max. 0,010
Ti	(%)	Max. 0,010
P	(%)	Max. 0,010

4.2.Deney Numunelerinin Hazırlanması

İlk olarak basınçlı döküm yöntemi ile dökümü yapılacak olan külçe haldeki AZ91 magnezyum alaşımı, Yıldız Teknik Üniversitesi basınçlı döküm laboratuvarında bulunan 200 kg ergitme kapasitesine sahip ergitme fırını ile ergitildi.

Çizelge 4.2. Döküm İşlem Parametreleri

Döküm İşlem Parametreleri			
Test Numarası	Döküm Sıcaklığı(°C)	Kalıp İçi Basınç(Bar)	Yolluk Giriş hızı(m/s)
1	680	1000	30
2	680	1000	45
3	640	1200	45
4	Geleneksel Döküm Yöntemi ile Elde Edilmiş Numune		

Daha sonra ASTM B557M – 2016 çekme standartlarına uygun olarak tasarlanan kalıplar vasıtası ile Çizelge 4,2’ de belirlenmiş döküm işlem parametreleri Şekil 4,1’ deki Yıldız Teknik Üniversitesi basınçlı döküm laboratuvarında bulunan 1600 kN’ lük Metal Pres MP100 soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesinde, sabit kalıp sıcaklığı 175 °C hareketli kalıp sıcaklığı 225 °C (ortalama 200 °C kalıp sıcaklığında) olarak belirlenmiştir. Koruyucu gaz derişimi tüm testlerde hacimsel olarak %0,25 SF₆-Balans N₂ gazı olarak belirlenip, koruyucu gaz debisi 600 l/h değeri olarak seçilip basınçlı döküm işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4,1. Metal Pres MP100 Basınçlı Döküm Makinesi

4.4. Metalografik İnceleme

Şekil 4,2 ‘deki gösterilen Çemaş Döküm Sanayi A.Ş. kalite kontrol laboratuvarında bulunan, Struers numune hazırlama cihazı ile Magnezyum alaşımlarından imal edilmiş numuneler,

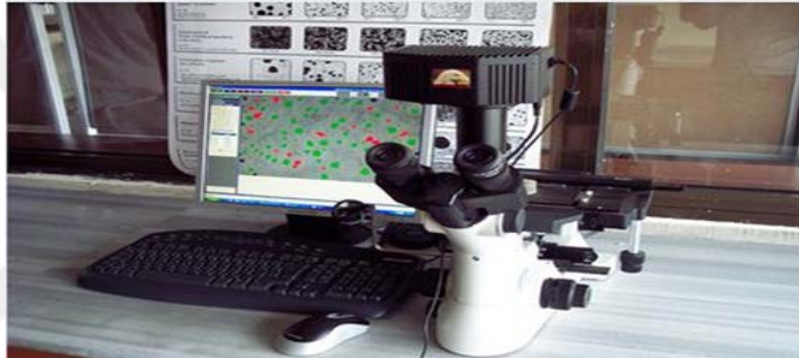


Şekil 4.2.Struers Numune Hazırlama Cihazı

1200, 1000, 500 ve 320 mesh' lük kâğıt zımparalar kullanılarak zımparalanmıştır. Daha sonra, numuneler koloidal silika ve 3 µm' lik elmas pasta ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra numune üzerine asetil glikol (20 ml asetik asit, 1 ml nitrik asit, 60 ml etilen glikol, 19 ml destile su) kullanılarak dağlama işlemi yapıp numune mikro yapı incelenmesi için hazır hale getirilmiştir.

4.4.1. Optik Mikroskopla Mikro yapı İncelenmesi

Numunelerin mikro yapıların görüntülenmesi Çemaş Döküm Sanayi A.Ş. kalite kontrol laboratuvarında bulunan Şekil 4,3' deki Nikon Eclipse MA100 optik mikroskobu kullanılmıştır. Tane boyutu analizinde Metalim görüntü analiz programı kullanılmış olup, ASTM E112 standardına göre çizgi kesişme yöntemi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.



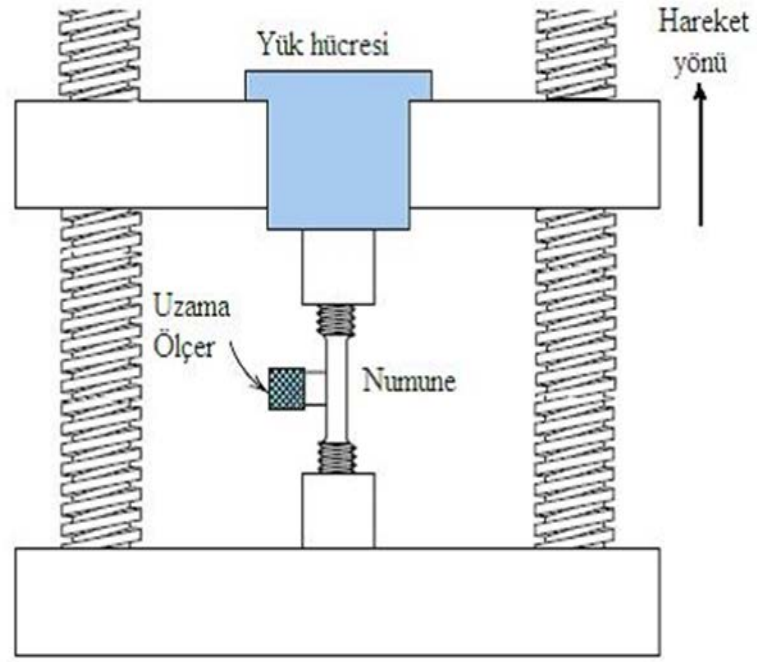
Şekil 4,3 Nikon Eclipse MA 100 Optik Mikroskop

4.3. Mekanik Testler

4.3.1. Çekme Testi

Çekme testi yapılacak numune, çekme test cihazının üst ve alt çeneleri arasına yerleştirilerek çekme testi başlatılır. Örnek bir çekme cihazının Şekil 4,4' de şematik olarak gösterilmektedir. Yapılan test sırasında üst çenenin yukarı doğru hareket etmesi sağlanarak sürekli olarak numuneye çekme yükü artırılarak uygulanarak, kopma zamanına kadar hem uygulanan yük ve numunede meydana gelen yüzde uzama değeri kaydedilir.

(34)



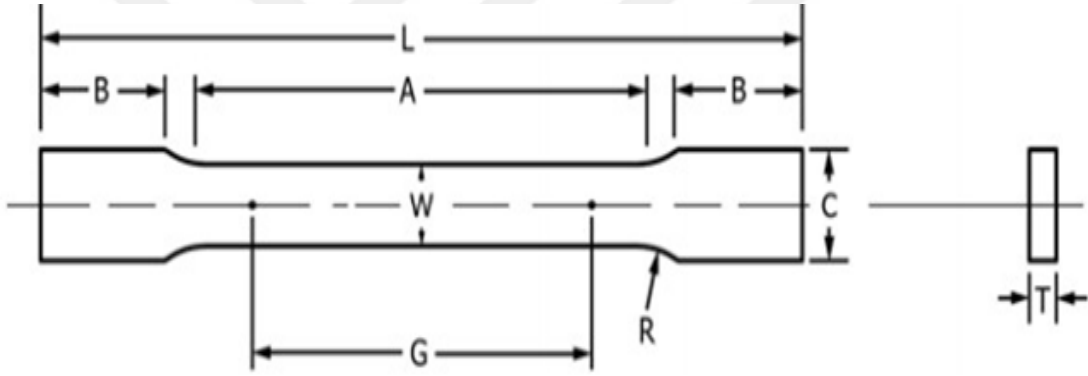
Şekil 4.4.Çekme Deneyinin Şematik Gösterimi (34)

Çekme testi malzeme özelliklerini belirlemek ve malzemelerin mekanik davranışına göre sınıflara ayrılmasının sağlayabilmek gayesi ile yapılmaktadır. Çekme testi sık sık kullanılan mekanik malzeme muayene metotlarından bir tanesidir. (34)



Şekil 4.5. Çekme Test Numunesi

Şekil 4,6' da ki ASTM B557M – 2016 çekme standartlarına uygun olarak tasarlanan kalıplar vasıtası ile farklı mekanik özelliklere sahip çekme test numuneleri elde edilmiştir.



Şekil 4.6.ASTM B557M – 2016 Standartlarında Çekme Test Numunesi

Çizelge 4.3. ASTM B557M – 2016 Standartlarına Göre Çekme Numunesi Ölçüleri

	Numune Boyutu (mm)	
	Standart 12,5 mm genişliğinde numuneler için boyut ölçüleri	6 mm genişliğinde numuneler için boyut ölçüleri
G -İlk ölçü uzunluğu	50,00 ±0.1	25±0.1
W -Gövde genişliği	12.5±0.2	6±0.1
T -En küçük numune kalınlığı	En küçük numune kalınlığı	En küçük numune kalınlığı
R -En küçük numune kavis yarıçapı	12.5	6
L -Numune toplam uzunluğu	200	100
A -En küçük numune gövde uzunluğu	57	32
B -Numune kavrama uçları uzunluğu	50	30
C -Gövde genişliği	20	10

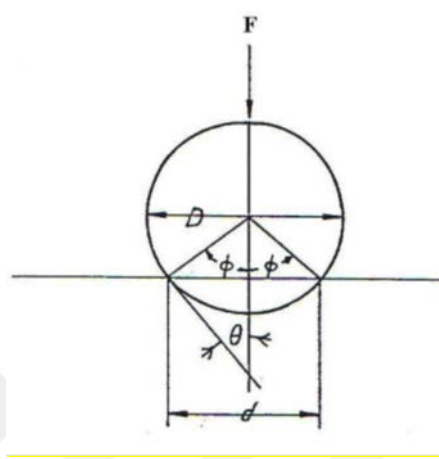
ASTM B557M – 2016 standartlarına uygun olarak üretilmiş Şekil 4,6'daki çekme test numunelerine Şekil 4,7'deki Çemaş Döküm Sanayi A.Ş. bulunan 300 kN kapasiteli Alşo Utm 100 çekme test cihazı ile oda sıcaklığında ve 0,2 mm/dk. İlerleme hızında olacak şekilde numunelere çekme testi uygulanmıştır.



Şekil 4.7.Alşo Ktm 100 Çekme Test Cihazı

4.3.2.Sertlik Testi

1990 yılında J.A. Brinell tarafından Brinell sertlik ölçme testi, bilimsel camiada genellikle kabul görmüş ve standartlaştırılmış ilk sertlik ölçme testi olarak tescillenmiştir. Bu mekanik test, sertlik değeri belirlenecek numunenin yüzeyinde bir bilye yardımı ile uygulanan yük vasıtasıyla oluşturulan izin, oluşan yükün iz düşüm çapının ölçülmesi ile belirlenmektedir. (35)



Şekil 4.8 Brinell Sertlik Deneyinin Prensip Şeması. (35)

Brinell sertlik değeri, uygulanan yükü (kg) izin yüzey alanına (mm^2) bölünmesi ile hesaplanır; (35)

$$HB = \frac{2F}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

Basınçlı döküm yöntemi ile farklı döküm parametreleri uygulanarak elde edilen numunelerin sertlik testleri, Çemaş Döküm Sanayi A.Ş. kalite kontrol laboratuvarında bulunan Şekil 4,9'daki en fazla 3000 Kg yük uygulama kapasiteli Brinell skalasına sahip Emco Test Dura vision 30, Mepro sertlik ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.9. Emco Test Dur Vision 30, Mepro Sertlik Ölçme Cihazı

Sertlik testi uygulaması, numuneye 5 mm bilye çapı ile 75 kg kuvvet uygulanarak,30 saniye sürede numunelerin üç farklı noktasından alınan sertlik değerlerinin ortalaması alınarak, her numunenin sertlik değerleri belirlenmiştir.

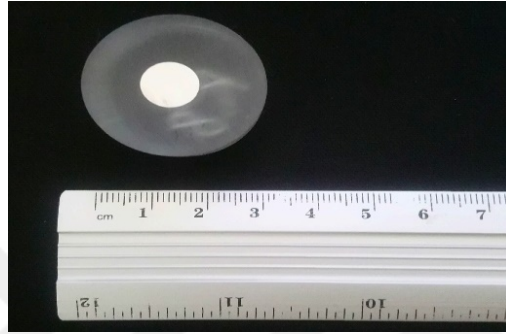
4.3.3.Aşınma Testi

4.3.3.1.Aşınma Test Parametreleri

Kuru ortam kayma aşınma deneyleri Şekil 4,9.'da gösterilen CSM marka aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10.'da gösterildiği gibi numuneler kalıplanmış ve yüzeyleri parlatılmıştır. Aşınma deneyleri öncesinde tüm deney numunelerinin yüzeyleri (20 μm yüzey pürüzlülük değerinin altında olacak şekilde) aynı pürüzlülük değerine getirilmeye çalışılmış ve böylelikle farklı yüzey pürüzlülük değerlerinin aşınmaya olabilecek etkisi en aza indirgenmiştir. Aşınma testlerine başlamadan önce tüm numunelerin yüzeyleri alkol ile temizlenmiştir. Aşındırıcı karşıt cisim olarak 3 mm çapında ve küreselliği garantili tungsten karbür (WC) küre kullanılmıştır. Bu aşınma geometrisi ile (ball-on-disc) numune ve aşındırıcı küre arasında nokta teması sağlanmıştır.



Şekil 4.10 CSM Marka Aşınma Test Cihazı



Şekil 4.11 Kalıplanmış ve Parlatılmış Aşınma Deney Numuneleri

Çizelge 4,4'de Aşınma deneylerine ait tüm parametreler verilmiştir. Farklı parametrelerde ve metotlarla üretilmiş AZ91 alaşımı için her bir aşınma testi en az 3 defa tekrar edilmiş, ortalama değerleri göz önünde bulundurularak sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşınma deneyi sonrasında aşınan yüzey bölgeleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), elektron dağılım spektroskopisi ve üç boyutlu yüzey analizi cihazı ile incelenmiştir.

Çizelge 4.4. Aşınma Test Parametreleri

İz yarıçapı	2.49 mm	Aşınma tipi	Kuru ortam kayma aşınması
Lineer hız	5 mm/s	Aşındırma geometrisi	Nokta temas (ball-on-disc)
Yük	2 N	Aşındırıcı karşıt cisim	WC küre, Ø 3 mm
Toplam mesafe	10 m	Ortam koşulları	Oda sıcaklığı, %32 bağıl nem

5.DENEYSEL BULGULAR

5.2.Metalografik İnceleme

5.2.1.Optik Mikroskop Bulguları

Çizelge 5,1.'de basınçlı döküm ve geleneksel döküm yöntemi ile elde edilmiş numunelerin optik mikroskop yardımı ile elde edilen tane boyutu ölçüleri gösterilmiştir.

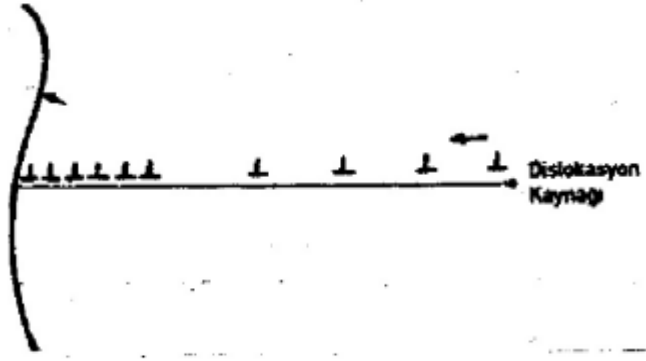
Çizelge 5,1. Numunelerin Tane Boyutu Ölçüleri

Numune No	Döküm İşlem Parametreleri			Ortalama Tane uzunluğu (mm)	ASTM Tane Numarası
	Döküm Sıcaklığı(°C)	Kalıp İçi Basınç (Bar)	Yolluk Giriş hızı(m/s)		
1	680	1000	30	0,013	10
2	680	1000	45	0,010	10
3	640	1200	45	0,015	9
4	Geleneksel Döküm Yöntemi ile Elde Edilmiş Numune			0,051	5,5

Döküm işlem parametreleri; ilk numune için 1000 bar, ikinci numune için 1000 bar ve üçüncü numune için 1200 bar kalıp içi basınç değeri belirlenmiştir. Yolluk giriş hızı sırasıyla 30 m/s, 45 m/s ve 45 m/s belirlenmiş ve döküm sıcaklığı ise sırasıyla 680°C, 680°C ve 640 °C olarak belirlenerek uygulanmıştır. Numunelerin ASTM tane boyutları birinci numunenin yolluk giriş hızınının 30 m/s den 45 m/s çıkarılması ile tane irileşmesi olmuştur. Üçüncü numunenin döküm sıcaklığınının 640 °C düşürülmesi ve kalıp içi basıncın yükseltilmesi tane yapısının daha fazla irileşmesine, yani geleneksel döküm yöntemine daha yakın tane boyutu değerlerine ulaşılmıştır.

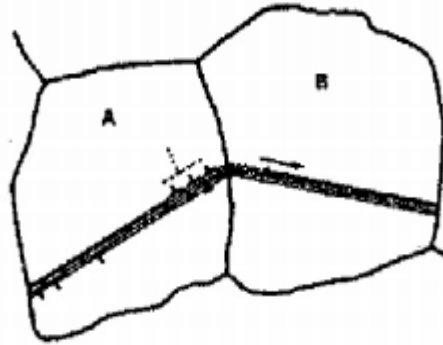
Genellikle metal malzemelerde tane boyutu mekanik özelliklere büyük ölçüde tesir eder. Oda sıcaklığında tane büyüklüğü azaldıkça genellikle akma sınırı, çekme mukavemeti ve sertlik artar, süneklik ise azalır. Tane büyüklüğüne, kalıp ile ergimiş metal arasında ısı transferi bağlı olarak soğuma hızı etkili olmaktadır. Tane boyutunu; hızlı soğutma, çeşitli ısı, mekanik veya termo-mekanik işlemlerle küçültmek mümkündür. İnce tane yapısının malzemenin oda sıcaklığındaki mekanik özelliklerine etkisi başlıca; Sertlik ve sünekliğin artması, dolayısıyla tokluğun artması şeklindedir. Tane sınırları deformasyon esnasında dislokasyon hareketlerine mâni olmasından dolayı, ince tane yapı malzemelerin dayanımı kaba tane yapı malzemelere göre artmaktadır. (34) (36)

Tane boyutunun küçülmesi ile dayanımın artması aşağıdaki mekanizmalarla olur:



Şekil 5.1. Dislokasyonların Tane Sınırında Yığılmasının Şematik Gösterimi (34)

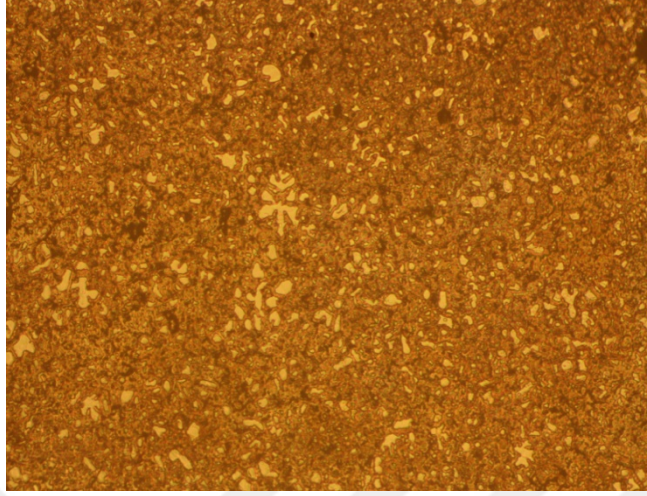
Şekil 5,1'de gösterildiği gibi tane sınırı dislokasyonların hareketine mâni olması sebebiyle, tane sınırlarında bir tane içerisinde meydana gelen kayma bandı durur. Dislokasyon tane sınır engeli ile karşılaştığında hareket edemez ve bunun sonucunda tane sınırlarında dislokasyonlar yığılarak malzeme şekil değiştirmeye mukavemet gösterir. (34)



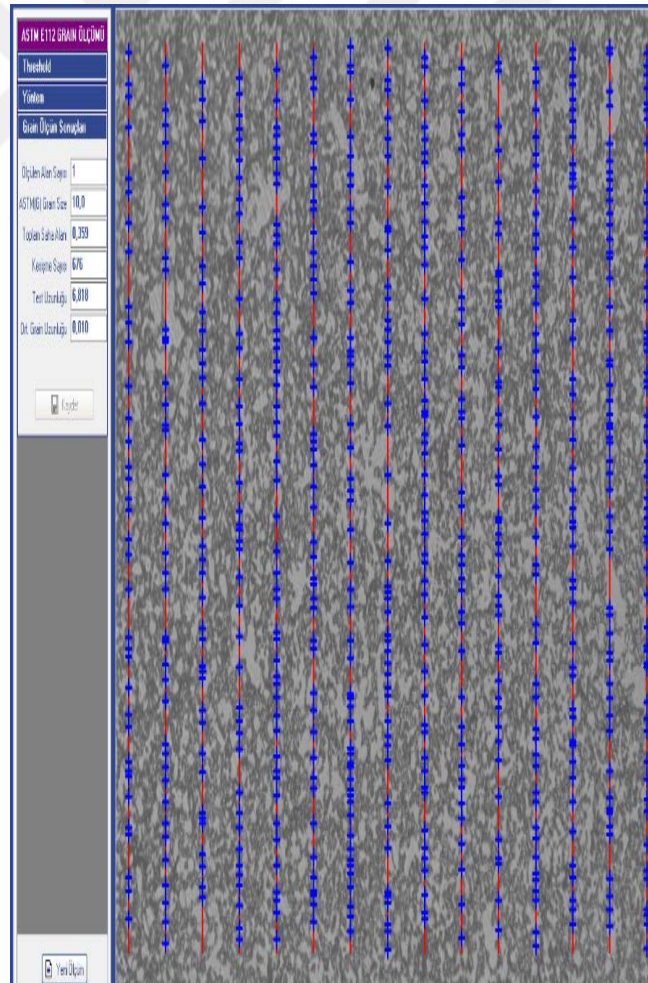
Şekil 5.2. Kaymanın Bir Taneden Komşu Bir Taneye Geçişinin Gösterimi (34)

Basıncılı döküm yönteminde döküm işlem parametreleri doğru seçildiğinde soğuma hızının geleneksel döküm yöntemlerine göre hızlı olmasından dolayı ince taneli yapılı ürün elde edilmektedir. Geleneksel döküm yöntemlerinde soğuma hızı basıncılı döküme göre daha yavaş olduğundan iri taneli yapı elde edilmektedir. (34)

Şekil 5,3 'de 1 numaralı numunenin optik mikroskop görüntüsü ve şekil 5,4'de ASTM tane boyut numarasını veren (x100) büyütmedeki ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.3. 1 Numaralı Basınçlı Döküm Yöntemi ile Elde Edilen Numunenin Optik Mikroskop Görüntüsü (% α -Mg-Mg₁₇Al₁₂: 54,2-45,8)

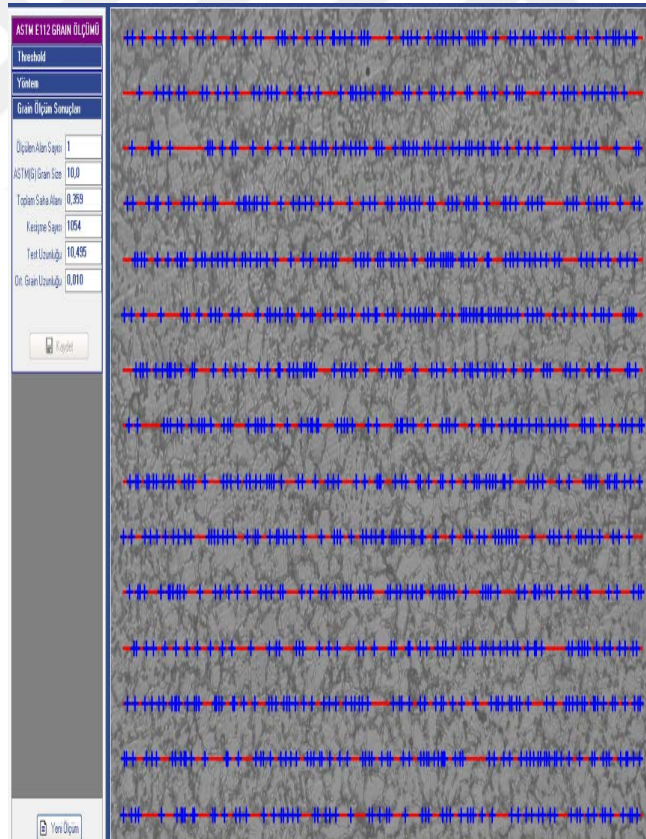


Şekil 5.4. 1 Numaralı Numunenin ASTM Tane Boyutu Ölçümü Ekran Görüntüsü (X100 Büyütme)

Şekil 5,5 'de 2 numaralı numunenin optik mikroskop görüntüsü ve şekil 5,6'de ASTM tane boyut numarasını veren (X100) büyütmedeki ekran görüntüsü verilmiştir.

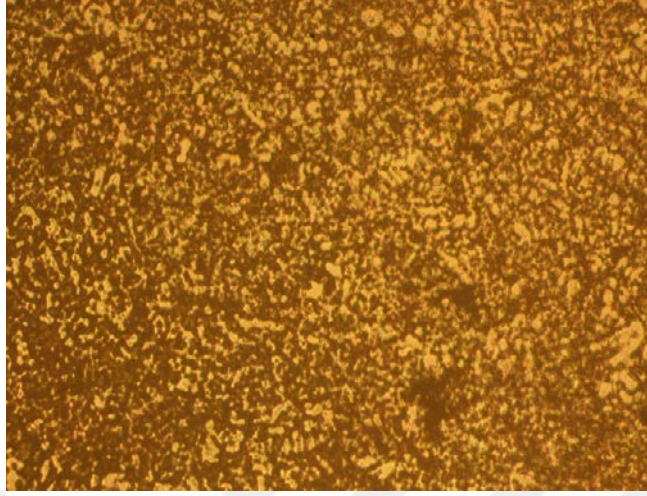


Şekil 5.5. 2 Numaralı Basınçlı Döküm Yöntemi ile Elde Edilen Numunenin Optik Mikroskop Görüntüsü (%A-Mg-Mg₁₇Al₁₂: 60-40)

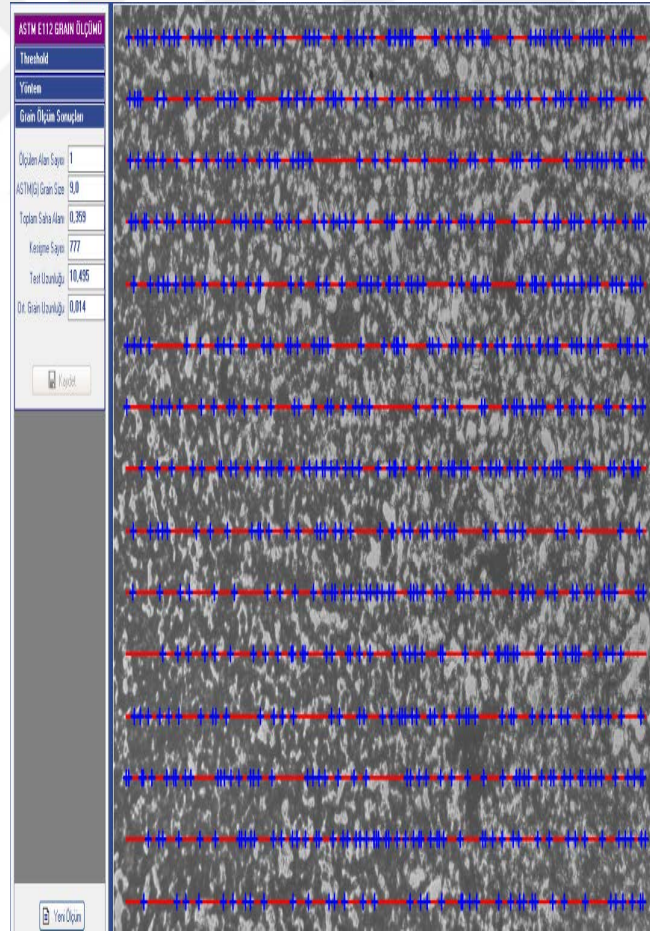


Şekil 5.6. 2 Numaralı Numunenin ASTM Tane Boyutu Ölçümü Ekran Görüntüsü (X100 Büyütme)

Şekil 5,7 'de 3 numaralı numunenin optik mikroskop görüntüsü ve şekil 5,8'de ASTM tane boyut numarasını veren (X100) büyütmedeki ekran görüntüsü verilmiştir.

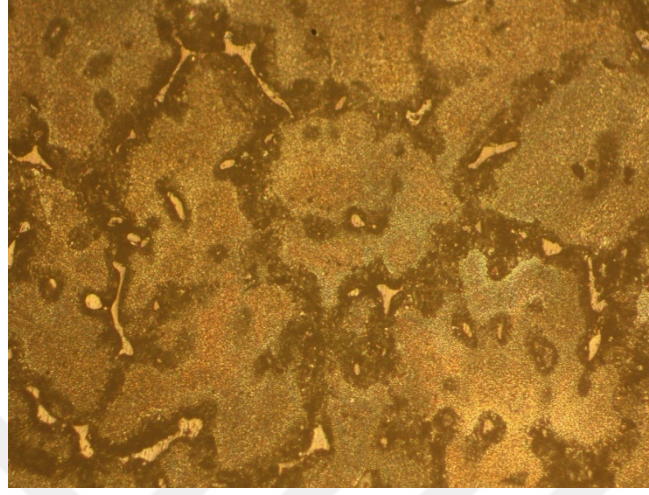


Şekil 5.7 3 Numaralı Basınçlı Döküm Yöntemi ile Elde Edilen Numunenin Optik Mikroskop Görüntüsü (%A-Mg-Mg17Al12: 63,6-36,4)

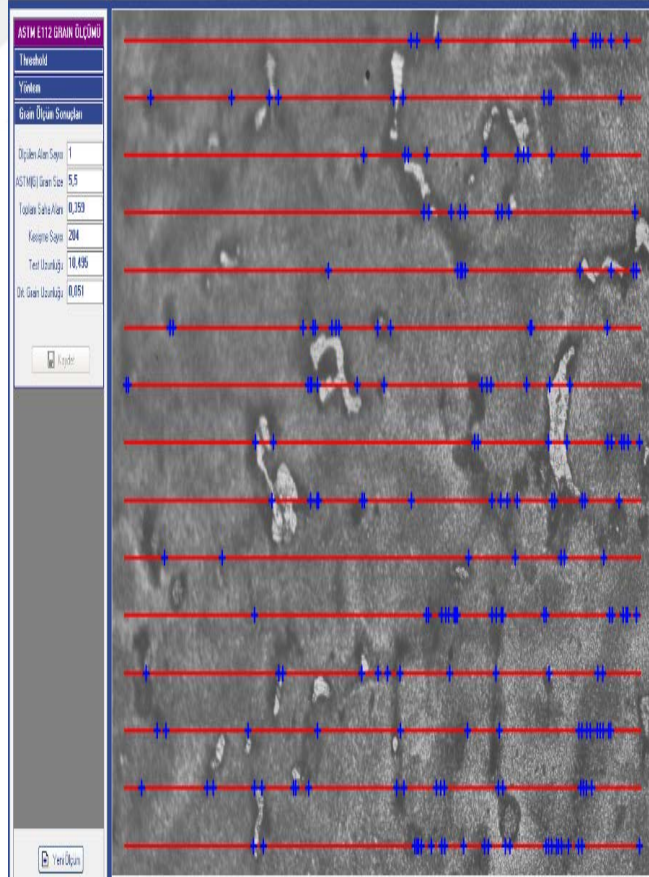


Şekil 5.8 3 Numaralı Numunenin ASTM Tane Boyutu Ölçümü Ekran Görüntüsü (X100 Büyütme)

Şekil 5,9 'de 4 numaralı numunenin optik mikroskop görüntüsü ve şekil 5,10'da ASTM tane boyut numarasını veren (X100) büyütmedeki ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5,9. 4 Numaralı Geleneksel Döküm Yöntemi ile Elde Edilen Numunenin Optik Mikroskop Görüntüsü (%A-Mg-Mg17Al12: 23,9-76,1)



Şekil 5,10. 4 Numaralı Numunenin ASTM Tane Boyutu Ölçümü Ekran Görüntüsü(X100 Büyütme)

5.1.Mekanik Testler ile İlgili Bulgular

Basıncılı döküm yöntemi ve geleneksel döküm yöntemi ile üretilen numunelerin çekme, sertlik test sonuçları çizelge 5,2 ve çizelge 5,3. de verilmiştir.

5.1.1.Çekme Testi bulguları

Çizelge 5,2.'de Soğuk kamaralı basıncılı döküm makinesinde farklı döküm işlem parametreleri uygulanarak basıncılı döküm yöntemi ile elde edilen numunelerin ve geleneksel döküm yöntemi ile elde edilen numunenin çekme test sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5,2. Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

Numune Numarası	Döküm İşlem Parametreleri			Çekme mukavemeti (N/mm ²)	% Uzama
	Döküm Sıcaklığı(°C)	Kalıp İçi Basınç (Bar)	Yolluk Giriş hızı(m/s)		
1	680	1000	30	221	5,8
2	680	1000	45	201	4,7
3	640	1200	45	175	2,5
4	Geleneksel Döküm Yöntemi ile Elde Edilmiş Numune			172	2,25

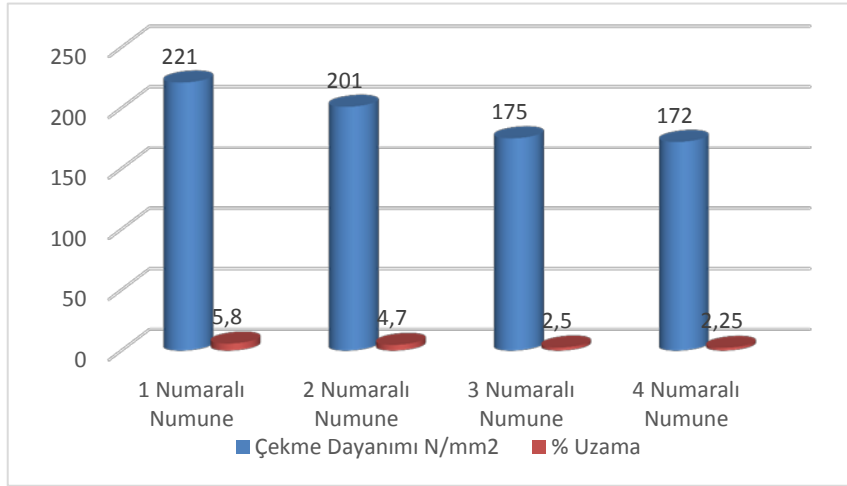
İlk numune için 1000 bar ikinci numune için 1000 bar ve üçüncü numune için 1200 bar kalıp içi basınç değeri seçilmiştir. Yolluk giriş hızı 30 m/s, 45 m/s ve 45 m/s olarak belirlenip, sırasıyla 680°C, 680°C ve 640 °C döküm sıcaklığı uygulanarak çekme test numuneleri üretilmiştir.

Birinci numuneye göre ikinci numunenin döküm sıcaklığının ve kalıp içi basıncının sabit tutularak yolluk giriş hızının yükseltilmesi tane yapısında irileşme meydana getirerek çekme mukavemetini düşürmüştür. Yüzde uzama miktarı ise azalmıştır

Üçüncü numunede döküm sıcaklığının 640 °C olarak belirlenmesi, 1200 bar kalıp içi basınç değeri ve 45 m/s yolluk giriş hızının seçilmesi geleneksel döküm yöntemi ile üretilen numuneye hemen hemen aynı çekme mukavemet değerleri elde edilmiştir.

Çekme deneyi sonrası bir ve iki numaralı numunelerin mukavemet değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç iki nedenden dolayı açıklanabilir; birincisi, tane küçülmesinden dolayı mukavemetin artmasıdır. Tane büyüklüğü metallerin mekanik özelliklerine büyük ölçüde etki eder. Oda sıcaklığında tane boyutu azaldıkça genellikle akma sınırı, çekme dayanımı ve sertlik artar, süneklik ise azalır. İnce tane yapısının malzemenin oda sıcaklığındaki mekanik özelliklerine etkisi başlıca; mukavemet (veya sertlik) ve süneklik artması, dolayısıyla tokluğun artması şeklindedir. Tane sınırları deformasyon sırasında dislokasyon hareketlerine engel olduğunda ince taneli malzemenin mukavemeti kaba taneli malzemeye göre artmaktadır. Diğeri ise Al elementinin Mg içerisinde ikinci bir faz oluşturması "ikinci faz sertleşmesi" (second phase hardening)" adını verdiğimiz hadisedir. Bu sertleşme sonucunda katı çözelti sertleşmesi sonucunda malzemenin akma dayanımı artar ve gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi yukarı doğru kayar. Oluşan fazların oranları alaşımın özelliklerini etkiler niteliktedir. 3 numaralı ve klasik döküm numunelerinde ise tanelerin büyük olması ve faz oranları dikkate alındığında α -Mg fazının yüksek olduğu tespit edilmiştir. 650 °C sıcaklığın üzerinde viskozitenin düşeceği ve kalıp dolumunu daha rahat sağladığı söylenebilir. Uygun basınç ile kalıp iç direncinin yenilmesi ve gözenekliliğin azalması söz konusudur. Düşük yolluk giriş hızlarının ise hem tane yapısı hem de faz oranı açısından daha uygun parametre olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.3. Numunelerin Çekme Testi Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi



Sonuçlar gösteriyor ki meme giriş hızındaki artış çekme mukavemetinde düşmeye sebep olmaktadır. Ayrıca basıncın 1000 bardan 1200 bara yükseltilmesi ve döküm sıcaklığının 640 °C düşürülmesi çekme mukavemet değerinin, geleneksel döküm yöntemine yakın çekme değerine sahip olmasına sebep olmaktadır.

Bu çekme test verilerinden çıkan sonuç basınçlı döküm yöntemi ile üretimde ideal döküm işlem parametrelerin seçilmesi geleneksel döküm yöntemine göre daha küçük tane yapısı elde edilerek, yüksek çekme mukavemet değerleri elde edilmiştir.

5.1.2.Sertlik Testi bulguları

Çizelge 5.4.'de ilk numune 1000 bar ikinci numune için 1000 bar ve üçüncü numune için 1200 bar kalıp içi basınç değeri ve 30 m/s, 45 m/s ve 45 m/s yolluk giriş hızı ayrıca sırasıyla 680°C, 680°C ve 640 °C döküm sıcaklığı uygulanarak elde edilen numunelerin ve geleneksel döküm metodu ile elde edilen numunenin üç farklı noktasından alınan sertlik test değerlerinin ortalaması alınarak sertlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.4. Numunelerin Sertlik Testi Sonuçları

Numune Numarası	Döküm İşlem Parametreleri			Ölçülen Sertlik Değeri (HB)
	Döküm Sıcaklığı(°C)	Kalıp İçi Basınç (Bar)	Yolluk Giriş hızı(m/s)	
1	680	1000	30	84,30
2	680	1000	45	77,90
3	640	1200	45	66,00
4	Geleneksel Döküm Yöntemi ile Elde Edilmiş Numune			62

Sertlik ile tane boyutu arasında önemli bir ilişki vardır ve Hall-Petch ilişkisi olarak bilinmektedir. Bu ilişkiyi belirleyen eşitliğe göre tane boyutu küçüldükçe, alaşımın sertliği ve mukavemeti artmaktadır. (32)

Yapılan mikro yapı analizlerinden de görüldüğü gibi soğuma hızının artması ile tane yapısı küçülmektedir. Tane yapısı incelidikçe, malzemedeki tane miktarı ve dolayısıyla tane sınırlarının sayısı artar. Tane sınırları dislokasyon hareketini engelleyici tesir yaptığından, tane boyutu küçüldükçe malzemenin dayanımının ve sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir. (37)

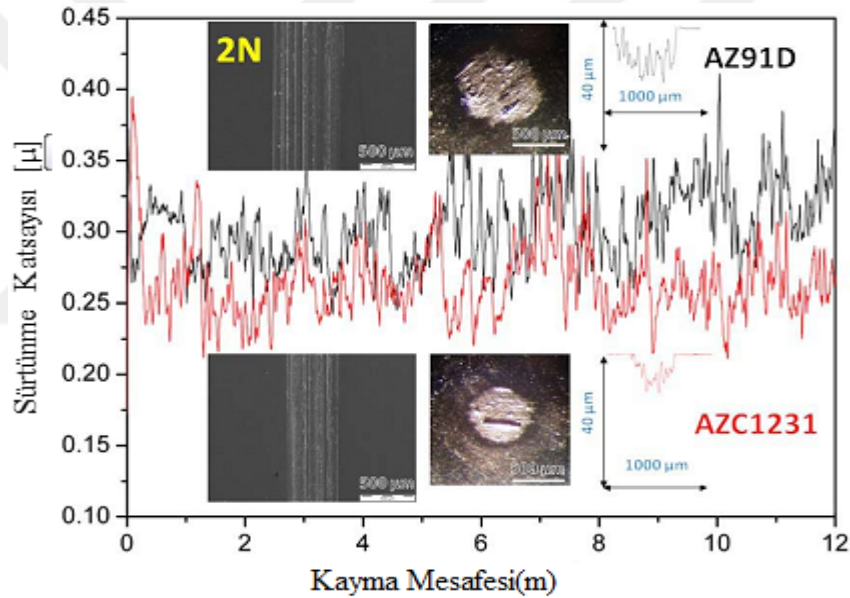
5.1.3.Aşınma Testi bulguları

Geleneksel döküm yöntemi ile basınçlı döküm yöntemi kullanılarak üretilen her bir numune grubundan, üçer adet numune seçilerek kuru kayma aşınma testine tabi tutulmuştur.

Literatür incelendiğinde; Geleneksel ve geri dönüştürülmüş yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş Magnezyum alaşımlarının kuru kayma aşınma davranışı adlı çalışmada, AZ91D ve AZC1231 Magnezyum alaşımlarının aşınma davranışları değerlendirilmiştir. Geleneksel AZ91D ve geri dönüştürülmüş AZC1231 Magnezyum alaşımları soğuk hazneli yüksek basınçlı döküm cihazı ile 690°C sıcaklık ve 400 bar basınç altında üretilmiştir. Aşınma deneyleri çapı 6 mm olan AISI 52100 çelik küre ile ball-on-disc aşınma geometrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuru kayma aşınma testleri 2 N, 5 N ve 10 N olmak üzere 3 farklı yük altında, 10 mm'lik salınım genliğinde, 5 mm/s kayma

hızında ve toplamda 12 mm'lik kayma mesafesinde tamamlanmıştır. Yapılan sertlik ölçümler sonucundan geleneksel olarak üretilmiş numunenin sertlik değeri 83 HV ve geri dönüştürülmüş alaşımın ise sertlik değeri 105 HV olarak belirlenmiştir. (38)

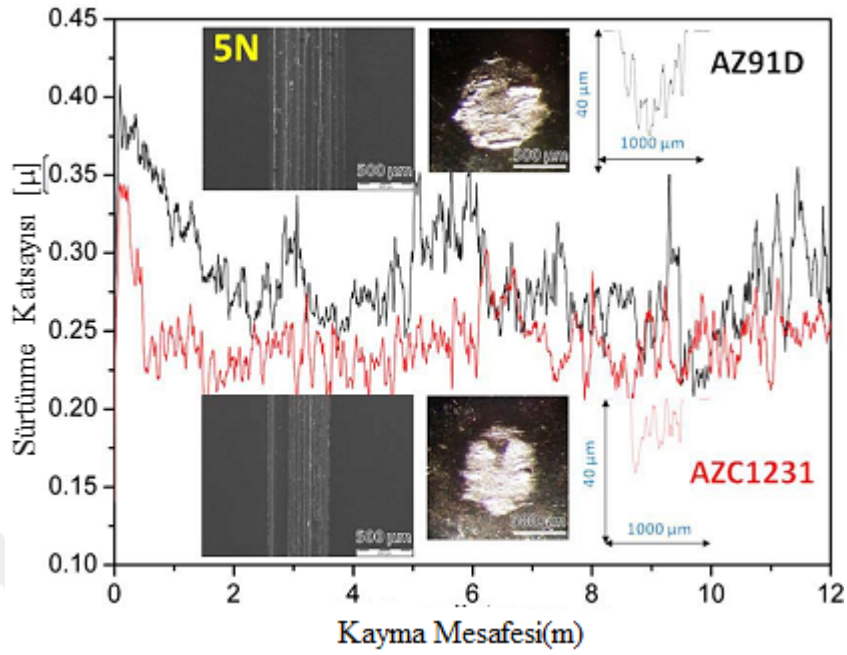
AZ91D ve AZC1231 alaşımlarının 2 N yük altında kayma mesafesi karşısında sürtünme katsayısının değişimi Şekil 5.11'de verilmiştir. Ortalama sürtünme katsayısı AZ91D için 0.31 ve AZC1231 alaşımı için 0,26 olarak tespit edilmiştir. Şekil 5.11 içerisine aşınan yüzeylerin aşınma izleri ve aşınma derinlik profillerine ait görüntüler yerleştirilmiştir. AZC1231 alaşımına göre AZ91D alaşımının aşınma izi sadece geniş değil aynı zamanda daha derindir. AZ91D ile yapılan testlerde Magnezyum alaşımından aşındırıcı küreye olan malzeme transferi daha yüksektir ve temel olarak düşük sertlik değeri altlık malzemenin daha fazla hasar almasına neden olmuştur. (38)



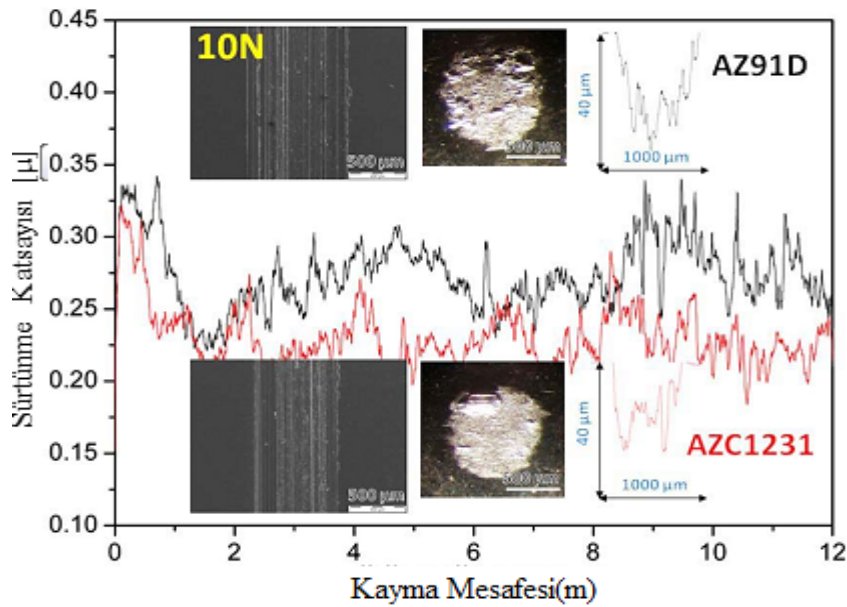
Şekil 5.11. AZ91D ve AZC1231 Magnezyum Alaşımlarının 2 N Yük Altındaki Aşınma Davranışları (37)

AZ91D ve AZC1231 alaşımlarının 5 N yük altında ortalama sürtünme katsayıları sırası ile 0,29 ve 0,25 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.11). Bulunan bu değerler 2 N yük altında elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinden daha düşüktür. Her iki alaşımında aşınma izlerinin genişlikleri ve derinlikleri 2 N yük altında elde edilenlerden daha düşüktür. Yükün 10 N' a çıkarılması ile ortalama sürtünme katsayılarındaki düşüş devam etmekte olup AZ91D için 0.27 ve AZC1231 için ise 0,23 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmadaki gözlemlere dayanarak sürtünme katsayısındaki düşüş, artan yük ile numuneden küreye olan transferin

artması sonucu adhezif transfer mekanizmasına ve hegzagonal sıkı paket (HSP) yapıya sahip Magnezyum alaşımının çelik küre üzerine sıvanmasına atfedilebilir. (37)



Şekil 5.12. AZ91D ve AZC1231 Magnezyum Alaşımının 5 N Yük Altındaki Aşınma Davranışları (37)



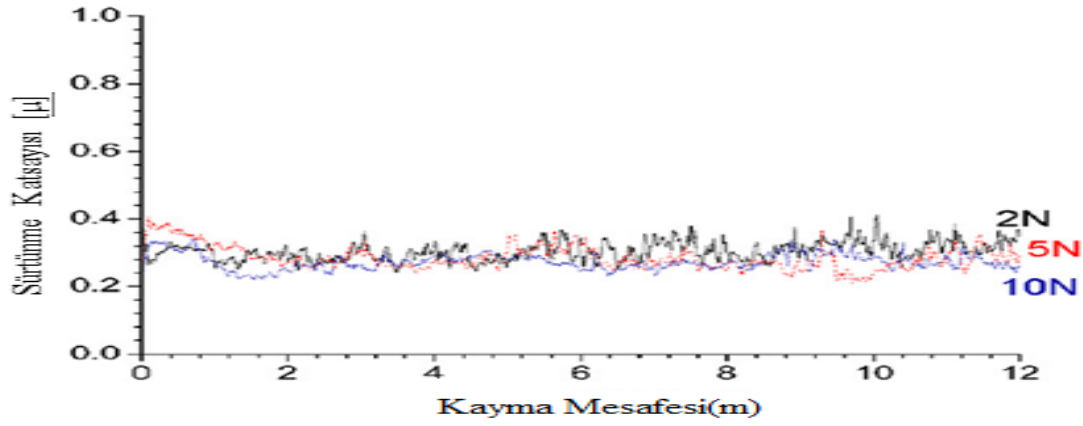
Şekil 5.13. AZ91D ve Magnezyum Alaşımının 10 N Yük Altındaki Aşınma Davranışları (37)

AZ91 alaşımı için yapılan ball-on-disc konfigürasyonundaki kuru kayma aşınma testleri genel olarak 2 N, 5 N ve 10 N olmak üzere 3 farklı yük uygulanarak tamamlanmıştır. Fakat ortalama sürtünme katsayısı değerleri arasında çok büyük bir fark olmayıp 2 N, 5 N ve 10

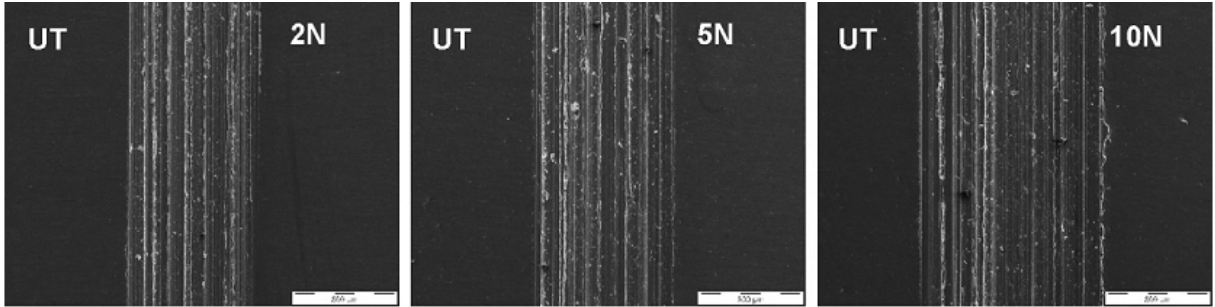
N yük değerleri için sırası ile 0.31, 0.28 ve 0.27 değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda yükün artması ile beraber aşınma türü adhezif aşınmadan abrazif aşınmaya doğru dönüşmektedir. Bunun sebebi ise testin ilk aşamalarında yüksek temas basınçlarında çelik kürenin kayması ile Magnezyum alaşımı aşınmış ve aşındırıcı küreye adhezif aşınma ile malzeme transferi olmuştur. Sürekli kayma sonucunda, küre yüzeyine transfer olan malzeme yüksek plastik deformasyon sonucunda deformasyon sertleşmesine uğramıştır. Aynı zamanda çelik küre yüzeyine transfer olan malzeme kayma esnasında okside olarak, aşınma izinde derin yivlerin (mikro oluklar) oluşmasına neden olarak abrazif aşınmayı artırmaktadır. Bundan ötürü tüm kuru kayma aşınma testleri sadece 2 N yük altında ve 5 mm/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. (38)

Plazma elektrolitik oksidasyon yöntemi ile kaplanmış AZ91 döküm Magnezyum alaşımının kuru kayma davranışı adlı çalışmada ise, kaplanmış ve kaplanmamış AZ91 Magnezyum alaşımlarının aşınma deneyleri çapı 6 mm olan AISI 52100 çelik küre ile ball-on-disc aşınma geometrisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kuru kayma aşınma testleri 2 N, 5 N ve 10 N olmak üzere 3 farklı yük altında, 10 mm'lik salınım genliğinde, 5 mm/s kayma hızında ve toplamda 12 mm'lik kayma mesafesinde tamamlanmıştır. (39)

Kaplama yapılmamış AZ91 alaşımının kuru kayma aşınma davranışı Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Grafiğe göre sürtünme katsayısı değerleri uygulanan yükten bağımsız olarak 0.24 – 0,40 arasında değişmektedir. Fakat ortalama sürtünme katsayısı değerleri 2 N, 5 N ve 10 N yük değerleri için sırası ile 0.31, 0.28 ve 0.27 değerleri arasında değişmektedir. Kaplama yapılmamış AZ91 alaşımına ait aşınma izlerinin SEM görüntüleri Şekil 5.15'de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere artan yük ile beraber aşınma izinin genişliği artmıştır. Çelik küre ve magnezyum alaşımı arasında metal – metal teması sonucunda sadece adhezif aşınma beklenirken, adhezif ve abrazif aşınmanın kombinasyonu gözlemlenmiştir. Çelik kürenin sertliği 900 HV ve Magnezyum alaşımının sertliği ise 85 HV olarak tespit edilmiştir. Testin ilk aşamalarında yüksek temas basınçlarında çelik kürenin kayması ile Magnezyum alaşımı aşınmış ve çelik küreye adhezif aşınma ile malzeme transferi olmuştur. Sürekli kayma sonucunda, küre yüzeyine transfer olan malzeme yüksek plastik deformasyon sonucunda deformasyon sertleşmesine uğramıştır. Aynı zamana çelik küre yüzeyine transfer olan malzeme kayma esnasında okside olarak, aşınma izinde derin yivlerin (mikro oluklar) oluşmasına neden olmuştur. Ek olarak, Magnezyum alaşımından kopan β fazı parçacıkları, 3 elemanlı aşınma mekanizmasına dönüşerek altlık malzeme üzerinde çizikler oluşmasını sağlamıştır.



Şekil 5.14. Kaplama Yapılmamış AZ91 Alaşımının Kuru Kayma Koşullarındaki Sürtünme Katsayısı Grafiği (39)



Şekil 5.15. Kaplama Yapılmamış AZ91 Alaşımına Ait Aşınma İzlerinin Sem Görüntüsü (38)

Yapılan deneysel çalışmalarda ise gruptan test edilen toplam üç numunenin sürtünme katsayı değerleri ve ortalama sürtünme katsayısı değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5,5’de verilmiştir. Genel olarak sürtünme katsayısı değerleri, aşınma testi başladıktan sonra sürtünmenin ilk anlarında yüksek değerlere sahip ve kararsız durumda iken, aşınma testinin yaklaşık %10’unun tamamlanması ile daha kararlı ve düzgün bir davranış göstermiştir. Hemen hemen tüm metaller havada oksitlenmektedir ve yüzeylerinde ince bir oksit film tabakası oluşmaktadır. Bu ince oksit film tabakası aşınma testinin ilk aşamasında teması engellemektedir. Eğer test esnasında uygulanan normal yük bu ince oksit film tabakasını kırmaya yetecek kadar büyük ise oksit film parçalanır ve aşındırıcı uç ve metal teması sağlanır. Bu da testin ilk aşamalarında yüksek adhezyona ve yüksek sürtünme katsayısı gözlemlenmesine neden olmaktadır. Genel olarak aşınma testleri tamamlanmasıya kadar sürtünme katsayılarında dalgalanmalar gözlemlenmiş olsa da hemen hemen tüm testler kararlı ve dengeli bir şekilde sonlanmıştır. En yüksek ortalama sürtünme katsayısı değeri 0.33 değeri ile geleneksel döküm yöntemi ile üretilmiş numunelere (4,1, 4,2 ve 4,3 numaralı numuneler) aittir. Daha düşük değerlere sahip basınçlı döküm yöntemi ile

üretilmiş numuneler olan 1, 2 ve 3 numaralı numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerleri sırası ile 0.26, 0,29 ve 0,31 olarak bulunmuştur.

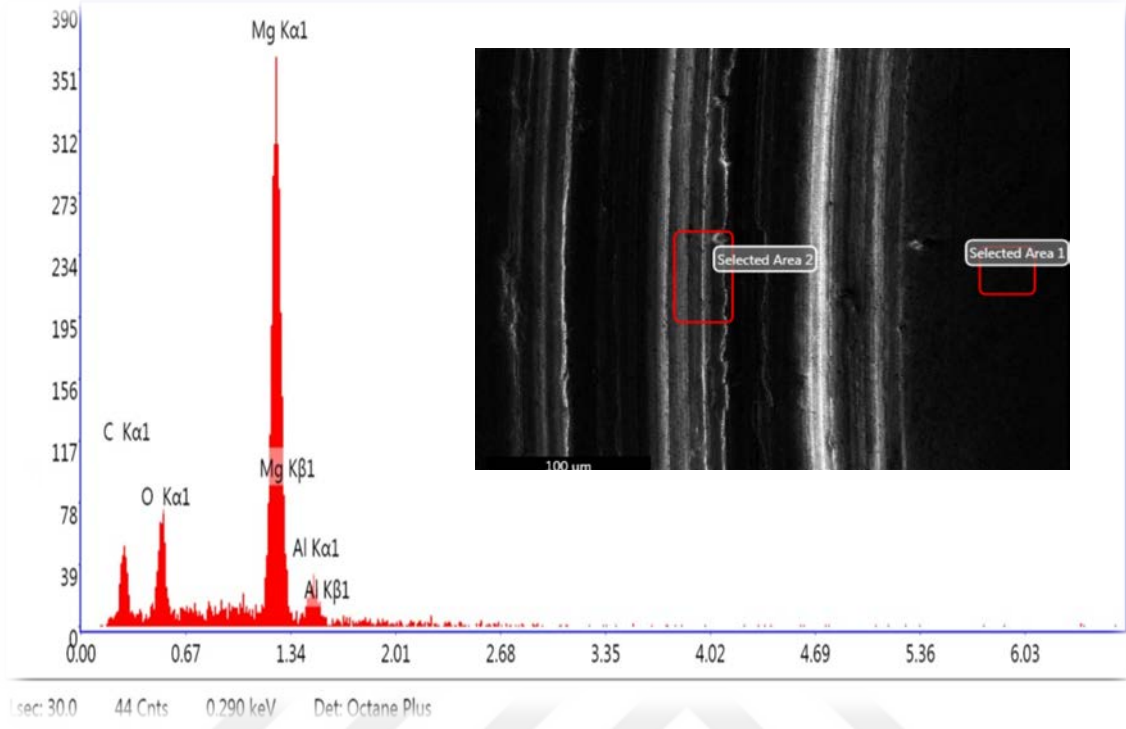
Sonuçlar gösteriyor ki, sertlik değerindeki artma, numunelerin sürtünen yüzeylerinde sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır. Aşınma deneyi neticesinde elde edilen, sürtünme katsayıları ile sertlik değeri arasında bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Sertlikle ters orantılı olarak azalan aşınma miktarı, sürtünme katsayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Yani aşınma miktarı azaldıkça sürtünme katsayısının arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.5. Numunelerin Aşınma Testi Sonuçları

Numune Numarası	Döküm İşlem Parametreleri			Numunelerin Sürtünme Katsayıları (μ)	Numunelerin Ortalama Sürtünme Katsayısı (μ)
	Döküm Sıcaklığı($^{\circ}$ C)	Kalıp İçi Basınç (Bar)	Yolluk Giriş hızı(m/s)		
1.1	680	1000	30	0,26	0,26
1.2				0,21	
1.3				0,30	
2.1	680	1000	45	0,29	0,29
2.2				0,28	
2.3				0,30	
3.1	640	1200	45	0,32	0,31
3.2				0,29	
3.3				0,33	
4.1	Geleneksel Döküm Yöntemi ile Elde Edilmiş Numune			0,35	0,33
4.2				0,34	
4.3				0,32	

Geleneksel döküm yöntemi ve basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş numunelere ait bulunan sürtünme katsayısı değerleri literatürde bulunan sürtünme katsayısı değerleri ile kıyaslandığında büyük bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Kullanım alanına bağlı olmakla beraber AZ91 alaşımı 1 numaralı numuneye ait basınçlı döküm parametreleri ile üretim yapıldığında, düşük sürtünme katsayısına sahip olduğundan dolayı avantajının olduğu söylenebilir.

Şekil 5.16'da 1 numaralı numunenin aşınma testi sonrası EDS ve SEM analizleri verilmiştir.

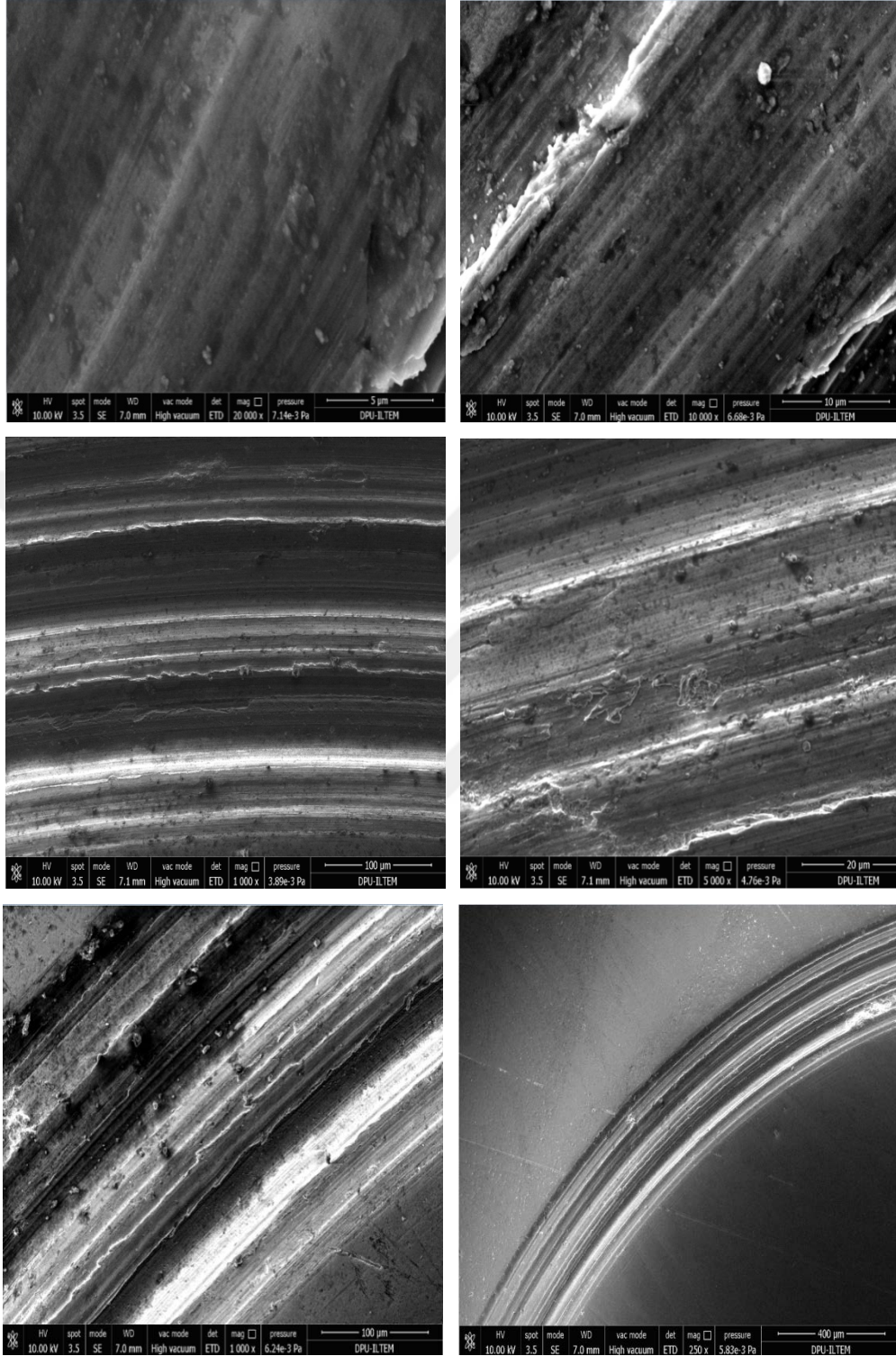


Şekil 5.16 1 Numaralı Numunenin EDS ve SEM Analizi

Çizelge 5.6. 1 Numaralı Numunenin EDS Analiz Sonuçları

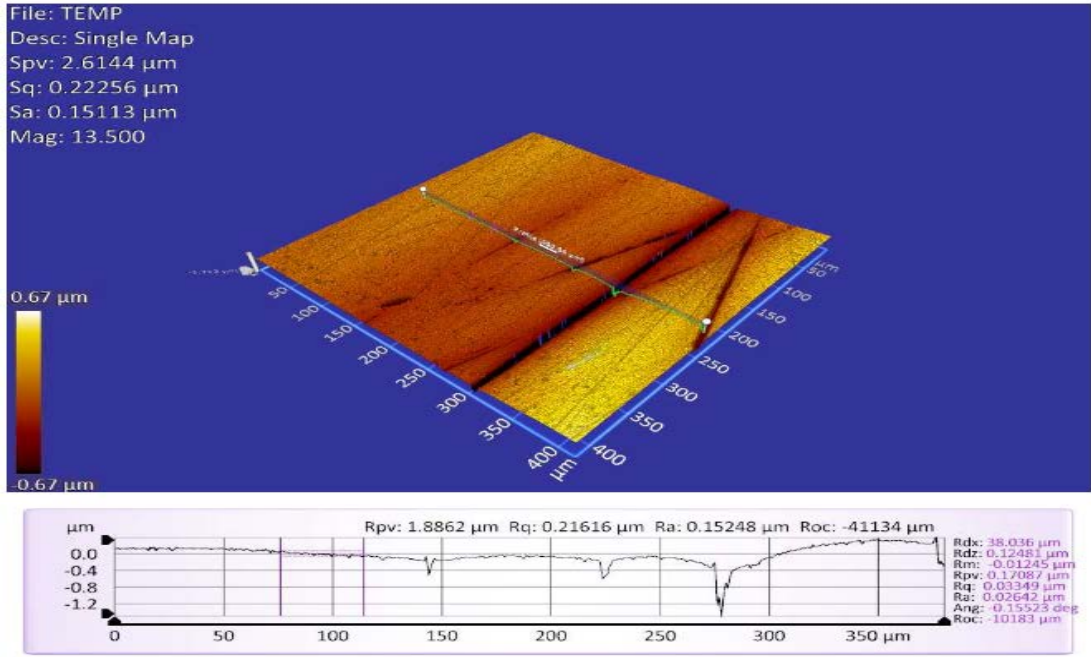
Element	Ağırlık %	Atomik %	Hata %
C K	18.37	29.72	11.81
O K	13.06	15.86	9.19
MgK	63.30	50.61	4.29
AlK	5.28	3.80	18.92

Şekil 5,17'de 1 numaralı numuneye ait aşınma izlerinin SEM görüntüleri verilmiştir

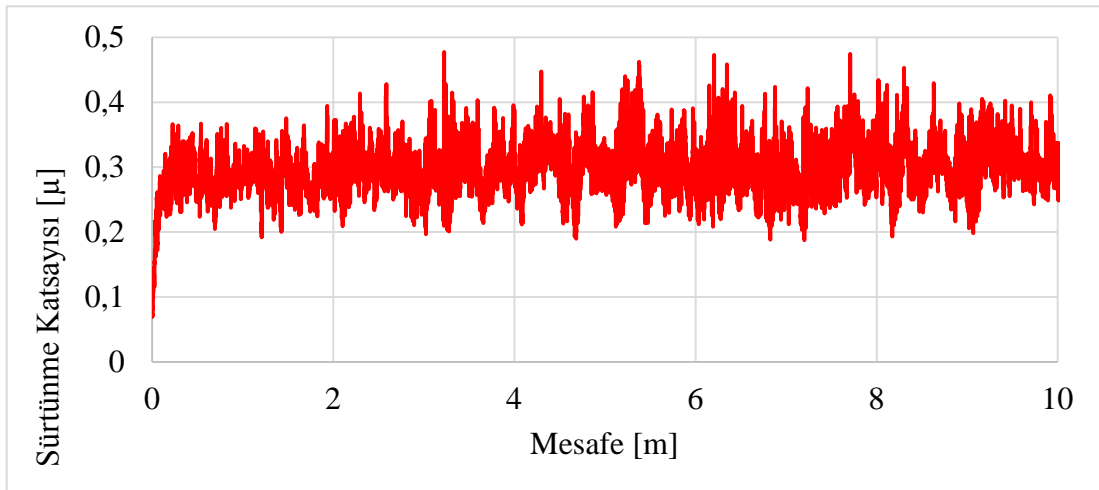


Şekil 5.17 1 Numaralı Numunenin SEM Görüntüleri

Şekil 5.19’da basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş 1 numaralı numuneye ait sürtünme katsayısının mesafeye göre değişimini gösteren sürtünme eğrisi gösterilmiştir. 1.1 numaralı numunesinin sürtünme katsayısı değeri 0,26 olarak hesaplanmıştır. Diğer iki numune olan 1,2 ve 1,3 numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı değerleri sırası ile 0,21 ve 0,30 olarak tespit edilmiştir. 1 numaralı numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,26 olarak bulunmuştur. Şekil 5.18’de 1 numaralı numunenin 3 boyutlu aşınma yüzey görüntüsü verilmiştir

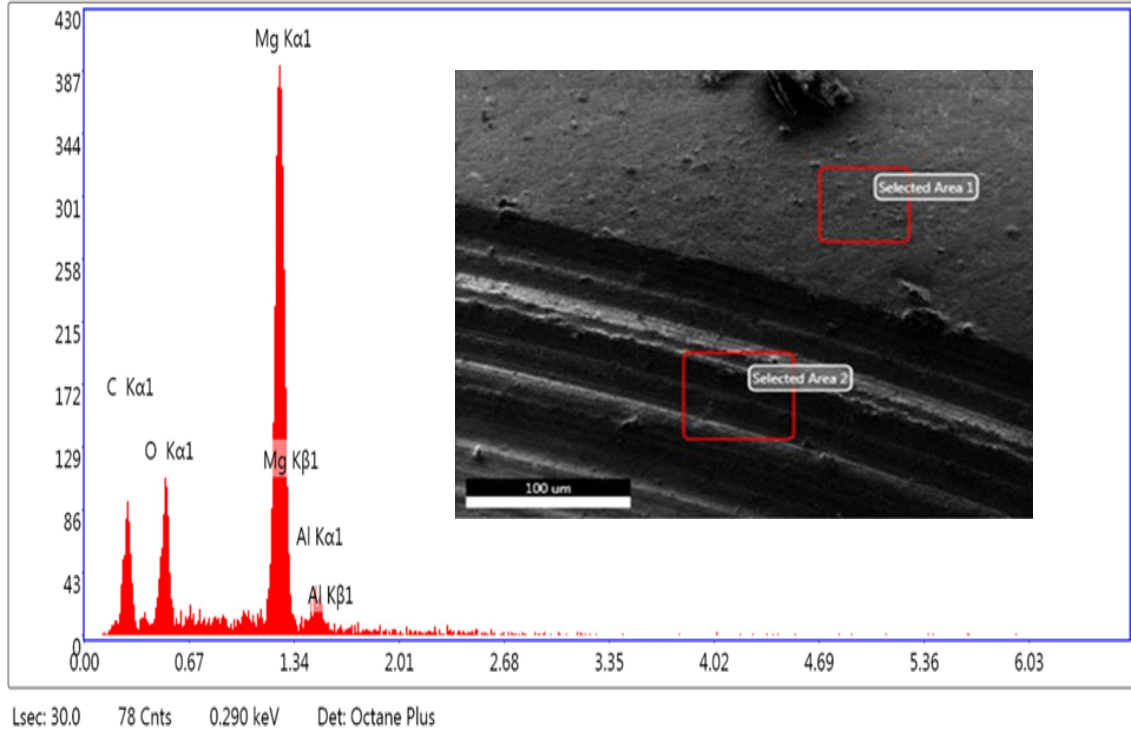


Şekil 5.18 1 Numaralı Numunenin 3 Boyutlu Aşınma Yüzey Görüntüsü



Şekil 5.19 1 Numaralı Numunenin Sürtünme Katsayısı Grafiği

Şekil 5.20’de 2 Numaralı numunenin aşınma testi sonrası EDS ve SEM analizleri verilmiştir.

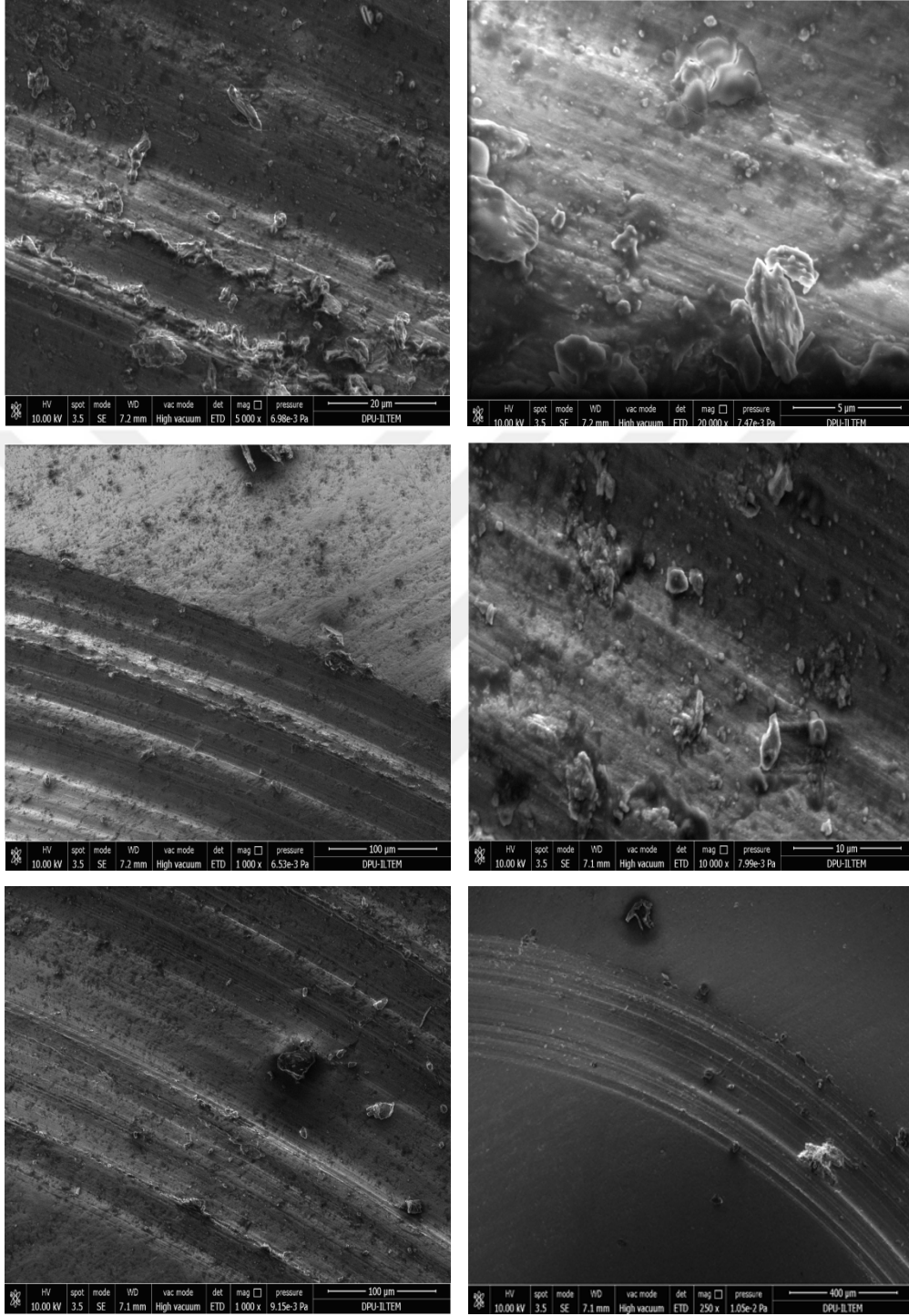


Şekil 5.20 2 numaralı numunenin EDS ve SEM analizi

Çizelge 5.7. 2 Numaralı Numunenin EDS Analiz Sonuçları

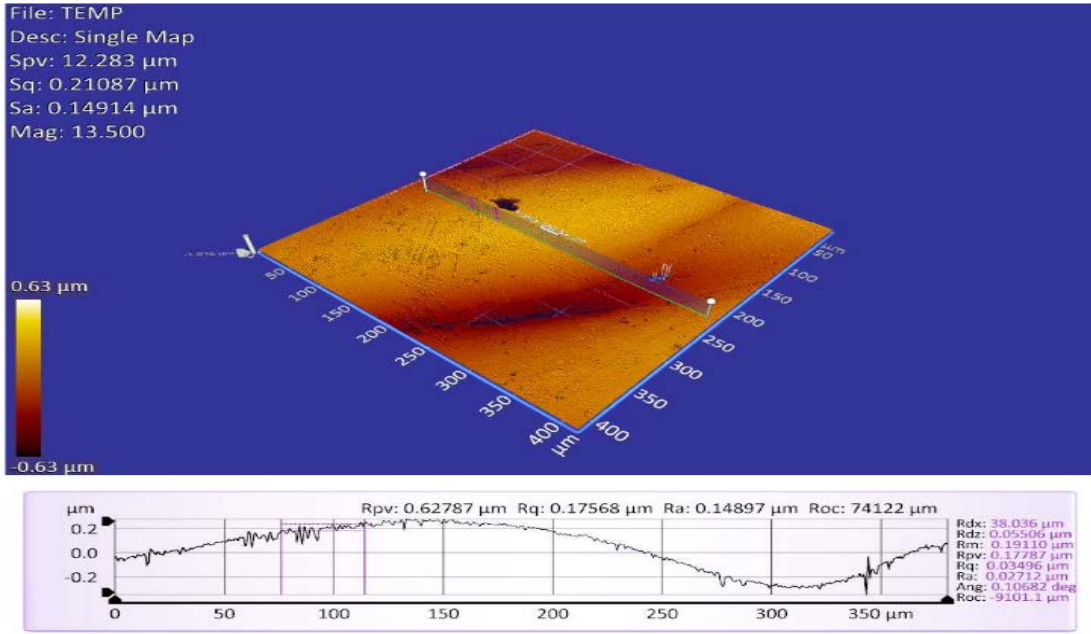
Element	Ağırlık %	Atomik %	Hata %
C K	23.12	35.62	9.71
O K	15.77	18.25	8.03
MgK	56.07	42.68	4.02
AlK	5.04	3.46	14.57

Şekil 5,21’de 2 numaralı numuneye ait aşınma izlerinin SEM görüntüleri verilmiştir

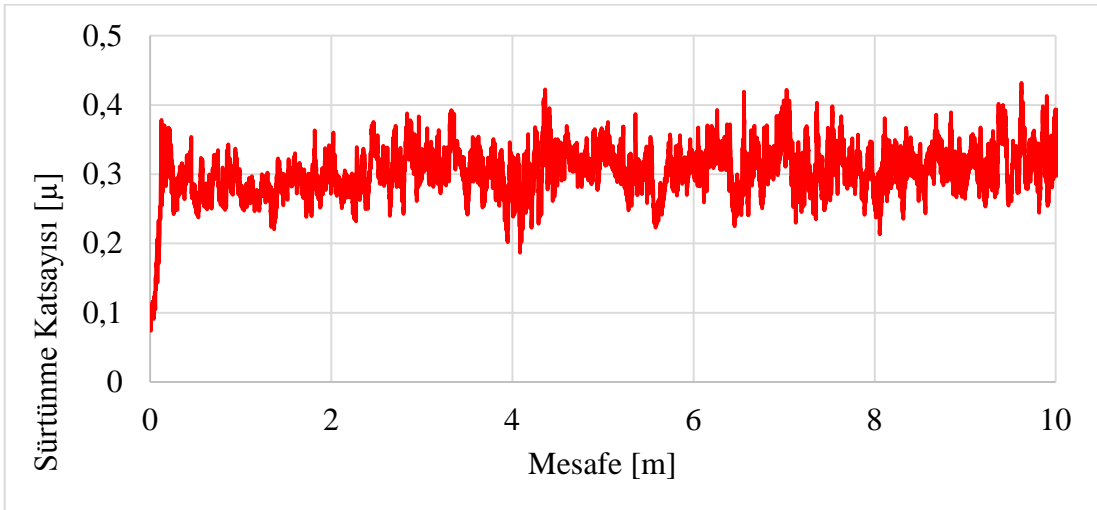


Şekil 5.21 2 Numaralı Numunenin SEM Görüntüleri

Şekil 5.23’de Basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş 2 numaralı numuneye ait sürtünme katsayısının mesafeye göre değişimini gösteren sürtünme grafiği gösterilmiştir. 2-1 numunesinin ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,29 olarak hesaplanmıştır. Diğer iki numune olan 2-2 ve 2-3 numunelerinin sürtünme katsayısı değerleri sırası ile 0,28 ve 0,30 olarak tespit edilmiştir. 2 numaralı numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,29 olarak bulunmuştur. Şekil 5.22’de 2 numaralı numunenin 3 boyutlu yüzey aşınma görüntüsü verilmiştir.

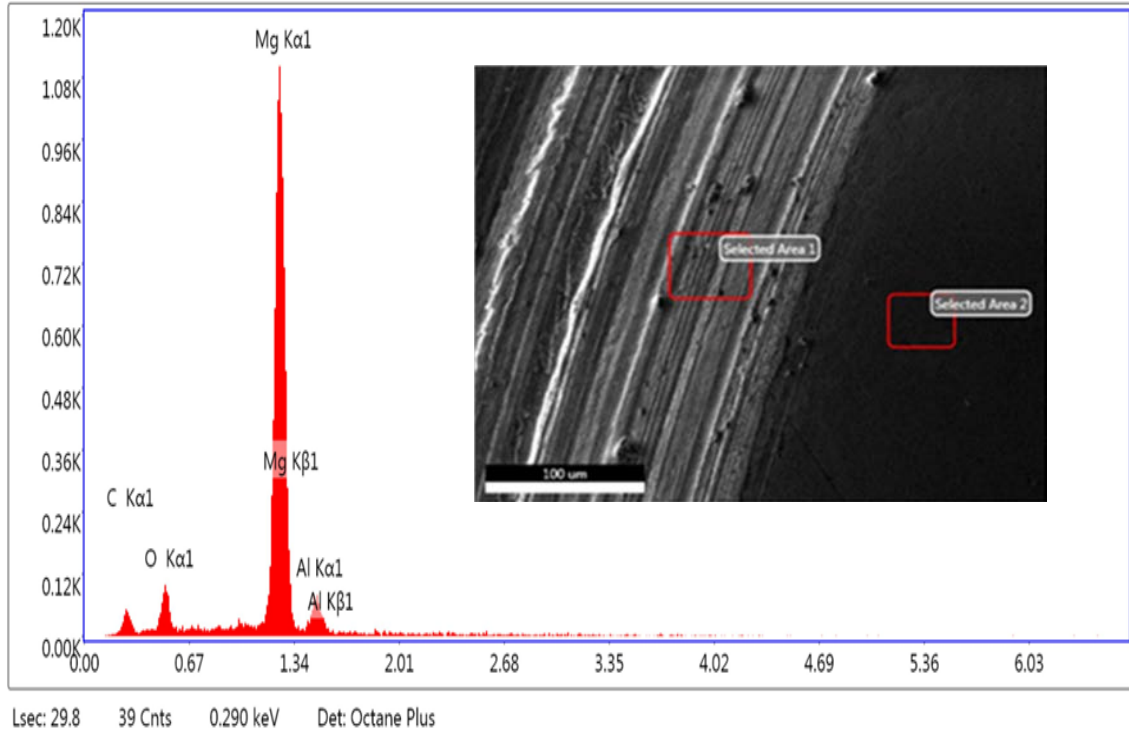


Şekil 5.22 2 Numaralı Numunenin 3 Boyutlu Yüzey Aşınma Görüntüsü



Şekil 5.23 2 Numaralı Numunenin Sürtünme Katsayısı Grafiği

Şekil 5.24’de 3 Numaralı numunenin aşınma testi sonrası EDS ve SEM analizleri verilmiştir.

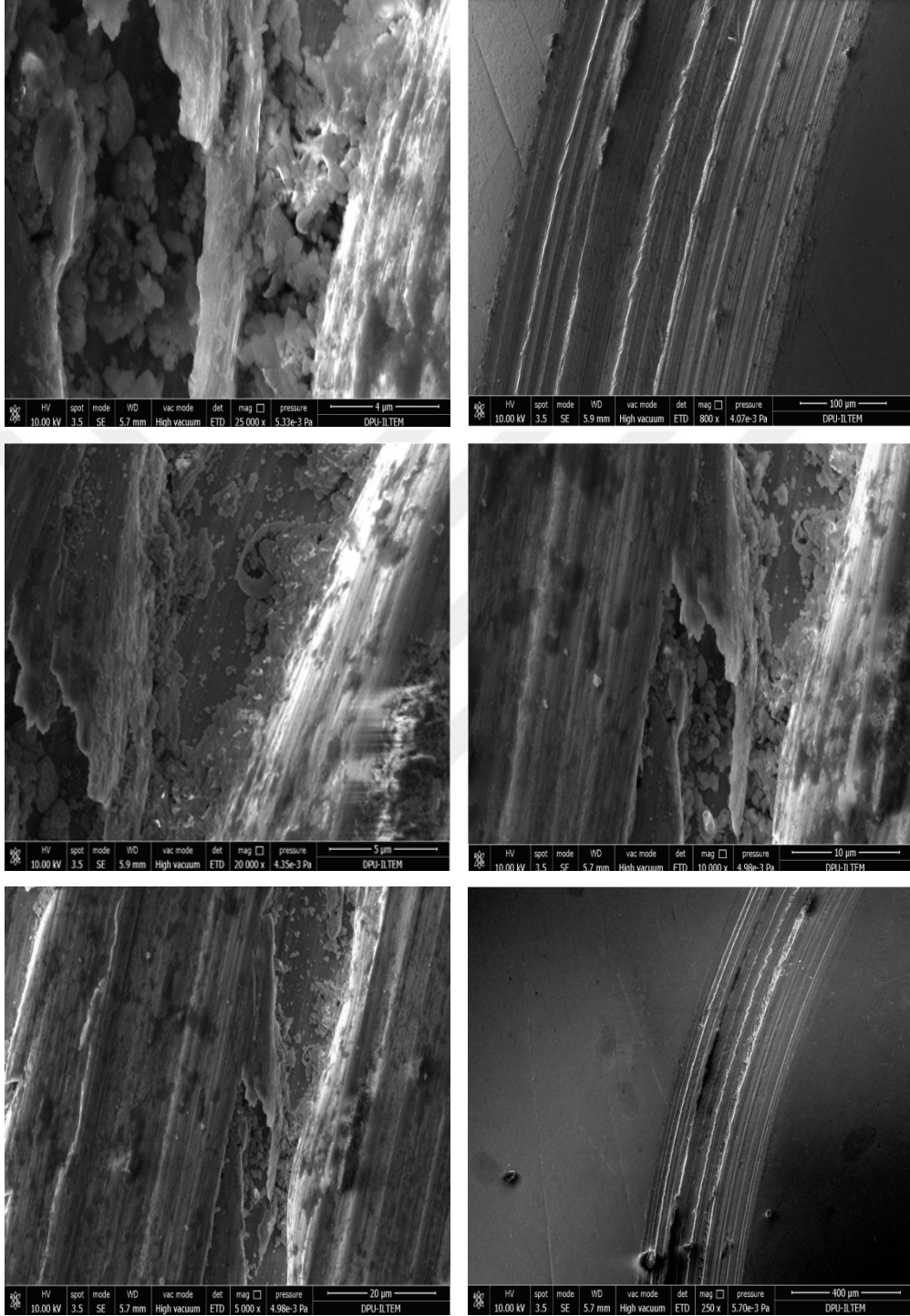


Şekil 5.24 3 Numaralı Numunenin EDS ve SEM Analizi

Çizelge 5.8. 3 Numaralı Numunenin EDS Analiz Sonuçları

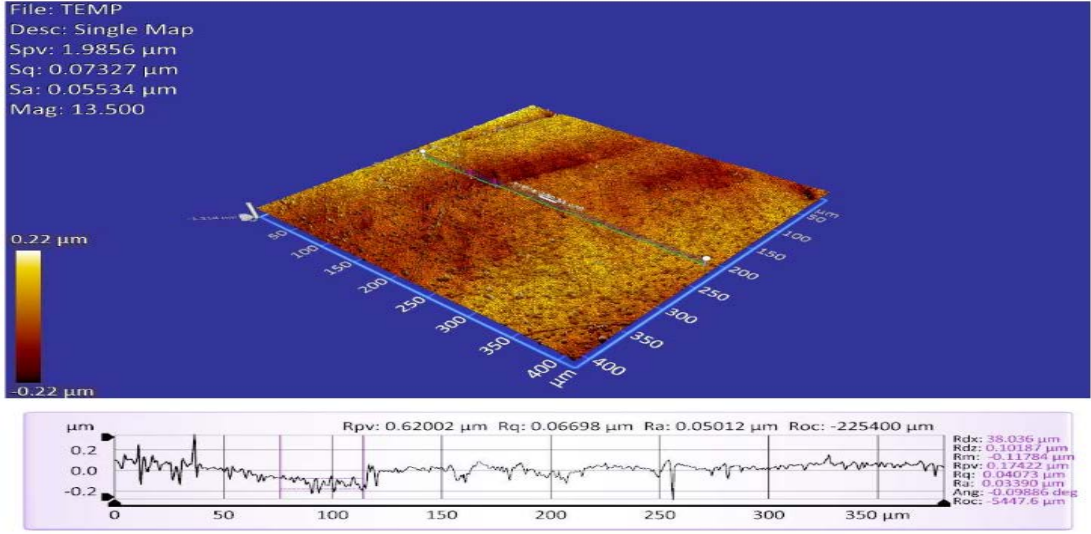
Element	Ağırlık %	Atomik %	Hata %
C K	7.85	14.34	12.34
O K	6.62	9.08	8.02
MgK	79.47	71.66	3.28
AlK	6.05	4.92	11.71

Şekil 5,25’de 1 numaralı numuneye ait aşınma izlerinin SEM görüntüleri verilmiştir

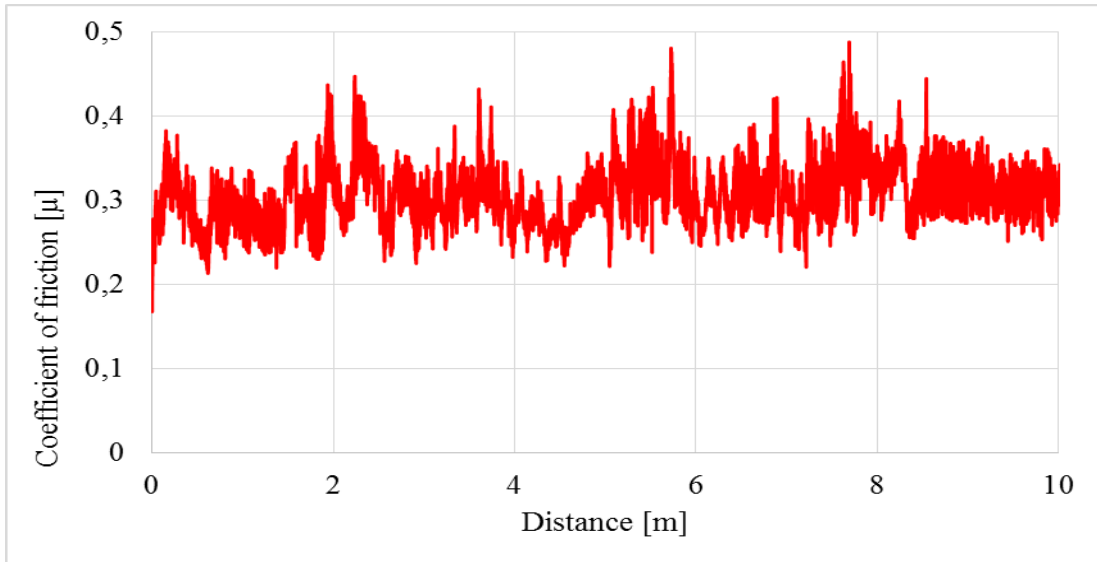


Şekil 5.25 3 Numaralı Numunenin SEM Görüntüleri

Şekil 5.27’de basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş 3 numaralı numuneye ait sürtünme katsayısının mesafeye göre değişimini gösteren sürtünme eğrisi gösterilmiştir. 3-1 numunesinin sürtünme katsayısı değeri 0,32 olarak hesaplanmıştır. Diğer iki numune olan 3-2 ve 3-3 numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı değerleri sırası ile 0.29 ve 0,33 olarak tespit edilmiştir. 3 numaralı numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,31 olarak bulunmuştur. Şekil 5.26’da 3 numaralı numunenin 3 boyutlu yüzey aşınma görüntüsü verilmiştir.

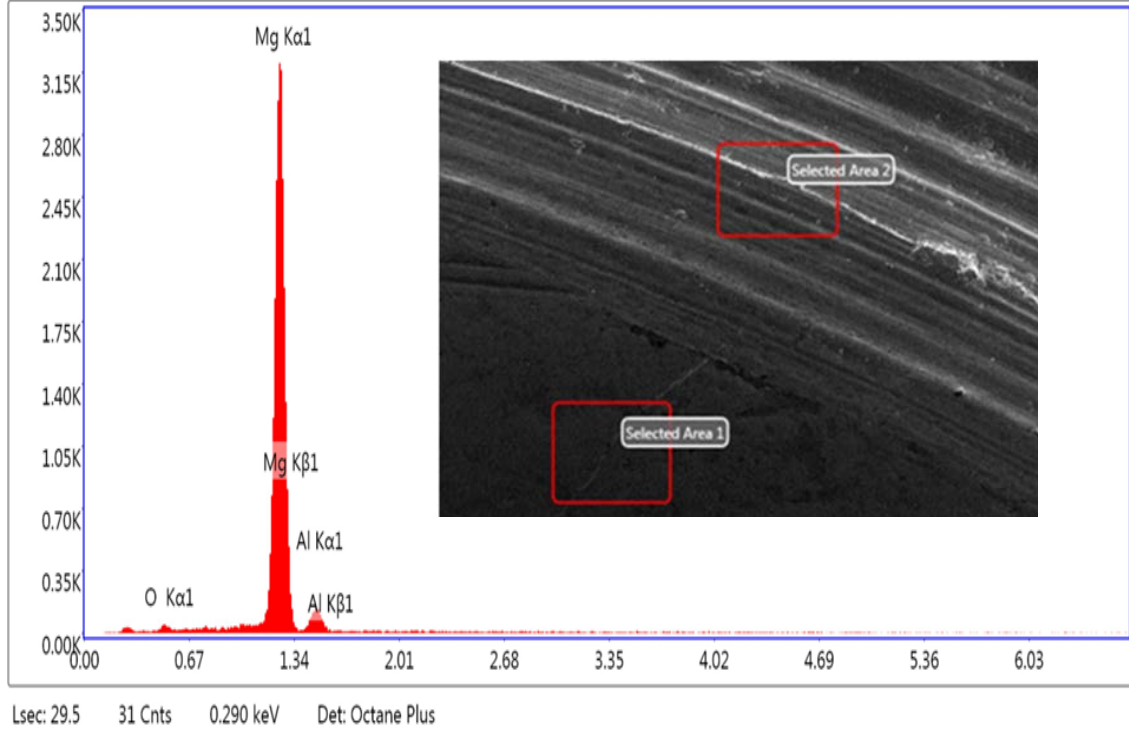


Şekil 5.26 3 Numaralı Numunenin 3 Boyutlu Yüzey Aşınma Görüntüsü



Şekil 5.27 3 Numaralı Numunenin Sürtünme Katsayısı Grafiği

Şekil 5.28’de 4 Numaralı numunenin aşınma testi sonrası EDS ve SEM analizleri verilmiştir.

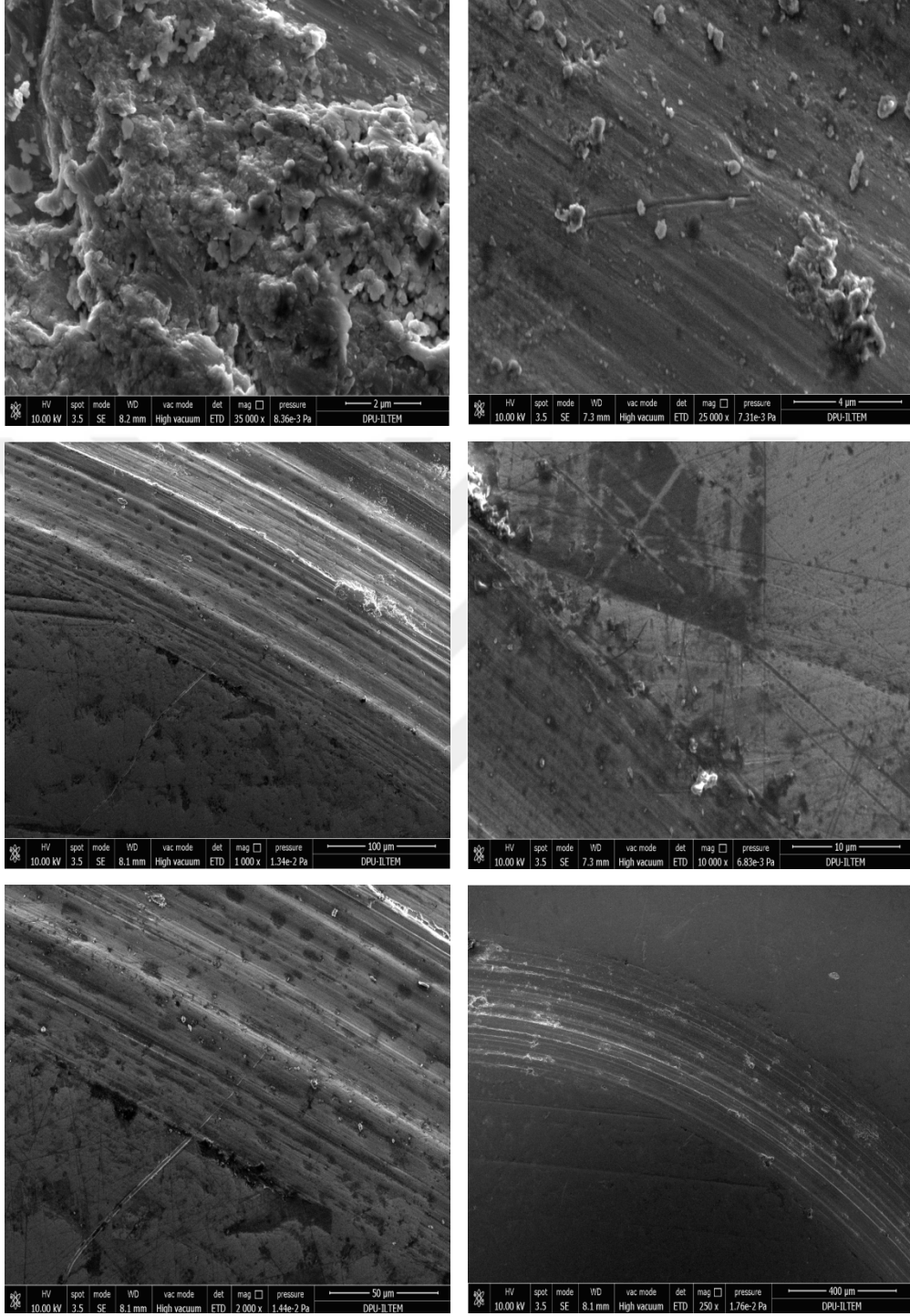


Şekil 5.28 4 Numaralı Numunenin EDS ve SEM Analizi

Çizelge 5,9. 4 Numaralı Numunenin EDS Analiz Sonuçları

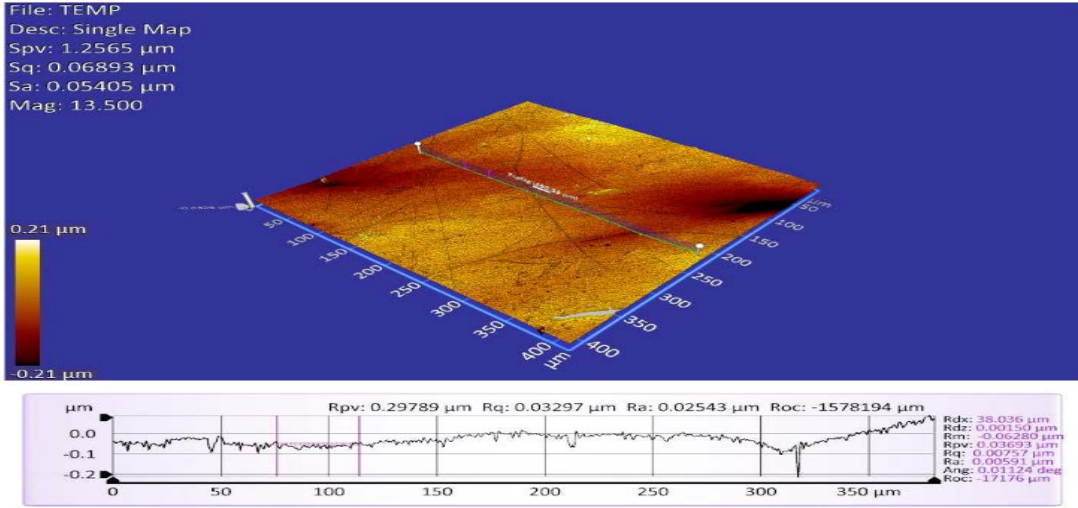
Element	Ağırlık %	Atomik %	Hata %
O K	0.82	1.25	18.39
MgK	93.86	93.96	2.88
AlK	5.32	4.80	8.84

Şekil 5,29'da 4 numaralı numuneye ait aşınma izlerinin SEM görüntüleri verilmiştir.

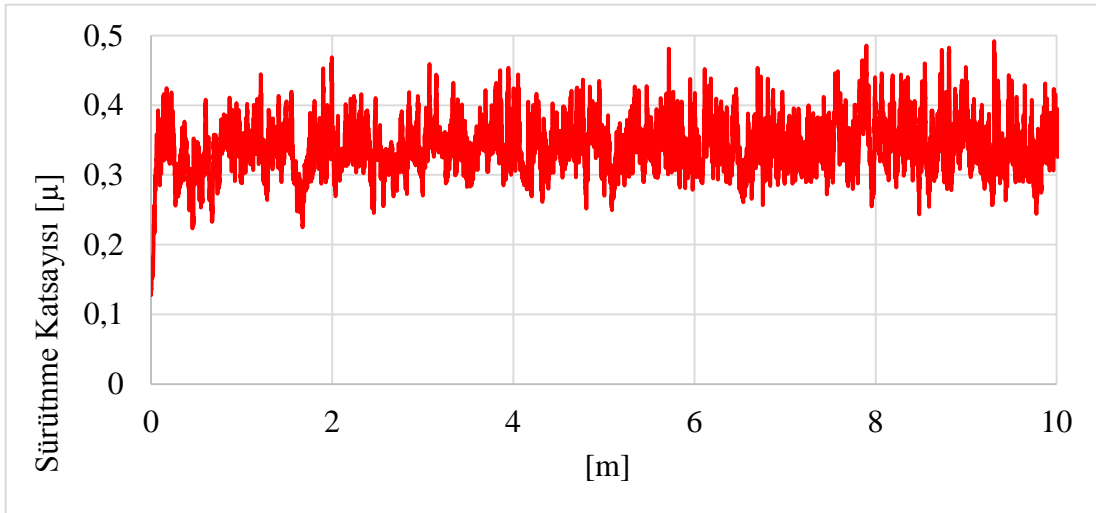


Şekil 5.29 4 Numaralı Numunenin SEM Görüntüleri

Şekil 5.31.'de geleneksel döküm yöntemi ile üretilmiş 4 numaralı numuneye ait sürtünme katsayısının mesafeye göre değişimini gösteren sürtünme eğrisi gösterilmiştir. 4.1. numaralı numunesinin sürtünme katsayısı değeri 0,35 olarak hesaplanmıştır. Diğer iki numune olan 4,2 ve 4,3 numunelerinin ortalama sürtünme katsayısı değerleri sırası ile 0.34 ve 0,32 olarak tespit edilmiştir. 4 numaralı numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değeri 0,33 olarak bulunmuştur. Şekil 5.30'da 4 numaralı numunenin 3 boyutlu aşınma yüzey görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.30 4 Numaralı Numunenin 3 Boyutlu Aşınma Yüzey Görüntüsü



Şekil 5.31 4 Numaralı Numunenin Sürtünme Katsayısı Grafiği

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hassas bir döküm yöntemi olan basınçlı döküm metodunda, parça kalitesine ve mekanik özelliklere tesir eden bir sürü etken bulunmaktadır. Malzeme kalitesini ve mekanik özellikleri tesir eden etkenlerin başında, döküm işlem parametreleri gelmektedir. Hatasız bir kalıp dizayn edilip imalat gerçekleştirilse bile, döküm işlemi esnasında yanlış seçilen döküm işlem parametreleri (döküm sıcaklığı, kalıp içi basınç ve yolluk giriş hızı) ideal olarak dizayn edilmiş parçaların bile istenilen mekanik özelliklerin elde edilmemesi sorununu ortaya çıkartmaktadır. (4)

Döküm işlem parametreleri; malzeme kalitesini, mukavemet özelliklerine ve malzemede hata oluşumuna etki eden unsurların başında gelmektedir. Döküm işlem parametrelerinin doğru tercihi, parçanın da doğru imalatı anlamına gelmektedir. Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde sık sık karşılaşılan kusurlar; kalıbın eksik dolması, soğuk birleşme, gaz gözenekliliği ve çekme boşluklarıdır. Kusurların oluşması birbirleriyle ilişkili birçok etkenden oluşmaktadır. Hatalı döküm işlem parametreleri, kusurlu parça veya kalıp tasarımı, alaşım içindeki katışıkların kötü etkileri hata faktörlerini oluşturmaktadır. Bu etkenlerin her biri sistematik bir şekilde tahlil edilmeli ve hata oluşumu bundan sonra değerlendirilmelidir. (3)

Bu çalışmada farklı döküm işlem parametreleri uygulanarak basınçlı döküm yöntemi ile elde edilen çekme test numuneleri ve geleneksel döküm yöntemi ile üretilmiş numuneye uygulanan mekanik testlerle (çekme testi, sertlik testi ve aşınma testi) ve metalografik olarak numuneler incelenmiştir.

Yapılan bu mekanik testler ve metalografik incelemeler sonucunda; farklı döküm işlem parametrelerinde numunelerin mekanik mukavemet değerleri ve tane boyutu değerleri elde edilmiştir. Ayrıca basınçlı döküm yöntemi ile geleneksel döküm yöntemi arasında kıyaslanma yapılmıştır.

- ❖ Magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemi ile elde edilmesinde uygun döküm işlem parametreleri seçildiğinde tane yapısı kontrol edilerek istenilen şekilde mekanik özellikler elde edilebilir.

- ❖ Döküm sıcaklığı ve kalıp içi basıncın sabit kalması ve yolluk giriş hızının 30 m/s den 45 m/s yükseltilmesi tane boyutunda irileşmeye ve mekanik özelliklerde (çekme dayanımı, sertlik değerleri) azalmaya sebep olmuştur.
- ❖ Magnezyum alaşımlarının üretilme yöntemleri (basıncı döküm yöntemi ile geleneksel döküm yöntemi) kendi arasında kıyaslandığından döküm işlem parametrelerinin kontrolü ile yüksek mekanik özellikli malzemeler elde edilir.
- ❖ Geleneksel döküm yöntemlerinde soğuma hızı, basınçlı döküm yöntemine göre daha yavaş olduğundan, basınçlı döküm yönteminde ince taneli yapı oluşmasından dolayı yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir.
- ❖ Tane sınırları deformasyon sırasında dislokasyon hareketlerine engel olduğundan ince taneli malzemenin mukavemeti kaba taneli malzemeye göre artmaktadır.
- ❖ Magnezyum alaşımlarının üretim metoduna göre basınçlı döküm yöntemi ile geleneksel döküm yöntemi kıyaslandığında döküm işlem parametreleri kontrol edilmezse, basınçlı döküm yönteminde geleneksel döküm yönteminden farklı mekanik özellikler elde edilemez. Bu açıdan değerlendirildiğinde basınçlı döküm maliyetinin yüksek olmasından dolayı gereksiz yatırım yapılmış olur.
- ❖ Aşınma testlerinde, basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş numunenin sertlik değerlerindeki artışla beraber sürtünme katsayısında azalmanın olduğu ve malzeme kaybının olmadığı gözlemlenmiştir.
- ❖ Magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemi ile üretilen numunelerin sertlik değerlerindeki artış, malzemelerde aşınmaya bağlı kayıpların azalmasına neden olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKÇA

1. Akdoğan,A, 2008, *Magnezyum ve Alaşımları Ders Notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi,İstanbul.
2. Kaçar, İ., Öztürk, F., 26-28 Nisan 2006 , TMAK-Tasarım malat Analiz Kongresi - Balıkesir.
3. Vanlı, A.S., (2007). *Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Dökümde İşlem Faktörlerinin Araştırılması*, Yüksek lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul.
4. ASM Specialty Handbook, *Magnesium and Magnesium Alloys*, 1999.
5. Milli Eğitim Bakanlığı 2011, Metalurji Teknolojisi, *Basınçlı Döküm*.
6. Aran A , 2007, Döküm teknolojisi” *İmal usulleri ders notları*”.
7. Gülmez, T, *İmal usulleri ders notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
8. Cundari, T. (2016). *Experimental study about thermal fatigue and erosion failures on HPDC dies (n.d.)*. Università DegliStudi Di Padova Dipartimento di Tecnica Gestionedei Sistemi Industriali.
9. Sönmez, H. 2006, *Basınçlı Döküm Ders Notları (yayımlanmamış)*, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
10. Gözen, A., (2007). *Basınçlı Döküm Kalıplarında Yolluk Sistemlerinin Tasarımı ve Simülasyonunun İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
11. Kaplan, S, 2012, *Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümünde kullanılan makinelerin tasarım esaslarının incelenmesi*,Yüksek lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul.
12. Vıncık, E.J, 2003,*High integrity die casting processes*.
13. Bayar, H, 2009, *Sicp takviyeli 171 (AlSi10Mg) Alüminyum alaşım matris kompozitten basınçlı pres döküm yöntemiyle parç üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
14. Uğur,A, 2009,“*Basınçlı döküm yöntemi ile üretilen zn-al esaslı alaşımlarının mikro yapı ve mekanik özelliklerine alaşım elementlerinin etkisi*”.
15. Demirci, M, 2014, *Mgneyum alaşımlarının ergitme prosesinde kullanılan koruyucu gaz atmosferlerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
16. Yalçınkaya S.T, 2006, *Metal enjeksiyon tezgahına ergimiş metal besleme robotu tasarımı*,Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Üniversitesi,İstanbul.
17. Hatman, A, 1997, *Sıcak İş Kalıplarında Ömür Artırıcı Önlemler*, *Metal Makina Dergisi*,

18. Kumar,S,D., Sasanka,T,C.,(2017,Lightweight Sustainable Materials For Automotive Applications,329-368)"Magnesium and its alloys".
19. Wang J,X,. Wang.Y.(February 2018 Journal Of Materials Science and Technology)"What is going on in Magnesium alloy".
20. Luo A.A.(2016, Essential Readings in Magnesium Technology, 25-34) "*Materials comparison and applications of Magnesium in automobiles*".
21. Elen, L ,2012, *AZ91 Magnezyum alaşımına farklı oranlarda bi ve sb ilavesi ile katılma hızının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
22. Engin, A, 2013, *AZ91 Magnezyum alaşımına farklı oranlarda alaşım elementlerinin ilavesi ile uygulanan ısıtılma işleminin mikroyapı ve sertlik üzerine etkilerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
23. Çelik, M, 2014, *AZ91 Magnezyum alaşımlarında soğuma hızlarının mekanik ve korozyon özelliklerine etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
24. Kuşdemir, H., 2008. *AZ91 Magnezyum Alaşımının Korozyon Davranışları Üzerine İlave Alaşım Elementlerinin Etkisi*, Yüksek Lisans tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
25. Buldum B.B, 2013 , *AZ91 Magnezyum alaşımının işlenebilirliğinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
26. Pan,F., Yang ,M. , ,Chen,X., (2016, *Journal of Materials Science & Technology*) "A review on casting magnesium alloys: modification of commercial alloys and development of new alloys" .
27. Vicario, I., Crespo, I., Val, D., Weiss, U.,Cao D., Sanchez J.M.,(2019) "*Development of a Squeeze Semisolid High-Pressure Die Casting Process For Magnesium Structural Parts*" .
28. Friedrich, H.E. ve Mordike, B.L., 2006, *Magnesium Technology (Metallurgy, Design Data, Applications)*, Springer, Berlin.
29. Li, N., 2004 ,"*Automotive Magnesium Applications and Life Cycle EnvironmentalAssesment*", 3rd International Conference on SF6 and the Environment 1-26, Scottsdale, Arizona,.
30. Gutman, E.M., Unigovski, Y., Levkovich, M., Koren, Z., Aghion, E. ve Dangur, M., 1997, *Influence of Technological Parameters of Permanent Mold Casting and Die Casting on Creep and Strength of Mg Alloy AZ91D*, *Materials Science and Engineering*, 234-236: 880.

31. ASM Handbook Volume 2, 1996, *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials*, ASM International Handbook Committee, United States of America. .
32. Mert, F , 2013 ,*Basınçlı dökümde AM50 magnezyum alaşımına Ce ilavesinin mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*,Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
33. Aarstad K., 2004. *Protective Films on Molten Magnesium*, PhD. Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Materials Technology, Trondheim.
34. Pürçek, G,2007,*Metallerde Mukavemet Artırıcı Mekanizmalar Ders Notları*,Karadeniz Teknik Üniversitesi,Trabzon.
35. Akçamlı.N., 2016, *Metallurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları*, Bursa.
36. Sharifi, P., Jamali, J.,Sadayappan, K., Wood, J, T,. (February 2018, Journal of Materials Science ve Technology , Page 324), ”*Grain size distribution and interfacial heat transfer coefficient during solidification of Magnesium alloys using high pressure die casting process*”.
37. Savaşkan, T.(2004).Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, 3. Baskı, Trabzon.
38. Srinivasan, B, P., Blawert, C., Dietzel, W., August 2009, Materials Characterization Volume 60, Issue 8, Pages 843-847 August 2009, Pages 843-847) “*Dry sliding wear behaviour of a conventional and recycled high pressure die cast magnesium alloys*”.
39. Srinavasan B, P., Blawert, C., Dietzel, W., (May,2009,Wear, Volume 266 , Pages, 1241-1247) “*Dry sliding wear behaviour of plasma electrolytic oxidation coated AZ91 cast magnesium alloy*”.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Recep ARSLAN
Doğum Yeri	Turhal/Tokat
Doğum Tarihi	24.06.1983
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0544 266 72 98
E-Posta Adresi	rarslan@ahievran.edu.tr



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Gazi Üniversitesi
Fakülte	Teknik Eğitim Fakültesi
Bölümü	Metal Öğretmenliği
Mezuniyet Yılı	2007

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Erciyes Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Malzeme Bilimi ve Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2019