

**SERYUM İLAVESİNİN Mg-6Al-0.3Mn-1Sn ALAŞIMININ
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REZZAN ÖRDEK

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NANOTEKNOLOJİ VE İLERİ MALZEMELER
ANA BİLİM DALI**

**MERSİN
OCAK-2018**

**SERYUM İLAVESİNİN Mg-6Al-0.3Mn-1Sn ALAŞIMININ
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REZZAN ÖRDEK

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

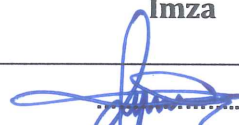
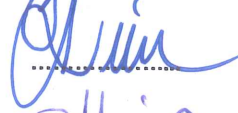

**NANOTEKNOLOJİ VE İLERİ MALZEMELER
ANA BİLİM DALI**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK**

**MERSİN
OCAK-2018**

ONAY

Rezzan ÖRDEK tarafından Yrd. Doç.Dr. Hüseyin ŞEVİK danışmanlığında hazırlanan "Seryum İlavesinin Mg-6Al-0.3Mn-1Sn Alaşımının Mekanik Özelliklere Etkisi" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 08 Ocak 2018 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Doç. Dr. Levent Cenk KUMRUOĞLU	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Güven YARKADAŞ	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ^{02.03.2018} tarih ve ^{2018.} ¹⁰ / ³²⁷ sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Ayla ÇELİK
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
 - Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
 - Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi
- beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

8 Ocak 2018 / 8 January 2018

Rezzan ÖRDEK

ÖZET

SERYUM İLAVESİNİN Mg-6Al-0.3Mn-1Sn ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Magnezyum alaşımlarının mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk oranları diğer metal alaşımlarına göre dikkat çekici hale gelmiştir ve birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmada, Mg-6Al-0,3Mn-1Sn (magnezyum-alüminyum-kalay) alaşımına farklı ağırlık oranlarında seryum (%0,5, 1 ve 2) kontrollü atmosferde soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiştir. Seryum ilavesinin Mg-6Al-1Sn alaşımının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Mikro yapı incelenmesi sertlik ve çekme dayanımı ayrıntılı olarak incelenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum Alaşımları, Magnezyum-Alüminyum Alaşımları, Seryum, Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Yöntemi

Danışman: Yrd. Doç. Dr Hüseyin ŞEVİK:, Mersin Üniversitesi, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı



ABSTRACT

EFFECT OF CERIUM ADDITION ON MECHANICAL PROPERTIES OF MG-6AL-0.3MN-1SN ALLOY

The Strength/weight, strength/density ratio of magnesium alloys according to other metal alloys to be attractive and many studies were done on this topic. In the study, different weight ratios of cerium (0.5, 1 and 2%) were produced in controlled atmosphere by cold chamber pressure die-cast method to Mg-6Al-0,3Mn-1Sn (magnesium-aluminum-tin) alloy. The effect of -1Sn alloy on mechanical properties has been investigated. Microstructure examination hardness and tensile strength were examined in detail and the results were examined.

Key Words: Magnesium Alloys, Magnesium-Aluminum Alloys, Cerium, (Ce) Cold chamber pressure casting method

Advisor: Yrd. Doç.Dr. Hüseyin ŞEVİK, Mersin University, Department of Nanotechnology and Advanced Materials



TEŞEKKÜR

Amacı bilim dünyasına ve insanlığa katkı sağlamak olan 'Seryum İlavlesinin Mg-6Al-0.3Mn-1Sn Alaşımının Mekanik Özelliklere Etkisi ' konulu yüksek lisans tezimde öncelikle yüksek lisansım boyunca desteğini esirgemeyen danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK'e teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca hayatım boyunca sevgi ve desteklerini esirgemeyen başta ablam Seda Ceylan'a ve diğer aile üyelerime ,bu süreçte hep yanımda olan sevgili eşim Nevzat Anıl Ördek 'e teőekkürleri bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	4
2.1. Magnezyumun Genel Özellikleri	4
2.2. Magnezyum Alaşımaları	7
2.2.1. Magnezyum-Alüminyum Alaşımaları	10
2.2.2. Magnezyum Çinko Alaşımaları	12
2.2.3. Magnezyum Kalay Alaşımaları	16
2.2.4. Magnezyum Alüminyum Kalay Alaşımaları	17
2.3. Magnezyum Alaşımalarının Üretim Yöntemleri	18
2.3.1. Giriş	18
2.3.2. Magnezyum Alaşımalarının Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi	21
2.3.3. Gravity Döküm Yöntem	26
2.3.3.1. Kum Kalıba Döküm	26
2.3.3.2. Kokil Kalıba Döküm	27
2.3.4. Düşük Basıncılı Döküm	30
2.3.5. Sıkıştırma Döküm	31
2.3.5.1. İndirekt Sıkıştırma Döküm	34
2.3.5.2. Direkt Sıkıştırma Döküm	34
3. MATERYAL VE YÖNTEM	36
3.1. Giriş	36
3.2. Mikro yapı İncelenmesi	38
3.3. Mekanik Deneyler	38
3.3.1. Sertlik Deneyi	38
3.3.2. Çekme Deneyi	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
4.1. Mikroyapı İncelenmesi	39
4.2. Mekanik Testler	42
4.2.1. Üretilen Alaşımaların Sertlik ve Çekme Mukavemeti	42
5. SONUÇLAR	45
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	49

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo2.1. Önemli metallerin yer kabuğundaki oranı	4
Tablo2.2. Mg temel özellikleri	6
Tablo2.3. Saf magnezyumun fiziksel özellikleri	6
Tablo2.4. Saf magnezyumun atom özellikleri	7
Tablo2.5. Saf magnezyumundıđer mekanik özellikleri	7
Tablo 2.6. Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları	8
Tablo 2.7. Alaşım elementlerinin Magnezyum metali üzerindeki etkileri	9
Tablo 2.8. Basınçlı döküm uygulamalarında Sülfür hegzaförür kullanımı	10
Tablo 2.9. Mg-Zn alaşımları	13
Tablo2.10. Katı fazlar ve sembolleri	15
Tablo 2.11. Mg-Zn-Al alaşım oranları	16
Tablo 2.12. Mg-Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri	16
Tablo 2.13. Soğuk kamaralı ve sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemlerinin karşılaştırılması	25
Tablo2.14. Basınçlı döküm ile üretilmiş çeşitli magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri	25
Tablo 2.15. AZ91 ve AM50 alaşımlarının döküm yöntemlerine göre mekanik özelliklerini karşılaştırılması LPDC (düşük basınçlı döküm) GPMC (GravityKokilKalıba Döküm) HPDC (yüksek basınçlı döküm)	31
Tablo 4.1.Mg-6Al-1Sn EDS Analiz Sonuçları	40
Tablo 4.2.Mg-6Al-1Sn-0.5Ce EDS Analiz Sonuçları	41
Tablo 4.3. Mg-6Al-1Sn-2Ce EDS Analiz Sonuçları	42
Tablo 4.4.Üretilen alaşımların sertlik, akma, çekme ve yüzde uzama değerleri	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Taşıtların yıllar bazında ağırlık, yakıt tüketimi ve CO2 emisyonu değişimi	1
Şekil 2.1. Birim hücredeki ana düzlemler ve yönleri	5
Şekil 2.2. Convair B-36 uzun menzilli bombardıman uçağı	5
Şekil 2.3. Magnezyum-Alüminyum ikili denge diyagramı	11
Şekil 2.4. Mg-Al alaşımının (AM60) tipik mikroyapı görüntüsü	11
Şekil 2.5. Mg-Zn denge diyagramı	12
Şekil 2.6. Çinkonun magnezyum içinde sıcaklığa göre eriyebilme sınırını veren XY eğrisi	13
Şekil 2.7. Mg-Zn-Al üçlü denge diyagramı	14
Şekil 2.8. Mg-Al-Zn üçlü faz diyagramı	15
Şekil 2.9. Magnezyum-Kalay ikili denge diyagramı	17
Şekil 2.10. Sn-Al-Mg üçlü denge diyagramı	18
Şekil 2.11. Magnezyum alaşımlarının açık potada ergimesi için kullanılan sabit yakıt yakan fırının kesiti	19
Şekil 2.12. Sıcak kamaralı basınçlı döküm sisteminin görünümü	23
Şekil 2.13. Soğuk kamaralı basınçlı döküm sisteminin görünümü	24
Şekil 2.14. Menteşeli bir kokil kalıp örneğı	27
Şekil 2.15. İki parçalı bir kokil kalıpta döküm işleminin gösterimi	28
Şekil 2.16. Düşük basınçlı döküm sistemi	30
Şekil 2.17. Sıkıştırma döküm prosesinin şematik görünümü	33
Şekil 3.1. İndüksiyon Ergitme Fırını	36
Şekil 3.2. Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Cihazı	37
Şekil 3.3. Üretilen Alaşımlar	37
Şekil 3.4. Raagen Çekme Cihazı	38
Şekil 4.1. FE-SEM mikroyapı görüntüleri	39
Şekil 4.2. Mg-6Al-1Sn alaşımının EDS analizi	40
Şekil 4.3. AM60-1Sn-0.5Ce alaşımının EDS analizi	41
Şekil 4.4. AM60-1Sn-2Ce alaşımının EDS analizi	42
Şekil 4.5. Akma-Çekme-Sertlik Diyagramı	43

KISALTMALAR ve SİMGELER

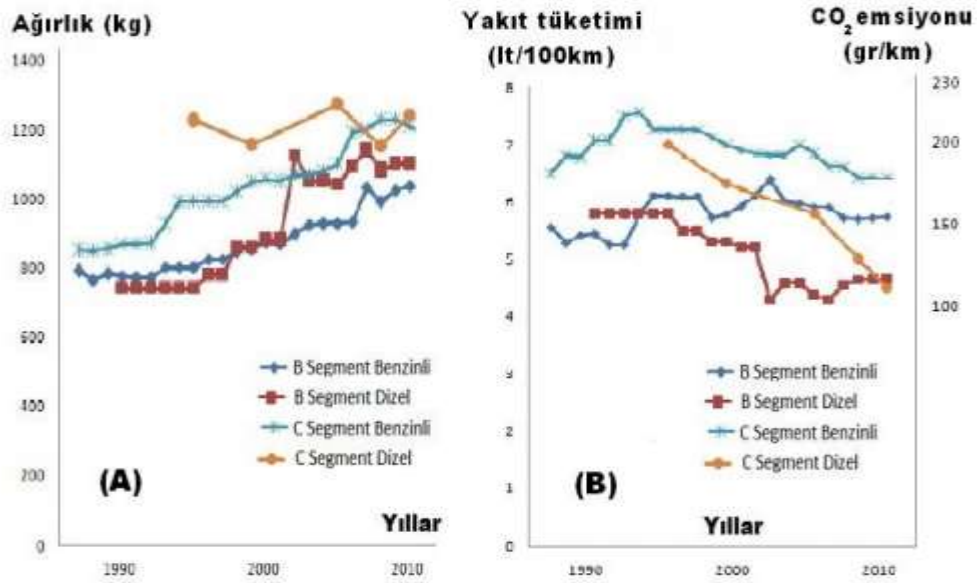
Kısaltma/Simge	Tanım
cm ³ /mol	Santimetre küp/Mol
dP	Mesnet noktasının sürtünme transdüserine olan mesafe
dT	Mesnet noktasının aşınma transdüseineolan mesafe
EDS	Elektron Saçılım Spektroskopisi
FT	Sürtünme kuvveti
FN	Normal Yük
F	Uygulanan Yük
g/mol	Gram/Mol
HB	Brinell sertliği
J	Joule
Kg	Kilogram
km/h	Kilometre/saat
km	Kilometre
K	Kelvin
MPa	Megapascal
m/s	Metre/saniye
mm	Milimetre
mm/min	Milimetre/dakika
mg/km	Miligram/kilometre
nm	Nanometre
N	Newton
ppm	Partspermilion
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
°C	Santigrat Derece
δ	Gama
α	Alfa
β	Beta
% e	Yüzde Uzama

1. GİRİŞ

Dünyanın gelişimi, bilim ve teknolojiyle mümkün olabilmektedir. Teknoloji ise performansa, hıza, ekonomik ve dayanıklı oluşuna dayandırılmaktadır. Bu nedenlerin en başında ise yaşam için gereken doğal kaynakların azalması, insan popülasyonunda bu oranda artmasıdır. Uçak sanayi, savunma sanayi ve otomobil sanayi gibi birçok sektör CO₂ emisyonunu minimuma indirmek için bazı çalışmalar yapmaktadır [1,2].

Amaçlanan CO₂ emisyonlarının azalması ve sınırlı yakıt rezervlerinin korunmasının sağlanmasıyla beraber; araçlardaki yüksek ses, güvenlik, konfor, eğlence donanımları gibi ek unsurlardan kaynaklanan ağırlık artışı sorunlarının giderilmesinde magnezyum alaşımli ürünler önem kazanmıştır [3,4]. Daha fazla konfor için yapılan ilave donanımlar yakıt verimliliğini artırma ve çevreyi koruma talepleriyle uyumsuzluk göstermektedir. Şekil 1.1'de taşıtların ağırlık ve yakıt tüketimi ilişkisi verilmiştir. Sweeder, bir araçtaki %10'luk ağırlık azalması ile aşağıdaki sonuçların ortaya çıkacağını ileri sürmüştür [1]:

- Yakıt tasarrufu – 0,8 lt/100km iyileşme
- Performans iyileştirmesi – 0-100 km/h hızlanmada 0,5 s düşüş
- Emisyonların azaltılması - % 7 daha az gaz salınımı
- Güvenlik - % 10 daha az kinetik enerji
- Yük taşıma kapasitesi – 140 kg'lık iyileşme
- Frenleme mesafesi – 100-0 km/h yavaşlamada 3m azalma
- Mevcut donanımların artırılabilmesi – DVD player, araç içi eğlence sistemleri gibi



Şekil 1.1. Taşıtların yıllar bazında ağırlık, yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu değişimi [5,6].

CO₂emisyollarını azaltabilmek için yapılan çalışmaların en başında yapı elemanlarının ağırlığını azaltmak gelmektedir.Bu nedenle demir esaslı alaşımlar yerine hafif metal esaslı alaşımlar tercih edilmektedir.Hafif metal alaşımları içinde en yaygın kullanılanı ise alüminyum (Al) esaslı alaşımlardır. Fakat Mg alaşımları düşük yoğunluğu ve yüksek mukavemet/ağırlık oranından dolayı bu endüstriye hakim olan Al alaşımlarına bir alternatif olarak gelişmektedir[7,8].

Magnezyum, alüminyumdan %36 demirden %78 daha hafif bir metaldir.Bu özelliği ile modern teknoloji olan uzay, uçak ve otomotiv parçalarında kullanımı kaçınılmaz hale gelmektedir. Fakat saf halde magnezyumun kullanımı dayanıklılığının düşük olmasından ötürü mümkün değildir. Bu sebeple çeşitli alaşım elementleri ilave edilerek Mg alaşımlarının mukavemet/ağırlık, mukavemet/yoğunluk oranları diğer metal alaşımlarına göre daha dikkat çekici hale gelmiştir.

Tüm dünyada magnezyum üretimi 1986'da 322.000 tondan 1990 yılına kadar 360.000 tona çıkmıştır. 2000 yılında bu miktarın 436.000 ton, 2028 'de ise hedefin 498.000 ton olacağı belirtilmektedir. Yapılan bu tahminlere rağmen günümüzde dünyadaki hızlı gelişmelere paralel olarak magnezyum üretimindeki artış hedeflerinin anormal boyutlara ulaştığı görülmektedir. Bir araştırma firması olan Roskill'in verdiği değerlere göre 2004 yılında magnezyum üretimi 660.000 ton/yıl ve 2008 yılında bu değer 964.000 ton/yıl değerlerine ulaşmıştır [9, 10, 11].

Avrupa Birliği ülkeleri önümüzdeki yüzyılda motorlu araçlarda yakıt tüketiminde 3 litre/100km hedefine ulaşmayı planlamaktadır ve bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için yönelmiş oldukları konulardan bir tanesinde daha öncede değinildiği gibi magnezyum alaşımlarıdır. Fakat Türkiye`de magnezyum alaşımları hakkında çok az çalışma bulunmaktadır. Ülkemizde katodik koruma külçeleri dışında magnezyum ürünleri üretimi yapılmamaktadır. Özellikle otomotiv, savunma sanayi ve havacılık sektörlerinin hızla artan magnezyum ürün taleplerini karşılamak için acilen altyapı çalışmaları başlatılmalı gerekli bilgi donanıma sahip olmamız gerekmektedir.

Magnezyum alaşımları tercih edilme sebepleri; Magnezyumun hafif olması, alaşımın sert ve dayanıklı olması isteniyorsa sert metallerle karışımı yapılarak alaşımı elde edilebilmesi, parlak ve beyaz bir metal olması nedeniyle dış yüzeyde kullanımında görsel güzelliği olması ve mukavemeti oldukça düşük olmasına rağmen mukavemet/yoğunluk değerinin yüksek olması nedeniyle tercih edilmektedir. Magnezyumun en fazla kullanılan alaşımı ise magnezyum-alüminyum alaşımlarıdır [12].

Bu çalışmada, Mg-6Al-0,3Mn-1Sn (magnezyum-alüminyum-kalay) alaşımına farklı ağırlık oranlarında seryum (%0,5, 1 ve 2) kontrollü atmosferde soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiştir. Seryum ilavesinin Mg-6Al-1Sn alaşımının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Mikro yapı incelenmesi sertlik ve çekme dayanımı ayrıntılı olarak incelenmiş ve

sonuçlar irdelenmiştir. Mikro yapı karakterizasyonu için SEM (Taramalı elektron mikroskobu) ve EDS testleri (Enerji dağılımlı x-ışınları analizi) kullanılmıştır. Çalışmanın 1. bölümünü genel bakış oluşturmaktadır. 2. ve 3. bölümde literatür çalışması gerçekleştirilecektir. 4. bölümde ise mikroyapı karakterizasyonu ve alaşım elementinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenecektir. Son bölüm olan 5. bölümde sonuçlar özetlenecektir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Magnezyumun Genel Özellikleri

Magnezyum periyodik cetvelin II A grubunda yer alan toprak alkali metallerden bir kimyasal elementtir. Magnezyum dünya üzerinde en bol bulunan elementlerden biridir ve yer kabuğunun ağırlıkça yaklaşık %2,7'sini teşkil eder ki en çok bulunan sekizinci elementtir ve altıncı metaldir. Tüm yapı malzemeleri arasında en yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahiptir. 1970 deki yakıt krizinden beri, düşük emisyon ve düşük yakıt tüketimi için araçların ağırlıkları düşürülmeye çalışılmaktadır [13]. Birinci ve İkinci Dünya Savaşı yıllarında magnezyum alaşımlarının kullanımı artmaya başlamış fakat magnezyumun en önemli problemi oda sıcaklığında şekillendirilebilme kabiliyetinin oldukça düşük ve maliyetinin yüksek olması sebebiyle büyük ölçekli üretimler gerçekleştiremediği için çok fazla ilerleme olmamıştır. Son yıllarda yeni talepler bu durumu değiştirmeye başlamıştır. Önümüzdeki 10 yıldaki gelişme hızı, her yıl %7 artış olacağı tahmin edilmektedir [14].

Tablo 2.1. Önemli metallerin yer kabuğundaki oranı [9, 15].

Element	Al	Fe	Mg	Ti	Zn	Ni	Cu	Pb
% oran	7,5	4,7	2,7	0,58	0,02	0,018	0,01	0,002

Çeşitli ham maddelerden magnezyum metali üretilebilmektedir. Metalik magnezyum elementi şu anda dünyada kullanılabilir en düşük yoğunluğa sahip metaldir. Ekonomik olarak kazanılabilir magnezyum minerali 11 ülkede 38 önemli yatakta 380 milyon ton olarak çıkarılmaktadır. Magnezyumun kazanıldığı üç temel kaynak deniz suyu, mineral kayalar ve asbesttir.

Dünya'daki en büyük magnezyum yatakları ise şu şekilde dağılmıştır [9].

Kuzey Amerika: ABD, Kanada

Güney Amerika: Brezilya

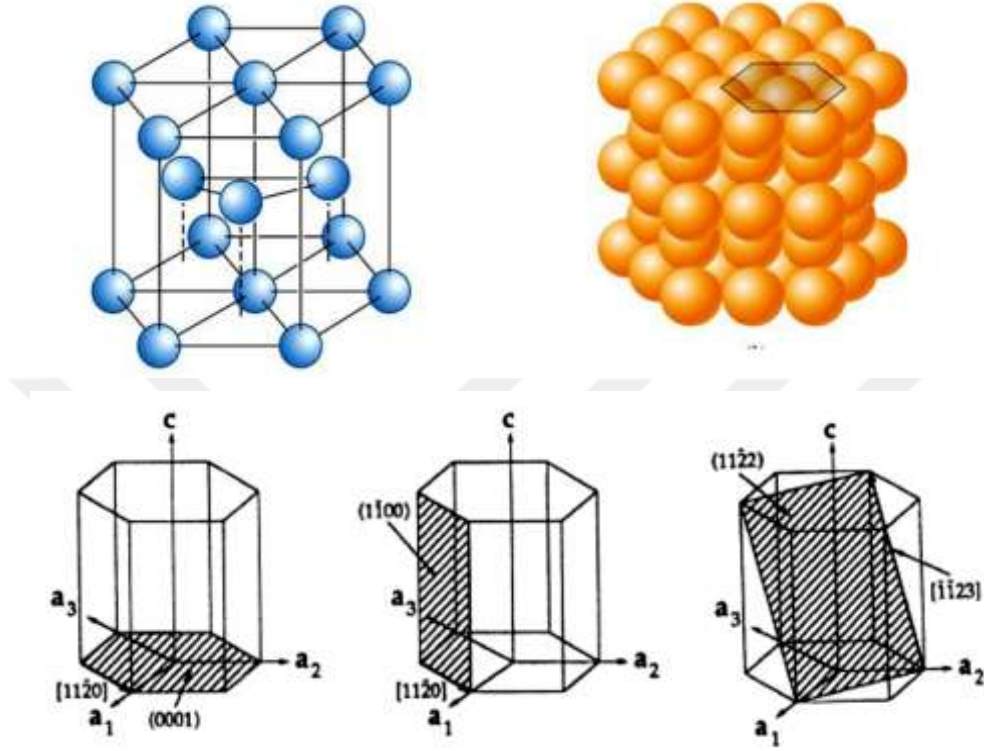
Avrupa: Norveç, Avusturya, Çekoslovakya, Yunanistan, Türkiye, Rusya,

Asya: Çin, Hindistan, K.Kore

Okyanusya: Avustralya

Magnezyum, atom numarası 12, atom ağırlığı 24,3050 g/mol'dür. Atom çapı 0,32 nm ve atomik hacmi $14 \text{ cm}^3/\text{mol}$ 'dür. Kristal yapısı hegzagonal sıkı pakettir (HSP). Şekil 2.1. birim

hücredeki temel düzlemleri göstermektedir. Saf magnezyumun oda sıcaklığında hesaplanan kafes parametreleri; $a = 0,3202$ nm ve $c = 0,5199$ nm'dir. 1,6236 olan c/a oranı, ideal değere (1,633) oldukça yakındır. Bu nedenle magnezyumun, mükemmel sıkı paket yapıya sahip bir metal olarak düşünülebilir [16].



Şekil 2.1. Birim hücredeki ana düzlemler ve yönleri [17].

Örneğin Convair B-36 bombardıman uçağında 5.555kg levha magnezyum ve 700kg kadar dövme magnezyum kullanılmıştır. Aynı dönemlerde tasarımı yapılan Tupolev Tu-95MS uçağında da 1.550kg kadar seviyelere inmiştir.



Şekil 2.2. Convair B-36 uzun menzilli bombardıman uçağı [18].

ConvairB-36 uzun menzilli bombardıman uçağının inşasında toplam 8.600kg magnezyum kullanılmıştır [18].

Saf magnezyumun temel fiziksel atom ve diğer özellikleri tablo 2.2 ,2.3, 2.3. ve 2.5.'de verilmiştir.

Tablo2.2. Mg temel özellikleri [19].

Temel özellikleri	
Atom numarası	12
Element serisi	Alkalinler
Grup, periyot, blok	2, 3, s
Görünüş	Gümüş Beyazı 
Atom ağırlığı	24,312 g/mol
Elektron dizilimi	[Ne] 3s ²
Enerji seviyesi başına Elektronlar	2,8,2
CAS kayıt numarası	{{{CAS_kayıt_numarası}}}

Tablo2.3. Saf magnezyumun fiziksel özellikleri [19].

Fiziksel Özellikleri	
Maddenin hali	katımsı
Yoğunluk	1.738 g/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluğu	1.584 g/cm ³
Ergime noktası	923 °K 650 °C
Kaynama noktası	1363 °K 1090 °C
Ergime ısısı	{{{Ergime_ısısı}}} kJ/mol
Buharlaştırma ısısı	128 kJ/mol
Isı kapasitesi	24.869 J/(mol·K)

Tablo2.4. Saf magnezyumun atom özellikleri [19].

Atom özellikleri	
Kristal yapısı	hexagonal
Yükseltgenme seviyeleri	2
Elektronegatifliği	1.31 Pauling ölçeği
İyonlaşma enerjisi	1. 737.7 kJ·mol ⁻¹ 2. 1450.7 kJ·mol ⁻¹ 3. 7732.7 kJ·mol ⁻¹ kJ/mol
Atom yarıçapı	150 pm pm
Atom yarıçapı (hes.)	145 pm pm
Kovalent yarıçapı	130 pm pm
Van der Waals yarıçapı	173 pm pm

Tablo2.5. Saf magnezyumundüğer mekanik özellikleri [19].

Diğer özellikleri	
Elektrik direnci	43.9 nΩ·m (20°C'de)
Isıl iletkenlik	156 W/(m·K)
Isıl genleşme	24.8 μm/(m·K) (25°C'de)
Ses hızı	4940 m/s ('de)
Mohs sertliği	2.5
Vickers sertliği	MPa
Brinell sertliği	260 MPa

2.2. Magnezyum Alaşımları

Diğer birçok metal gibi magnezyum metali de saf olarak çok nadir kullanılmaktadır. Döküm yöntemi ile üretilen magnezyumun hemen tüm özelliklerinin iyileştirilmesi için alaşımlama kullanılmaktadır.1908 yılında magnezyum alaşımları için Alman firması “ Chemische Fabrik Griesheim” tarafından ilk adımlar atılmış olmasına rağmen magnezyum döküm alaşımlarının geliştirilmesi 1925 yılında yine Almanya’da yapılan çalışmalar ile başlamıştır[3,10-12]. 1930 ile 1965 yılları arasında Mg-Al-Zn-Mn sistemine bağlı alaşımlar ticari olarak kullanılıyordu. Bu kullanılan alaşımlardan en yaygın olanı AZ91 alaşımıydı. Nitekim ilk çalışmalar otomobiller içerisindeki aksamlar olmuştur ki en tanınmış örnek olarak VW – Beetle verilebilir. [1, 3, 4, 9, 23].

Magnezyum alaşımları mükemmel işlenebilirliği ile düşük ağırlıklı malzemeler için istenen boşluğu doldurmasına rağmen hala alüminyum ve plastikler ile yarışmamaktadır. Ana

faktörü düşük ve sabit maliyetlerde dünya pazarına sunulamaması ve tatmin edici mekanik özelliklerin sağlanamaması oluşturmaktadır. Bununla birlikte hala araştırmacılar magnezyum alaşımları üzerinde çalışmaları sürdürmektedir ve ana konuları aşağıdaki başlıklar oluşturmaktadır[3]:

- Alaşım geliştirme
- Hızlı soğuma
- Üretim teknolojileri
- Kompozitler
- Korozyondan koruma
- Geri dönüşüm

bu konu başlıkların takibinde araştırmacıların amacını da aşağıdaki maddeler oluşturmaktadır:

- Birincil malzemelerin düşük maliyette üretilmesi
- alaşım çeşitlerinin genişletilmesi ki bu sürünme davranışının geliştirilmesi ve spesifik ağırlığın düşürülmesi için gerekmektedir.
- Yenilikçi üretim metotları geliştirmek
- Geliştirilmiş kaplama teknikleri ile korozyon direncini arttırmak
- Hızlı soğuma proseslerinden faydalanabilme
- En iyi şekilde magnezyum matrisli kompozitlerin kullanım alanlarının geliştirilmesi
- İkincil geri dönüşüm tesislerinin kurulması ile geri dönüşüm kavramını genişletmek

Magnezyum parçaların sahip olduğu avantajlara rağmen halen dünya pazarında yerini tam olarak alamamıştır ki avantajları ve kullanım sınırlamaları Tablo 2.6'de sunulmuştur[4,9,24].

Tablo 2.6. Magnezyum alaşımlarının avantaj ve dezavantajları.

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none">- Bütün metalik malzemelerin arasında en düşük yoğunluğa sahip- Yüksek spesifik mukavemet- Basıçlı döküm için iyi dökülebilirlik ve kullanım- Yüksek kesme hızında kolay işlenebilirlik- İnert gaz altında iyi kaynaklanabilirlik- Geliştirilmiş korozyon direnci- Plastikler ile karşılaştırıldığında iyi mekanik özellik, daha iyi elektrik ve termal iletkenlik, geri dönüşüm	<ul style="list-style-type: none">- Birkaç alaşıma sahip olması- Oda sıcaklığında düşük süneklik ve tokluğa sahip- Yüksek sıcaklıkta limitli özellikler sürünme direnci gibi- Yüksek kimyasal reaksiyon- Yüksek döküm çekilmesi- Yüksek üretim maliyetleri

Magnezyum alaşımları neredeyse tüm üretim yöntemleri ile üretilmektedir. Kullanılan üretim yöntemlerinden bir tanesi de döküm yöntemidir. Bu yöntemler soğuk ve sıcak

kamaralı döküm, thixocasting, savurma döküm, sürekli döküm ve kum döküm olarak sıralanabilir. Farklı magnezyum alaşımları için farklı yöntemler uygulanmakta ve bu alaşımlar farklı mekanik özellikler göstermektedir. Genellikle magnezyum alaşımları otomobil parçalarında, savunma ve uzay sanayinde, diz üstü bilgisayarlarda, kamera cep telefonu gibi elektronik aletlerin aksamlarında kullanılmak üzere basınçlı döküm tekniği ile üretilirler.[5,6,9, 11].

Magnezyum alaşımlarının geliştirilmesinde, Al, Be, Ca, Li, Mn, Si, Ag, Th, Zn ve Zr elementleri katılarak mikro alaşımlandırma denenmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilen yeni magnezyum alaşımlarında nadir toprak metalleri kullanılmaktadır. Bu elementlerin Mg metali üzerindeki etkileri aşağıdaki Tablo 2.7'de verilmiştir[9,21,17,25,26].

Tablo 2.7. Alaşım elementlerinin Magnezyum metali üzerindeki etkileri.

Al	Magnezyum alaşımının çekme mukavemetini ve sertliğini artırır. Katı eriyik sertleşmesi ve çökelme sertleşmesi(Mg ₁₇ Al ₁₂) düşük sıcaklıkta (<120°C) alaşımın mukavemetine katkıda bulunur. Yüksek oranlarda ilavesi mikro poroziteyi artırır. Dökülebilirliği artırır.
Be	Çok düşük konsantrasyonlarda (<30ppm) erimiş metal yüzeyinde oksidasyonu azaltır. Mg-Al alaşımlarında berilyum tane kabalaşmasına neden olabilir.
Ca	Kararlı intermetalik bileşen Mg ₂ Ca ergime sıcaklığının 715°C olması sürünme direncini artırır ve tane küçülmesinde pozitif etki yapar. Aynı zamanda ergimiş metalin oksidasyonunu biraz durdurur. Buna karşın korozyon davranışı üzerinde olumsuz etkiye sahiptir.
Li	Ortam sıcaklığında katı eriyik sertleşmesi oluşturur. Yoğunluğu düşürür ve sünekliği artırır.
Mn	Manganez Fe-Mn çökelti bileşeni vasıtası ile magnezyum eriyiğindeki demir içeriğini kontrol etmekte kullanılır. Alaşımların sürünme direncini artırabilir ve demir kontrolü ile korozyon direncini geliştirir. Ama magnezyum alaşımlarının mukavemetinde çok az etkiye sahiptir.
Si	Silisyum oluşturduğu kararlı silisit Mg ₂ Si intermetalikliğinden dolayı yüksek sıcaklık özelliklerini geliştirebilir. Ama magnezyum alaşımlarının dökülebilirliğini düşürür. Silisyumun korozyona etkisi göz ardı edilebilir.
Sr	Çekme boşluğu veya dağılımında olumlu etkiye sahiptir ve magnezyum alaşımının porozite eğilimi azalır. Mg-Al sistemlerinde tane inceltici etkiye sahiptir ve aynı zamanda sürünme direncini artırmaktadır.
Ag	Nadir elementler ile yüksek sıcaklıkta mukavemeti ve sürünme direncini artırır, fakat aynı zamanda korozyon direncini azaltır.
Th	Magnezyum alaşımlarının yüksek sıcaklıkta mukavemetini ve sürünme direncini artırır, fakat radyoaktif elementtir.
Zn	Ergimiş metalin akıcılığını artırır ve tane inceltici etki gösterir, buna karşın mikro porozite oluşumuna eğilim gösterir.
Zr	Katılaşma esnasında Zr'ca zengin partiküller Mg tanelerinin heterojen çekirdeklenmesine neden olur. Bu nedenle Zr elementi Si, Al ve Mn ile kullanılmadığı zaman çok güçlü tane inceltici etkiye sahiptir. Sonuç olarak ortam sıcaklığında çekme mukavemetini geliştirir.
RE	Tüm nadir elementler magnezyum ile sınırlı çözünürlük içermektedir ki bundan dolayı çökelme sertleşmesi mümkündür. Buda sürünme davranışını, korozyon davranışını ve yüksek sıcaklık mukavemetini artırır. Teknik alaşım elementleri olarak yttrium, neodymium ve cerium dur. Yüksek maliyetlerinden dolayı genelde yüksek teknolojik alaşımlarda kullanılırlar.

Sıvı magnezyum normal atmosferde çok hızlı bir biçimde oksijen ile reaksiyona girer. Bu yüzden, bugün sülfür hegzafloreür (SF₆) içeren gaz karışımları sıvı magnezyumu korumak için kullanılmaktadır. Eriyik magnezyum yüzeyini korumak için renksiz, kokusuz ve zehirsiz SF₆ gazı hacimce %0,2-0,5 arasında CO₂ veya kuru hava gibi gazlar ile karışım halinde kullanıldığında yeterli koruma sağlanabilmektedir. Tablo 2.8'de basınçlı döküm ile üretilecek magnezyum alaşımları için önerilen örnek gaz karışımlarını göstermektedir[16,18,19,25,26].

Tablo 2.8. Basıncılı döküm uygulamalarında Sülfür hegzaförür kullanımı.

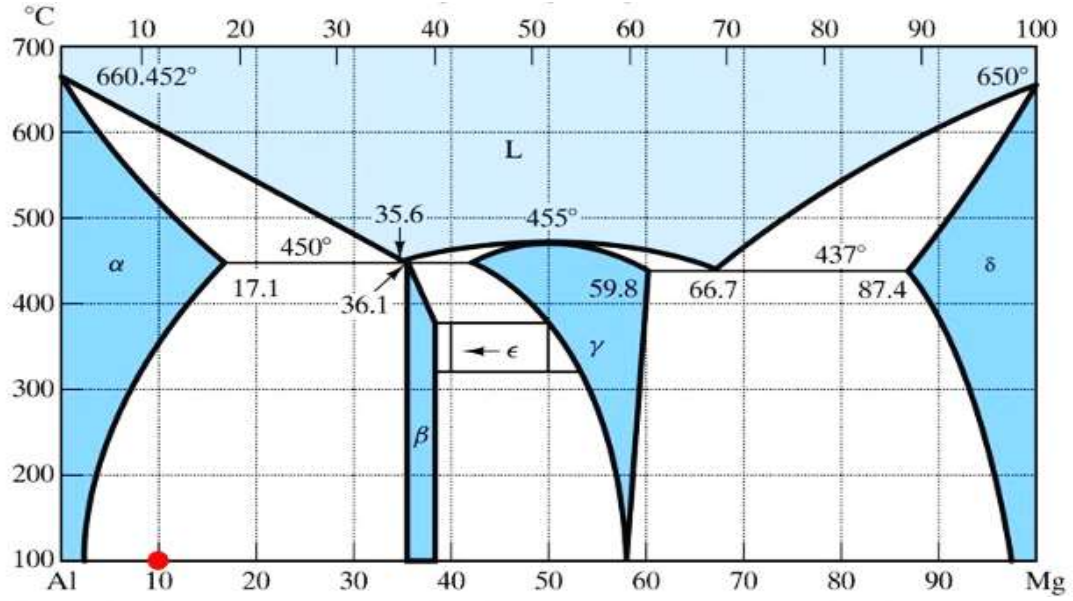
Ergime Sıcaklığı(°C)	Önerilen koruyucu gaz karışımı(% hac.)	Yüzey karıştırma	İşlem durumu	
			Kalıntı Flaks**	Eriyik Koruma
650-705	Hava+0.04 SF ₆ *	Yok	Yok	Mükemmel
650-705	Hava+0.2 SF ₆	Var	Yok	Mükemmel
650-705	75 hava+ 25 CO ₂ + 0.2 SF ₆	Var	Var	Mükemmel
705-760	50 hava+ 50 CO ₂ + 0.3 SF ₆	Var	Yok	Çok iyi
705-760	99,8 CO ₂ + 0.2 SF ₆	Var	Var	Mükemmel

* Kontrol koşulları altında minimum konsantrasyon

** Daha önceki işlemlerden gelebilir.

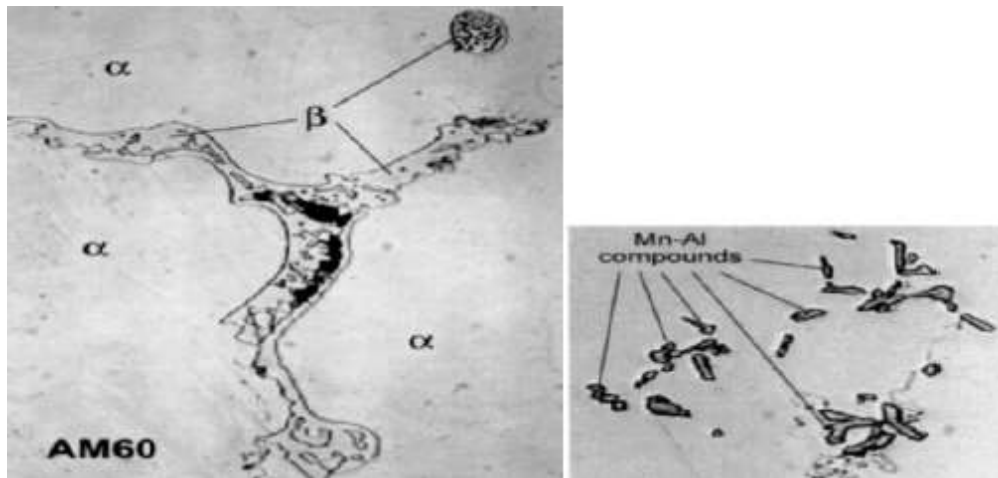
2.2.1. Magnezyum-Alüminyum Alaşımları

Alüminyum (Al) tabiatta en çok bulunan elementlerden biridir ve mühendislik yapılarında çelikten sonra en çok kullanılan metaldir. Magnezyum alaşımları arasında alüminyumun çok tercih edilmesinin nedeni, tabiatta çok bulunması buna bağlı olarak maliyetinin uygun oluşu ve göstermiş olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayıdır. Şekil 2.3 de Mg-Al ikili denge diyagramı görülmektedir. Denge diyagramından da görüldüğü gibi 437°C gibi çok düşük sıcaklıkta ötektik reaksiyon gerçekleşmektedir. Ötektik reaksiyon, $L \leftrightarrow Mg_{17}Al_{12} + \alpha(Mg)$, düşük sıcaklıkta meydana gelir(437°C). Bu ötektik sıcaklıkta alüminyumun maksimum çözünürlüğü %12,7 ve azalan sıcaklık ile alüminyumun çözünürlüğü de keskin bir şekilde azalır. Buradaki karakteristikler Mg-Al alaşım sisteminin alaşımlarının iyi dökülebilirlik, katı eriyik sertleşmesi ve çökeltme sertleşmesi sağlayabileceğini göstermektedir[10,15, 27].



Şekil 2.3. Magnezyum-Alüminyum ikili denge diyagramı[23].

Mg-Al alaşımlarında % 2 den daha fazla alüminyum içerdiği zaman döküm mikroyapısında $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalığı görülür. Eğer alaşımlarda alüminyum içeriği % 8'in üzerinde ise ağ yapısını tamamlamamış $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalığı tane sınırları boyunca dağılım gösterir ve bu durum sünekliğin hızlı bir şekilde düşmesine neden olur. Yaklaşık $420^{\circ}C$ de çözelti işlemi $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalığının çözünmesine sebep olur, katı eriyik sertleşmesi meydana gelir ve her iki durumda çekme mukavemeti ve sünekliği arttırır. $150^{\circ}C$ ile $250^{\circ}C$ aralığında $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalığı çökebilir ve bu çökelti partikülleri çekme mukavemetinin artmasını sağlar. Buna karşın, Mg-Al alaşımları yapısal malzemeler olarak kullanılmak için gerekli özellikleri taşımayabilir. Çinko, mangan, silisyum, nadir elementler gibi elementleri Mg-Al alaşım sistemine ilave edilerek özelliklerin geliştirilmesi sağlanır[10].

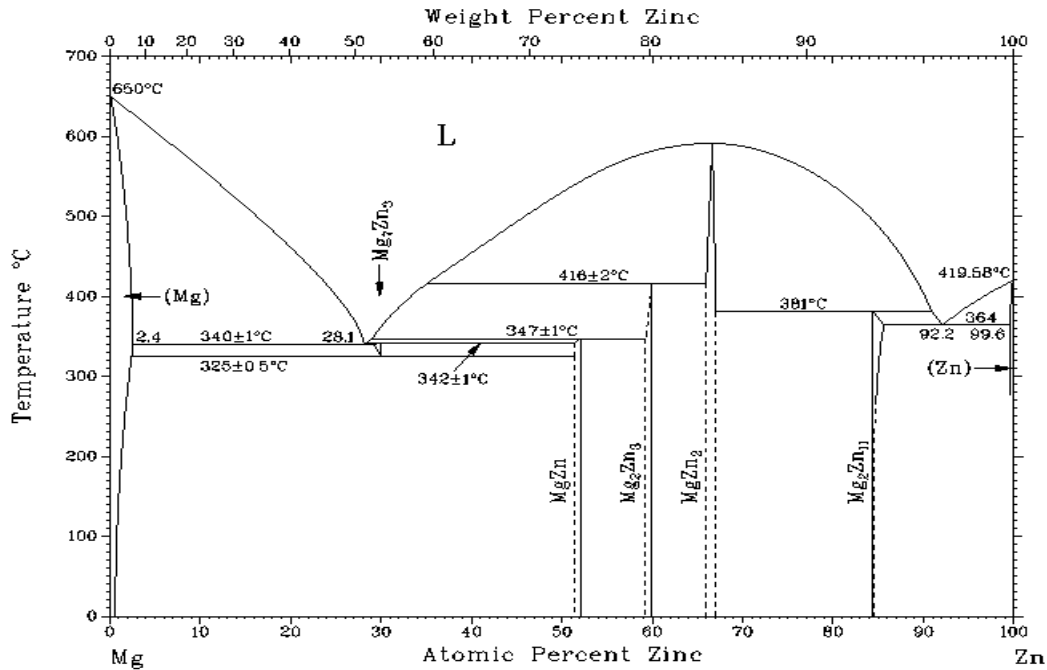


Şekil 2.4. Mg-Al alaşımının (AM60) tipik mikroyapı görüntüsü (α : Mg, β : $Mg_{17}Al_{12}$ ve farklı şekillerdeki Al-Mn bileşenleri)[28].

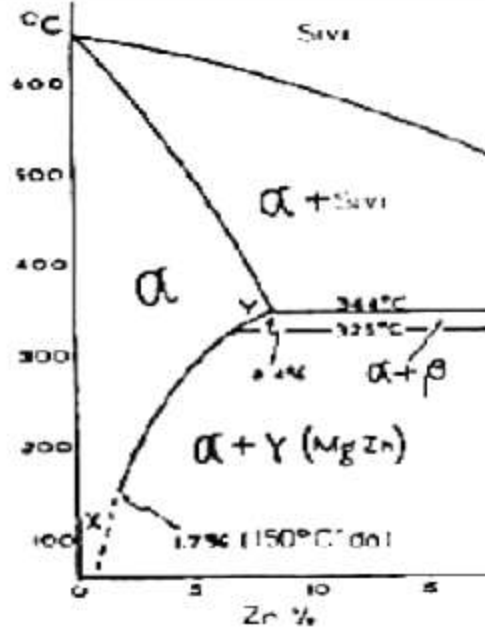
AM60 (Mg-6Al-Mn) alaşımı Mg-Al sisteminde en yaygın kullanılan alaşımdır. Şekil 2.4 'de tipik AM60 alaşımının mikroyapısı görülmektedir. Mg-Al alaşım sistemine üçüncü alaşım elementi olarak mangan ilavesi Fe-Mn çökelti bileşeni vasıtası ile magnezyum eriyiğindeki demir içeriğini kontrol etmekte kullanılır. Demir kontrolü ile korozyon direnci geliştirilir. Ayrıca sırasıyla düşük ve yüksek oranda magnezyum içeren (Mg-Al-Mn)₁ ve (Mg-Al-Mn)₂ fazları bu alaşımlarda bulunmaktadır. Bu fazlar Mg-Al alaşımlarının yüksek sıcaklık mukavemetini de geliştirebilir. Bu alaşım AZ91(Mg-9Al-1Zn) alaşımından daha yüksek süneklik gösterir ve yüksek performans beklenen arabaların tekerleklerinin özel gereksinimleri için kullanılır[9, 27].

2.2.2. Magnezyum Çinko Alaşımları

Magnezyum-çinko (Zn) sistemi (Şekil 2.6.). Sistem, çoktan beri bilinen uygun ergimeli bir MgZn₂ bileşimi ile buna daha sonra eklenmiş iki yeni bileşim, Mg₂Zn₃ ve MgZn'den oluşur. Katı fazlar belli bir homojenlik alanına sahiptir. Bu alana düşük sıcaklıkta az rastlanır. Çinkonun magnezyum içinde sıcaklığa göre eriyebilme sınırını veren XY eğrisi (Şekil 2.7.) birçok araştırmaya konu olmuş olup XY boyunca eriyebilme kabiliyetindeki değişme, çökeltme sertleşmesini mümkün kılmaktadır. Pratik olarak Mg-Zn ultra-hafif alaşımların, magnezyumdan yana zengin α katı eriyik dendritleriyle α + MgZnötektiğinden oluştuğu görülür [29,30,31,32].



Şekil 2.5. Mg-Zn denge diyagramı [29].



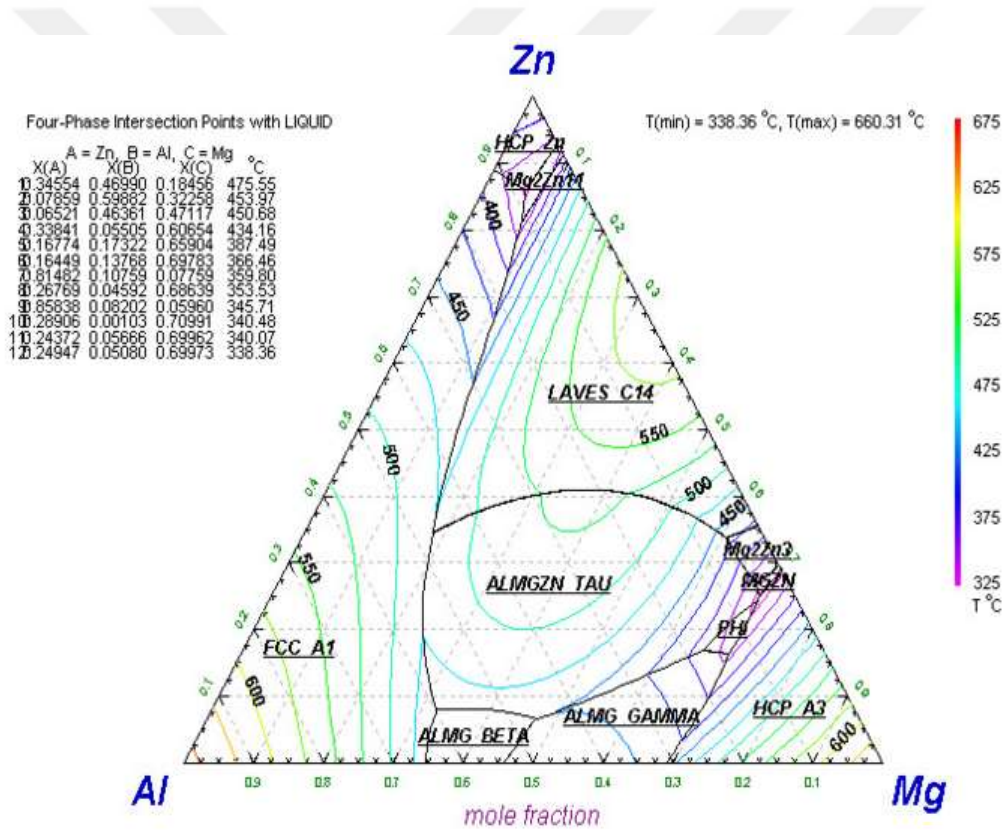
Şekil 2.6. Çinkonun magnezyum içinde sıcaklığa göre eriyebilme sınırını veren XY eğrisi [33].

Mg-Zn alaşımlarından birkaçını sınıflandıracak olursak (Tablo 2.9.): Mg-Zn-Zr döküm alaşımları bu alaşımlar (ZK51, ZK61) sınırlı kullanıma sahiptir. Çünkü döküm sırasında mikro boşluk oluştururlar ve yüksek çinko içeriklerinden dolayı kaynaklanamazlar. Mg-Zn-Nadir Toprak-Zr Döküm Alaşımlar bu alaşımlar (EZ33, ZE63) nispeten iyi dökülebilirliğe sahiptir. Nadir toprak elementlerinin ilavesi mikro boşlukları doldurma eğiliminde olduklarından dökülebilirlik iyileşir.

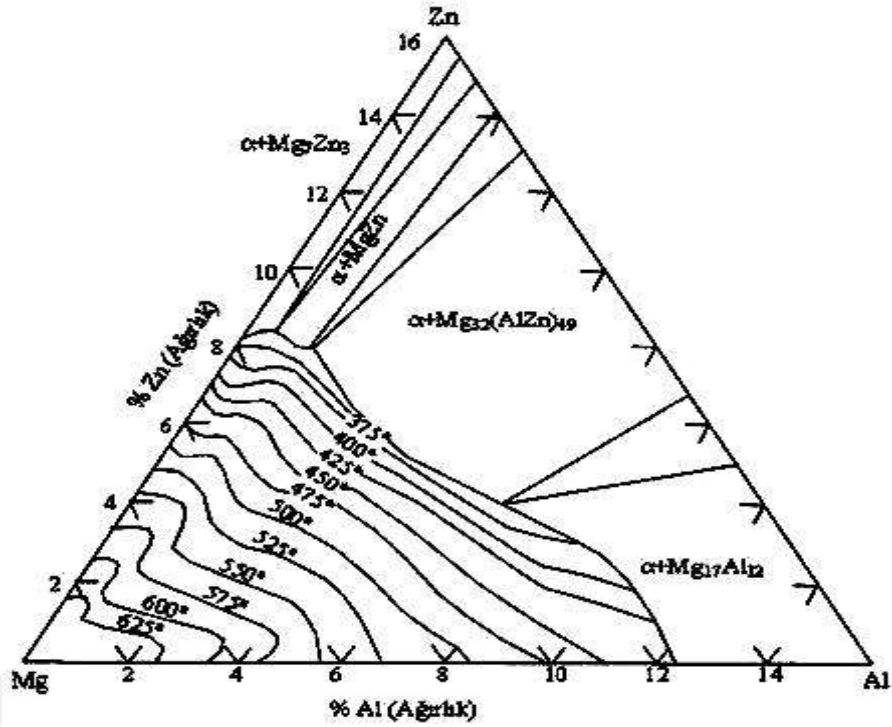
Tablo 2.9. Mg-Zn alaşımları [34].

Alaşım	%Zn	%RE	%Zr	Uygulamalar
ZK51	4,6		0,7	Kum dökümler; oda sıcaklığında iyi dayanımlar
ZK61	6,0		0,8	Kum dökümler; oda sıcaklığında iyi dayanımlar
EZ33	2,6	3,2	0,7	175-260 °C' de uygulamalar için basınç sızdırmaz kum ve metal kalıba dökümler
ZE41	4,2		0,7	Kum dökümler; oda sıcaklığında iyi dayanımlar
ZE63	5,7	2,5	0,7	ZK alaşımlarının üzerinde iyileştirilmiş dökülebilirlik

Çinkonun magnezyum alaşımlarında en yaygın kullanımı magnezyum alüminyum ve çinko alaşımlarıdır (Mg-Al-Zn). Bu alaşımlarda Al oranı çinkodan daha fazladır. Mg-Al-Zn alaşımları, dayanım, iyi korozyon ve hafiflik özelliklerinden dolayı önem taşıyan alaşımların çoğu kokil kalıba dökümdür. Mg-Al alaşımlarına çinko ilavesi ile dayanım, katı eriyik mukavemeti ve çökelme sertleştirilmesi ile artar. Magnezyum, yaklaşık % 10'dan fazla Al+Zn ile alaşımlanamaz çünkü alaşımın sünekliği, gevrek metaller arası bileşik oluşumu nedeni ile azalır. Yapılan akademik çalışmalarda Mg-Zn-Al-RE alaşımlarının Mg-Al-Zn alaşımlarına göre avantajları tespit edilmiştir. Bu alaşımlarda Zn oranı Al göre daha fazladır. Mg-Zn-Al alaşımları Mg-Al-Zn alaşımları ile arasındaki ısıl direnç farkını kapatmaktadır fakat daha maliyetlidir. Mg-Zn-Al üçlü denge diyagramında Zn/Al oranının fazla olduğu alanlarda $Mg_{17}Al_{12}$ fazı bulunmamaktadır Şekil 2.8.'de gösterilmektedir[35].



Şekil 2.7. Mg-Zn-Al üçlü denge diyagramı [35].



Şekil 2.8. Mg-Al-Zn üçlü faz diyagramı [36].

Şekil 2.8.'da gösterilen Mg-Zn-Al alaşım sisteminin üçlü faz diyagramında Al'ca zengin bölge incelendiğinde, üç temel metalik faz olduğu görülmektedir. Bunlar; MgZn, Mg₃₂(AlZn)₄₉ ve Mg₁₇Al₁₂'dir. Yani çinkoca zengin bölgeden farklı fazlar gözlenmektedir. Katı fazlar ve sembolleri Tablo 2.10.'de verilmiştir [33,34].

Tablo2.10. Katı fazlar ve sembolleri[37].

Faz	Sembol	Sıcaklık Aralığı (°C)	Faz	Sembol	Sıcaklık Aralığı (°C)
(Al)	-	<660.5	Mg ₇ Al ₃	☐	342-325
(Mg)	-	<650	MgZn	☐	<347
Zn	-	<419.6	Mg ₃ Al ₃	☐	<416
Mg ₂ Al ₃	☐	<453	MgZn ₂	☐	<590
Mg ₂₃ Al ₃₀	x	450-428	Mg ₂ Zn ₁₁	☐	<381
Mg ₁₈ Al ₅₂	y	-	Mg ₃₂ (AlZn) ₄₉	☐	<535
Mg ₁₇ Al ₁₂	☐	<460	Al ₂ Mg ₅ Zn ₂	☐	393-?

Mg-Zn-Al alaşımlarına ilişkin yapılan bir çalışma Tablo 2.11.'de verilmiştir. Bu alaşımların mekanik özellikleri incelendiğinin 150 °C de mekanik özellikleri Tablo 2.12.'da verilmiştir. Yapılan çalışmada 150°C çekme dayanımının Zn oranı arttıkça arttığını göstermektedir[37].

Tablo 2.11. Mg-Zn-Al alaşım oranları [37].

Alloy	Composition (mass %)							
	Zn	Al	Ce	La ^a	Nd ^a	Pr ^a	Mg	Total (RE)
ZAE654	5.364	4.994	2.079	1.092	0.822	0.229	Bal.	4.222
ZAE674	5.943	6.875	1.997	1.049	0.607	0.228	Bal.	3.881
ZAE854	8.014	4.772	2.379	1.250	0.723	0.272	Bal.	4.624
ZAE1054	10.146	4.987	1.956	1.027	0.594	0.223	Bal.	3.800

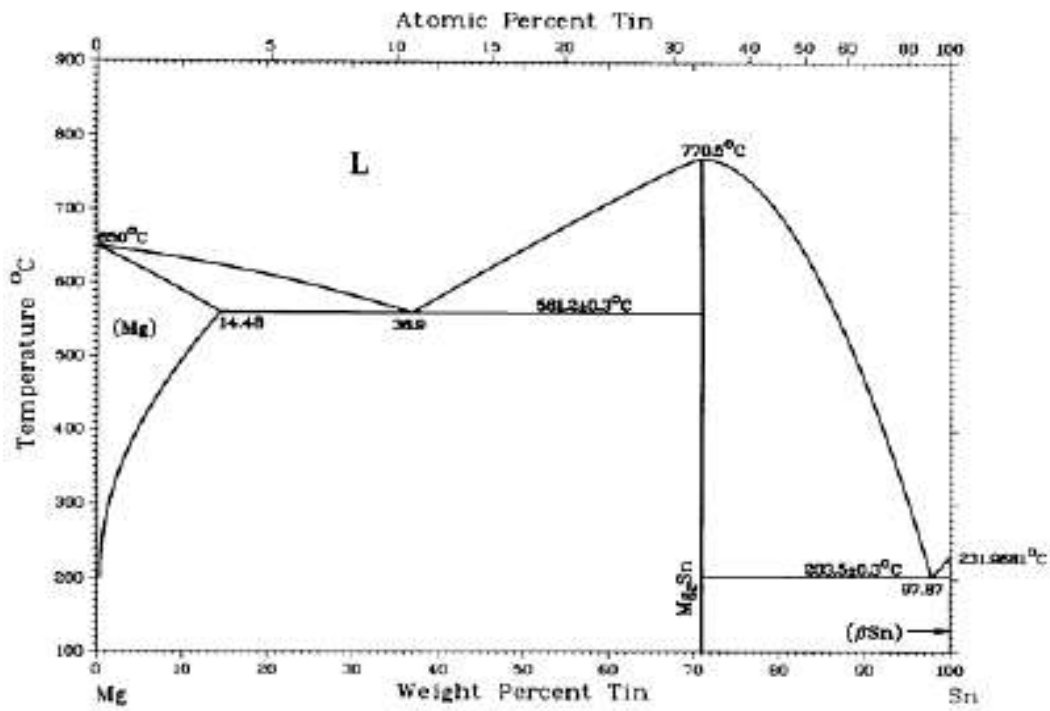
Tablo 2.12. Mg-Zn-Al alaşımlarının mekanik özellikleri [37].

Alloy	UTS (MPa)		YS (MPa)		Elongation (%)	
	RT	150 °C	RT	150 °C	RT	150 °C
	ZAE654	242	125	140	89	6.4
ZAE674	168	112	93	70	3.2	5.4
ZAE854	174	120	95	86	3.1	4.3
ZAE1054	159	127	93	86	1.8	3.1

2.2.3. Magnezyum Kalay Alaşımları

Kalay(Sn) ilaveli magnezyum alaşımları ilk olarak 1934 yılında denenmiştir. Magnezyum-Kalay alaşımları literatürde (AT) olarak isimlendirilmektedir. Son günlerde, yüksek sıcaklık uygulamaları için potansiyeli olduğuna inanılan Mg-Sn esaslı alaşımlara ilgi artmıştır. Mg-Sn sistemi genellikle çökelme prosesi ile özelliklerinin kontrol edildiği bilinen tek sistemdir. Mg-Sn ikili alaşımları için maksimum katılma aralığı 67°C'dir. Bu aralık Mg-Al (136°C) ve Mg-Zn(283°C) ikili alaşımlarına göre daha dardır. Sonuç olarak, Mg-Sn alaşımlarında ayrık çekinti ve sıcak yırtılma gibi döküm hataları, Mg-Al ve Mg-Zn alaşımlarından daha az ciddiyettedir. İkili faz diyagramına göre (Şekil 2.9), Mg-Sn katı çözelti içinde Sn çözünürlüğü 561°C ötektik dönüşüm sıcaklığında %14.85'ten, 200°C'de %0.45'e keskin bir biçimde düşer. Bu, yaşlanmaya karşı üretilen alaşımların mekanik özelliklerini iyileştirmek için gerekli kaynağı temin eder. Sn içeren magnezyum alaşımları Mg₂Sn intermetalığı içermektedir. Mevcut Mg₂Sn intermetalığı termal kararlılığa sahiptir ve bu alaşımlarda sürünme direncini geliştiren en önemli unsurdur. Mg-Sn alaşımlarında intermetalik faz Mg₂Sn (770°C), Mg₁₇Al₁₂ (462°C) fazından daha yüksek ergime noktasına sahiptir. Bu nedenle Mg-Sn esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda Mg-Al esaslı alaşımlardan daha yüksek sürünme direncine sahiptir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için daha uygundur. Ayrıca sıcaklık ile çözünürlüğün değişebilir olması Mg-Sn alaşım sistemlerini yaşlandırma ile sertleştirme işlemi için cazip kılmaktadır[8,38].

Son dönemlerdeki Japonya patentli çalışmalara göre, Mg alaşımlarına ağırlıkça %5'e kadar kalay ilavesi bu alaşımların çekme mukavemetini ve sürünme direncini arttırmaktadır. Buna karşın, Alüminyum ve/veya Çinko elementi içeren alaşımlarda korozyon direncini düşürmektedir. Günümüzde halen bu alaşımlar ticari bir değer kazanamamıştır ve araştırmacılar bu alaşımların çeşitli kombinasyonları üzerine çalışmalarını sürdürmektedirler. Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda Mg-Sn ikili alaşım sistemine çeşitli oranlarda Kalsiyum (Ca) ilavesi ile dökülebilirlik, sürünme ve korozyon direncinde önemli gelişmeler elde edilmiştir [8,39-44].

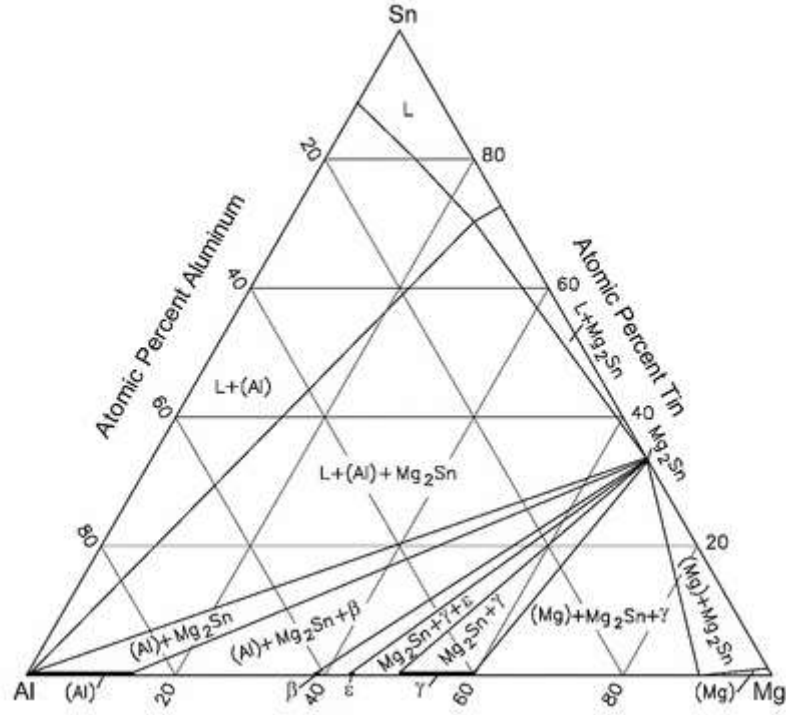


Şekil 2.9. Magnezyum-Kalay ikili denge diyagramı[40].

2.2.4. Magnezyum Alüminyum Kalay Alaşımları

Mg-Al-Sn alaşımları magnezyum alaşımları arasında yeni geliştirilen bir seridir. Yapılan araştırmalarda Mg Al Sn alaşımlarının iyi sürünme direncine sahip oldukları ayrıca alaşımların sünek ve yüksel ısıl direnç davranışları gösterdiği gözlenmiştir. Eğer Mg-Al-Sn alaşımının Al/Sn oranı daha düşük olursa yüksek süneklığe sahip, dövülebilir magnezyum alaşımları olabilir. Fakat dövülebilir yada şekillendirilebilir Mg-Al-Sn alaşımlarının, bileşiğin mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkisi çok dikkat çekici bulunmamıştır. Bu yüzden Mg-Al-Sn

alaşımlarının ilave alaşım elementleri kullanılarak mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir [45,46]. Şekil 2.10 da Sn-Al-Mg üçlü denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.10. Sn-Al-Mg üçlü denge diyagramı [47].

2.3. Magnezyum Alaşımlarının Üretim Yöntemleri

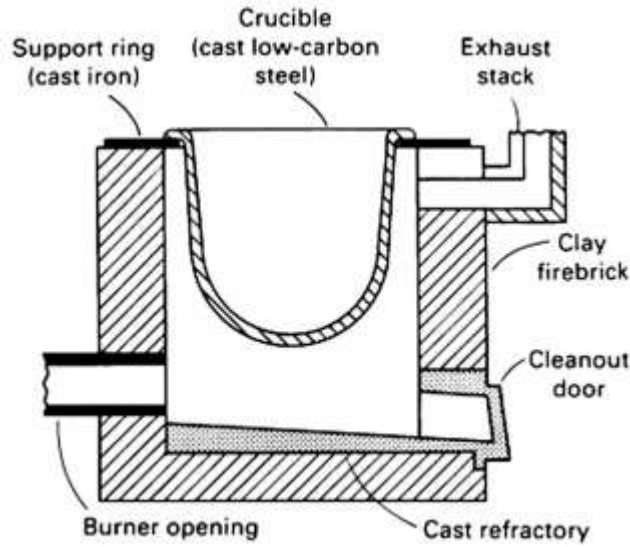
2.3.1. Giriş

Magnezyum alaşımları üretiminde en sık kullanılan yöntem döküm yöntemleridir. Yüksek basınçlı döküm, gravity döküm (kum kalıba döküm ve sürekli kalıba döküm), sıkıştırma döküm ve çeşitli yarı-katı döküm metotları mevcuttur. Döküm yöntemlerinin diğer yöntemlerinden bazı üstünlükleri tercih nedeni olmasına sebep olmaktadır. Bunlar;seri üretime uygundur. Seri üretim durumunda oldukça ekonomiktir. Hem çok büyük hem de küçük parçaların üretilebilir. Dökümle üretilen parçaların genellikle aşınma dayanımları daha iyidir. Genellikle tüm alaşımların dökümü yapılabilmektedir.Özel bir parça için döküm yöntemi seçiminde tasarım şekli, arzu edilen mekanik ve nihai yüzey özellikleri, üretilecek toplam

döküm parça adedi ve alaşımların dökülebilirliği belirleyicidir. Dökümde kullanılacak çok fazla alaşım çeşidi mevcut olmasına rağmen, her alaşım her döküm yönteminde kullanıma uygun değildir[48].

Demir alaşımlarının yapısından dolayı döküm sık kullanılan bir yöntemdir ancak magnezyum bileşiklerinde de magnezyumun yapı uygulamalarında %98 oranında döküm kullanılmaktadır. Magnezyumun akıcılık özelliği, alüminyum ve çinko gibi demir dışı metallerden çok daha iyidir. İyi akıcılık özelliği basınçlı döküm yöntemi ile ince cidarlı parçaların dökümüne izin verir [54]. Mg alaşımlarının dökülmesindeki ana problem, oksitlenme ve yanma kaybıdır. Havacılıkta kullanılan Mg esaslı parçaların büyük oranının döküm yoluyla üretildiği göz önüne alınırsa parça üretiminde döküm problemlerinin çözümü ana öncelikler arasında yer almaktadır[49].

Magnezyum döküm alaşımları genellikle, dışarıdan ısı uygulamalı bir çelik karbon ($0,12C$) potada ergitilir. Çelik pota çok yaygın olarak kullanılır, çünkü magnezyum normal döküm sıcaklıklarında (magnezyum $650^{\circ}C$ ' de ergir) çelikle çok yavaş reaksiyona girer (Şekil 2.12.). Ergiyik magnezyum prosesi için en yaygın uygulama yöntemi, metali aynı anda ergitme ve potadan kalıba dökmektir. Kalıptaki demir,sıvı magnezyum alaşımı içinde daha az çözündüğünden, alaşımın kalıba yapışma eğilimi alüminyum alaşımlarına göre daha azdır. Buna bağlı olarak kalıp ömrü alüminyum parçalara kıyasla 2-3 kat daha uzundur.



Şekil 2.11. Magnezyum alaşımlarının açık potada ergimesi için kullanılan sabit yakıt yakan fırının kesiti [50].

Ancak ergiyik magnezyum ve alaşımları havada oksitlenme ve yanma eğilimindedirler ve bu nedenle ergiyik magnezyum yüzeyleri hava ile oksidasyondan korunmalıdır. Bugün çoğu modern dökümhaneler, hava-kükürt hekzafloritgaz karışımı (SF₆) şeklinde bir örtüsüz proses kullanmaktadır[19].

Erimiş magnezyum oksidasyona karşı yüzeyini korumak için alınan bir önlem olmadığı sürece okside ve yanma eğilimindedir. Alüminyum alaşımlarının aksine, geçirmez oksit yüzeyi ergimiş banyo daha fazla oksitlenme eğilimindedir, magnezyum alaşımı sınırlanır ve ergimiş metal yüzeyi geçirgen oksit kaplama oluşturur. Bu oksijen geçişi oksit yüzey altındaki yanmayı destekler. Ergimiş alaşımın korunması için oksijen hariç koruyucu atmosfer gereklidir. Magnezyum alaşımlarının ergime prosesinde korunması için iki temel sistem vardır, eritgenli ve eritgensiz.

Mg alaşımının eritiminde ve dökümünde koruyucu olarak kullanılan gazların (Ar, SF₆, N ve HFC-134a) etkileri araştırmacıların ilgisini çekmektedir[26].Döküm malzemesi içindeki cüruf kalıntıları korozyon dayanımını düşürmektedir. Günümüzde SF₆ içeren gaz karışımları sıvı Mg'yi korumak için daha sık kullanılmaktadır. Koruma sistemi için aşağıda üç örnek verilmiştir[50].

- 1- $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO_2(s)$
- 2- $2Mg + O_2 + SF_6 \rightarrow 2MgF_2(s) + SO_2F_2$
- 3- $2MgO_2 + SF_6 \rightarrow 2MgF_2 + SO_2F_2$

SF₆, %5'in üstündeki konsantrasyonlarda kullanıldığında Mg için çok iyi bir koruyucu olmakta, ancak çelik kalıplarla ve pota ile reaksiyona girmektedir. Mg alaşımlarına çok az miktarda Be ilavesi alaşımın yanmasını engelleyici etkisi vardır. Alaşımların ergitilmesinde özel olarak dizayn edilip hazırlanmış ergitme ocakları kullanılmaktadır. Bu ocaklarda Mg alaşımları atmosfer ortamından tamamen uzak ve koruyucu gaz altında eritmeler yapılmıştır[51-53].Magnezyum ve alaşımlarının üretiminde kullanılan döküm teknikleri genel olarak **bunlar; [50]**

- 1)Yüksek Basıncılı Kalıp Döküm:Sıcak kalıba döküm, Soğuk kalıba döküm Vakumla Kalıba Döküm
- 2) Garvity Döküm: Kum kalıba Döküm,Sürekli Kalıba Döküm
- 3) Düşük BasıncılıDöküm
- 4) Sıkıştırılmalı Döküm: Direct Sıkıştırılmalı Döküm, İndirect Sıkıştırılmalı Döküm

Günümüzde çeşitli sektörlerde kullanılan Mg-Al(AM serisi) ve Mg-Al-Zn(AZ serisi) gibi magnezyum alaşımları için en yaygın kullanılan döküm yöntemi, yüksek basınçlı döküm yöntemidir. Bu alaşımlar göreceli olarak oda sıcaklığında iyi mukavemet veya yüksek süneklilik özelliklerinden birine sahiptirler. Buna karşın yüksek basınçlı döküm teknolojisi ile üretilmiş alaşımlarda porozite, sıcak yırtılma ve segregasyon gibi hataların oluşması araştırmacıları yeni arayışlara yöneltmiştir [49,54,55]. Kalıcı kalıba dökümün özel bir şekli olan sıkıştırma döküm (squeeze casting) yüksek basınç altında kapalı kalıp içinde ergimiş metalin katılaşmasını içeren bir yöntemdir. Uygulama, alüminyum otomotiv bileşenlerinin üretiminde son derece başarılıdır. Bu teknoloji hem dövme hem de döküm özelliklerini içerdiği için hafif alaşımların çekme mukavemeti, yorulma ve darbe direnci gibi mekanik özellikleri ve sünekliliğini iyileştirir. Buna karşın sıkıştırma döküm ile üretilmiş magnezyum bileşenlerinin üretimi geniş çapta araştırılmamıştır. Magnezyum alaşımları için dövme döküm teknolojisinin geliştirilmesi otomotiv sektöründeki magnezyum bileşenlerinin yarışabilirliğini arttıracaktır [51-53].

2.3.2. Magnezyum Alaşımlarının Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi

Yüksek basınçlı döküm yöntemi hafif metal bileşiklerinin dizayn ve yüksek kalitede imalatında esneklik sağlar. Basınçlı ve döküm, yüksek basınç altında sıvı metalin, kalıcı metal kalıbı ayırmaya zorlamasına dayanan bir prosesdir. Magnezyum alaşımları mükemmel bir kalıp doldurma sağlar bu prosesle ince cidarlı ve karmaşık dökümler oldukça ekonomik yapılır.

Magnezyum kalıp döküm alanlarında ince cidarlı dizayn edilebilir alaşımların mukavemeti bununla ilgili değildir ve kalın duvarlar yüksek direnç gerektirir. Magnezyum alüminyuma nazaran ince cidarlı dökülebilir. Alüminyumla kıyaslandığında magnezyumun dezavantajı kıvamıdır, alüminyum bölgesel boşluk kalan yerleri kalınlığı arttırmadan telef edebilir. Alüminyuma nazaran, magnezyum katılma için düşük ergime sıcaklığına sahiptir. Bu özellik basınçlı dökümde kısa döküm çevrimi ve uzun kalıp ömrü sağlar.

Kum ve kokil döküm ile karşılaştırıldığında kalıbı doldurma, yerçekimi kuvveti altında basit bir şekilde meydana gelmez. Bu durum yerine eriyik üzerindeki basınç kinetik enerjiye çevrilir ve sonuçta da kalıp yüksek hızlarda dolar. Bu nedenle kalıp dolana kadar eriyik içinde çok fazla türbülans olur. Özetle, basınçlı dökümün avantajları; yüksek hızda üretilebilirlik ve ince cidarlı karmaşık parçaların üretim mümkünlüğü, nihai ürüne yakın ürün elde edilmesi, hızlı soğuma ile iyi mekanik özellikli çok ince taneli mikro yapının oluşması şeklinde sıralanabilir.

Magnezyum basınçlı kalıp döküm alaşımlarının avantajları aşağıda olduğu gibi sıralanabilir [3]:

- Yüksek verimlilik,
- Yüksek hassasiyet,
- Yüksek kaliteli yüzey,
- İnce döküm yapısı,
- İnce duvarlı kompleks parçaların üretimi.

Alüminyumla karşılaştırıldığında;

- % 50'den daha yüksek döküm oranı,
- Çelik ingot kullanılabilir (uzun ömür),
- Daha düşük ısı içerir (enerji tasarrufu),
- İyi işlenebilirlik,
- Takım maliyetinin yarısı,
- Ergiyik halde yüksek akışkanlık.

Magnezyum alaşımlarının basınçlı dökümle üretilmesinin olumsuz tarafları;

- Yüksek doldurma oranının bir sonucu olarak gaz gözeneklerinin oluşması ve bu şekilde katılaşması,
- Et kalınlığı fazla olan parçaların dökülebilirliği sınırlıdır,
- Daha ucuz kalıp döküm alaşımlarında mekaniksel özellikler sınırlıdır,
- Alaşımların elde edilebilirliği sınırlıdır,
- Döküm mikro yapısının ince taneli olması nedeniyle sürünme direnci kötüdür,
- Mg-Al-nt (nadir toprak) alaşımlarının sürünme direncinin dökülebilirliği sınırlıdır ve pahalıdır,
- Isıl işlem mümkün değildir,
- Kaynağa uygun değildir.

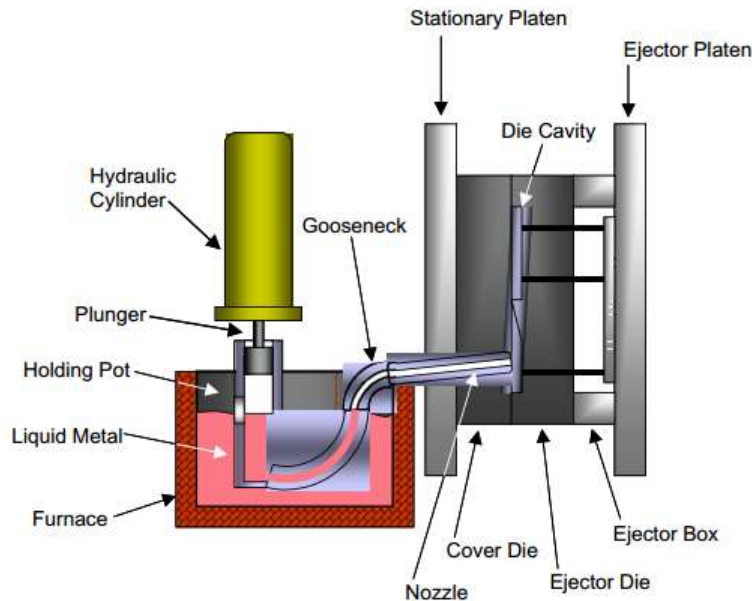
Magnezyum alaşımlarının üretimi için en yaygın üretim yöntemi basınçlı dökümdür. Bu döküm yöntemi kullanılarak elde edilen magnezyum alaşımları, alüminyum ve çinko alaşımları ile karşılaştırıldığında çok daha fazla avantajlara sahiptir. Ayrıca, magnezyum metali alüminyum gibi demir kalıplar ile reaksiyona girmez, kalıplar dik çepere sahip olabilir ve alüminyum

döküm ile karşılaştırıldığında takımlar yaklaşık %50 daha fazla kullanım ömrüne sahip olabilirler. Buna karşın magnezyum dökümü esnasında birkaç önemli özelliği göz önünde bulundurmaya ihtiyaç vardır. Örneğin, magnezyum eriyiğinin oksijene çok yüksek duyarlılığı, fırın, borular ve pompalar içinde inört atmosfer oluşturulmasını gerekli kılmaktadır [48, 49, 56, 57].

Basınçlı döküm, kullanılan makineye bağlı olarak sıcak kamaralı ve soğuk kamaralı basınçlı döküm olmak üzere iki tür yömteme ayrılabilir. Vakum altında basınçlı döküm gibi özel yöntemler bu proseslerin varyasyonlarıdır. Sıcak kamaralı makinenin ön kısmında, ergimiş metali döküm sıcaklığında tutan bir fırın bulunmaktadır ve enjeksiyon işlemi genellikle ergimiş metalin içine daldırılmış silindir-piston (kaz boynu) düzeneği ile sağlanır (Şekil 2.12.). [1, 16]. Fırın metali akışkan olarak tutar; ergime, bölünmüş fırın içinde yapılır.

Sıcak kamaralı döküm özellikleri:

- Eriyik, bölünmüş bölümde bulunmaktadır. Ayrıca kalıp kapalıdır ve kaz boynu silindir ergimiş metal ile doludur.
- Makine büyüklüğü 900 ton kenetlenme kuvvetine kadar uzanmaktadır
- Eriyik basıncı 150 ile 200 bar arasındadır
- Vuruş 5-6 kg ile sınırlıdır
- Yüksek üretilebilirlik (saatte 100 vuruştan daha fazlası mümkün)
- Cidar kalınlığı: 0,8 ile 10 mm.
- AZ91, AM50 ve AM60 alaşımlarına uygulanabilir.

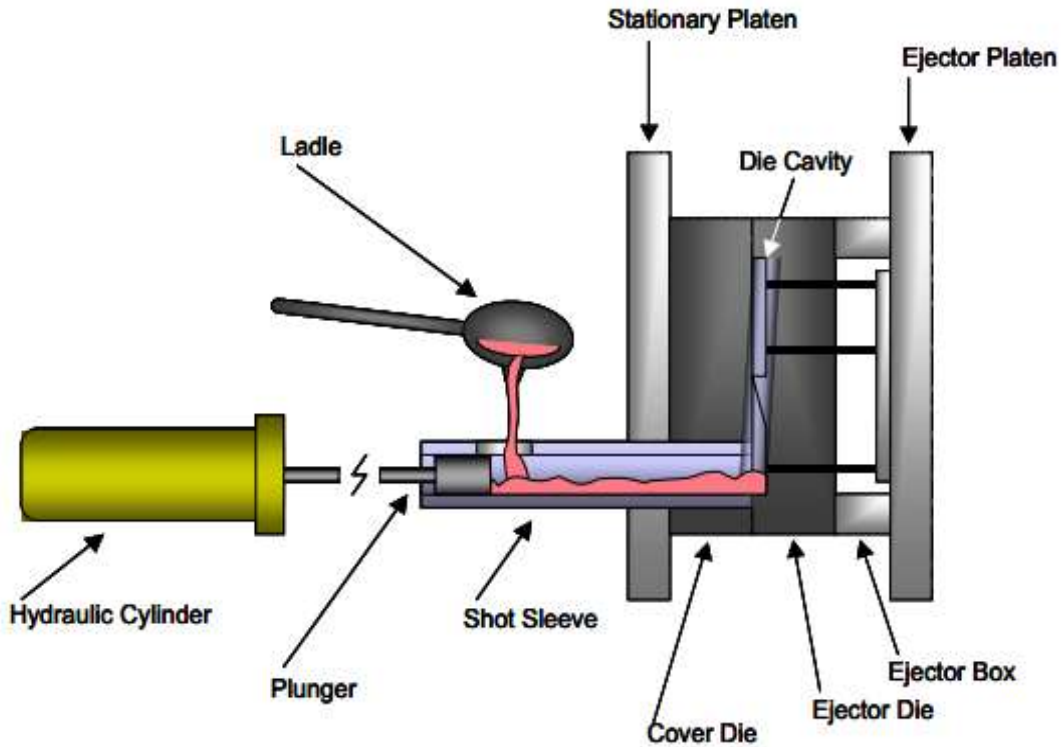


Şekil 2.12. Sıcak kamaralı basınçlı döküm sisteminin görünümü [50].

Eğer parça ince cidarlara sahipse, sıcak kamaralı makinede döküm, soğuk kamaralı prosesin kullanımından daha ekonomiktir. Buna karşın tüm alaşımlar sıcak kamaralı makinede üretilmezler [56].

Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerinde metal basma haznesi ısıtılmaz(Şekil 2.13.). Hazne yalnızca sıvı metalin etkisiyle ısınır. Soğuk kamaralı makinenin özellikleri aşağıdaki gibidir[48,54,56]:

- Harici bölünmüş bölge vardır ve ayrıca kalıp kapalı ve ergimiş metal soğuk kamaraya el ile konur.
- Düşük üretilebilirlik
- 4500 tona kadar makine büyüklüğü
- Eriyik basıncı 300 ile 900 bar arasında
- Vuruş 60 kg ile sınırlı
- Cidar kalınlığı 1.5 mm den 30 mm ye
- Tüm magnezyum alaşımlarına uygulanabilir.



Şekil 2.13. Soğuk kamaralı basınçlı döküm sisteminin görünümü[50].

Sonuç olarak, basınçlı döküm etkili ve ekonomik bir üretim yöntemidir. Kum kalıba döküm ile karşılaştırıldığında basınçlı döküm yöntemi ile karmaşık şekilli parçalar seri olarak nihai ürüne yakın şekilde üretilebilir. İnce cidarlı parçalar rahatlıkla üretilebilir. Büyük hacimli parçalar daha uniform olarak üretilebilir. Buna karşın yüksek basınçlı döküm teknolojisi ile üretilmiş parçalarda başta porozite olmak üzere, sıcak yırtılma ve segregasyon gibi hatalar mevcuttur. Porozite dört ana nedenden dolayı meydana gelir. Birincisi katılma sıcaklığında katılmış metal ve sıvı sıcaklığındaki eriyik metalin hacmindeki farklılıktan dolayı oluşan çekilme boşluğudur. İkincisi katılma esnasında çözülmüş hidrojenin bünyeyi terk etmesi sonucunda yerine boşlukların oluşması, üçüncüsü kalıp yağlayıcılarından dolayı oluşan porozitedir. Sonuncusu da kalıpta kalan hapsolmuş havadan meydana gelmektedir[54, 56].

Tablo 2.13. Soğuk kamaralı ve sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemlerinin karşılaştırılması[9].

Yöntem	Soğuk Kamaralı	Sıcak Kamaralı
Fırının yeri	Basınçlı döküm makinesinden ayrı	Basınçlı döküm makinesiyle bütünleşik
Kilitleme kuvveti	1 MN – 45 MN	0,2 MN – 8 MN
Parçanın toplam kesit alanı	En fazla 1,0 m ²	En fazla 0,4 m ²
Enjeksiyon sırasındaki basınç	30 – 100 MPa	15 – 40 MPa
Katılma sırasındaki basınç	Max. 120 MPa	Max. 25 MPa
Parçanın ağırlığı	50 g – 40 kg	<10 g – 7 kg
Parçanın cidar kalınlığı	1,5 – 30 mm	0,8 – 10 mm
Alaşımlar	Tüm Basınçlı Döküm Mg alaşımları	AZ91, AM50, AM60

Tablo 2.14.'de verilen soğuk kamaralı ve sıcak kamaralı dökümler kıyaslandığında soğuk kamaralı basınçlı dökümün magnezyum alaşımlarının tüm basınçlı döküm uygulamalarında kullanabildiği görülmektedir. Sıcak kamaralı dökümde sınırlamalar vardır. Fakat sıcak kamaralı döküm de daha hassastır.

Tablo2.14. Basınçlı döküm ile üretilmiş çeşitli magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri[54,56].

Özellik	Birim	AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Çekme Mukavemeti	MPa	240	225	210	190	215	175	230
Akma Mukavemeti	MPa	160	130	125	90	140	110	145
Uzama	%	3	8	10	12	6	9	10
Darbe mukavemeti (ÇentiksizCharpy)	J	6	17	18	18	4	5	5

Yüksek basınçlı magnezyum döküm alaşımlarının mekanik özellikleri üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda bazı magnezyum alaşımlarının basınçlı döküm yöntemi ile üretilmesi sonucunda elde edilen mekanik özellikler Tablo2.15' de özetlenmiştir. Buna karşın halen basınçlı döküm ile üretilmiş alaşımların mikro yapısı ve mekanik özellikleri tam olarak anlaşılammıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda döküm parçalarının mekanik özelliklerinin üretim yöntemine, eriyiğin kalıpta katılma durumuna ve alaşımın genel bileşimine bağlı olduğu anlaşılmıştır[54, 56].

2.3.3. Gravity Döküm Yöntem

Genellikle magnezyum alaşımlarında yüksek üretilebilirlik ve yüksek kalıplanabilme özelliklerinden dolayı yüksek basınçlı döküm yöntemleri tercih edilse de çeşitli yapı uygulamalarında gravity döküm yöntemleri tercih edilir. Gravity döküm yöntemleri kendi içerisinde ikiye ayrılır. **Bunlar,**

- 1- Kum Kalıba Döküm (SandCasting)
- 2- Sürekli Kalıba Döküm /Kokil Kalıba Döküm (PermanentMouldCasting) dir [50].

2.3.3.1. Kum Kalıba Döküm

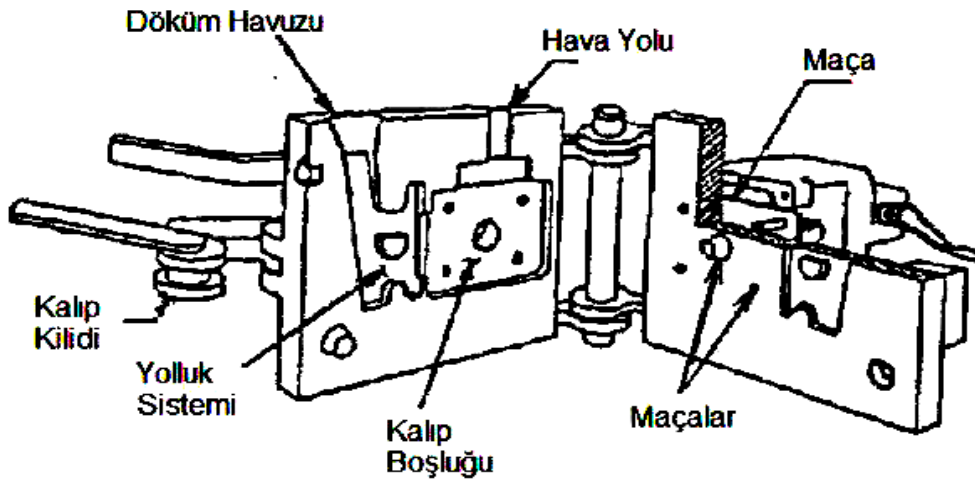
Magnezyum dökümlerinin 1400 kg a kadar geniş bir aralıkta kum kalıba döküm prosesi uygulanabilir(yeşil kum, CO₂ /silikat yada reçine bağlı kum). Magnezyum alaşımlarının kum kalıba dökümü diğer metal dökümlerine çok benzer, kalıplama ve esas kum karışımında verimli inhibitörlerin kullanılması döküm/kum ve metal reaksiyonlarını inlemek için gereklidir. Bu inhibitörlerin ilavesinde yalnız ve ya kombinasyon olarak; sülfür, borik asit, potasyum florit ve amonyum florikasit kullanılır. Düşük maliyetli ahşap kalıp ekipmanı, normalde genel amaçlı dökümler için kullanılır. Fakat yüksek boyut kaliteli magnezyum dökümlerinde hassas imal edilen metal veya plastik kalıplar ve maça sandığı kalıp kullanılır. Ergimiş magnezyumun düşük yoğunluğu ve belirgin oksidasyon eğilimi nedeniyle yolluk ve yolluk sisteminin magnezyumun akışı sırasında türbülansı en aza indirmesi ve katılşmayı sağlaması gerekmektedir [50].Mg alaşımlarında bilinen ve uygulanan en iyi kum döküm yöntemi kabuk kalıpcılığıdır[48,56]. Bu kalıpta kumlar arasında reçine tabaka oluştuğundan Mg'nin kalıp içinde yanma tehlikesi azalmış olacaktır. Mg-Al ve Mg-Al-Zn alaşımları genelde kolay dökülmelerine rağmen, belli durumda sınırlılıkları vardır. Kum kalıba döküldüklerinde mikro çekme gösterirler ve 95°C'in üzerindeki

sıcaklıklardaki uygulamalar için uygun olmadığı gözlenmiştir.EZ33A alaşımında kuma dökümler çok iyi dayanım gösterirler[10,48,56].

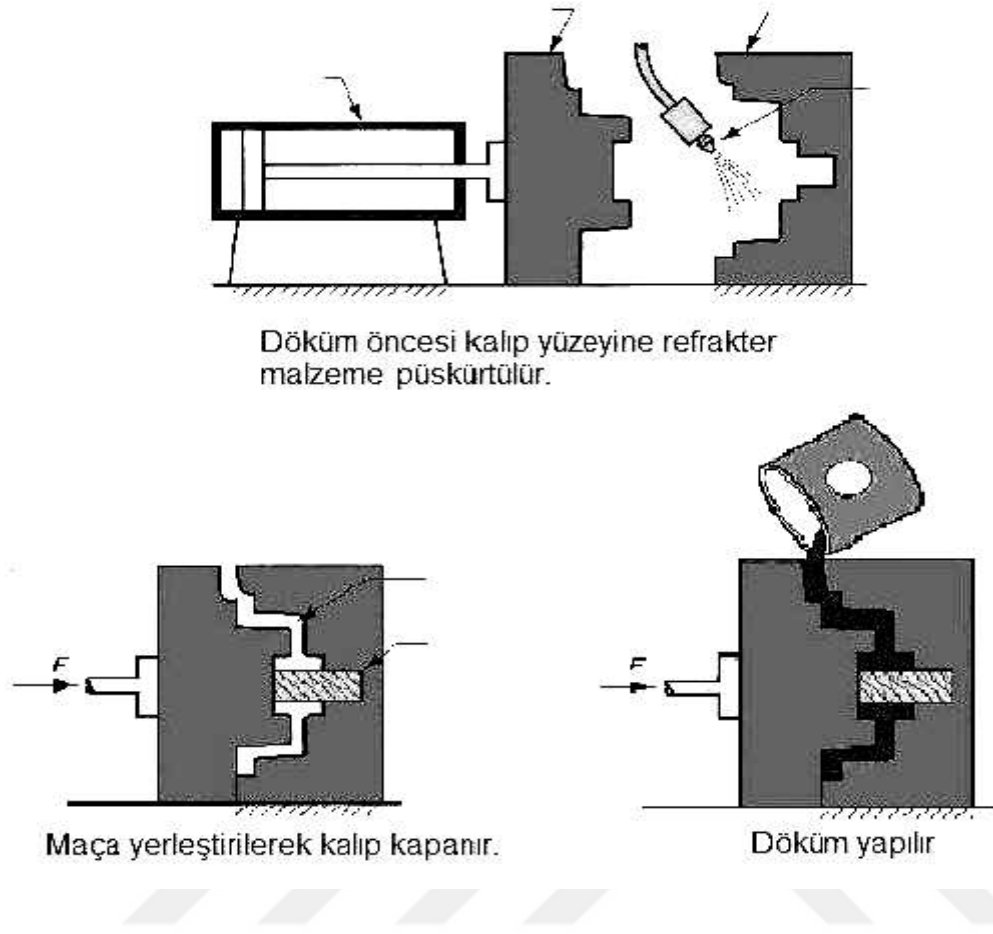
2.3.3.2 Kokil Kalıba Döküm

Kokil kalıba dökümün kum kalıba dökümden tek farkı metal kalıp kullanılmasıdır.İki tip kokil kalıba döküm vardır. Bu tipler tasarımdaki maçanın çeşidine göre belirlenir. Bunlar metal, kum veya alçı olabilir.Maçalar metal malzemeden ise, yani maça kalıbın bir parçası olması durumunda, bunların biçimi parçanın soğuyarak büzülmesi sonrasında çıkarılması zorlaştırmayacak şekilde olmalıdır. Bu mümkün değil ise, metal olmayan maçalar da yani kum veya alçı maça kullanılır.Bu yöntemde de, yarı kalıcı kalıba döküm denir. Kalıp ömrünü arttırmak için kalıp boşluğu döküm öncesinde refrakter malzemelerle kaplanır ve bu sayede parçanın kalıptan çıkarılması kolaylaştırılır[56].

Metal yani kokil kalıba döküm yönteminde katılma sırasında soğuma, kum kalıplardan daha hızlıdır. Bu nedenle dökülen üretilen malzemenin içyapısı daha ince taneli olur. Boyut hassasiyeti +- 0,25 mm olduğundan, parça yüzeylerinin temizleme işlemi gerektirmeyecek kadar yüksek kalitededirler[56]. Kum dökümle kıyaslandığında kokil kalıp dökümünün üstünlüğü; boyutsal toleransları ve yüzey kalitesi sayesinde, daha uniform döküm parçaların üretiminin sağlanmasıdır. Döküm işleminin süresinin uzaması ile ergimiş metal, kalıba keskin bir türbülans ve sıçrama ile girer. Ergimiş metalin uzun sürede düşmesini önlemek amacıyla eğik döküm makinesi, üretimde sıklıkla kullanılmaktadır[10].



Şekil 2.14. Mentşeli bir kokil kalıp örneği[56].



Şekil 2.15. İki parçalı bir kokil kalıpta döküm işleminin gösterimi[56].

Şekil 2.14. ve Şekil 2.15. kokil kalıpların genellikle açılıp kapanan ya da daha çok parçadan oluştuğunu göstermektedir. Kalıp kapandıktan sonra oluşan boşluğa ergimiş metal dökülür. Katılaşma beklendikten sonra kalıp açılarak dökülen parça çıkarılır. Metal kalıpların cidar kalınlığının belirlenmesinde ısı girdi ve çıktılarının dikkate alınması gerekmektedir. Bunun sebebi, kokil kalıba döküm yönteminin başarısı kalıbın sürekli çalışma sırasındaki sıcaklığa bağlıdır ve gerektiğinde kalıp soğutulabilmektedir. Ayrıca döküm başlangıcında ergimiş metalin kalıba düzgün bir şekilde dolması için birçok kez kalıp önceden ısıtılır[56].

Daha yüksek döküm sıcaklıklarına çıkabilmek için, kalıcı kalıpların malzemesi metal dışında refrakter özelliği daha iyi olan malzemelerde kullanılabilir. Grafit kalıplar buna örnektir. Bu kalıplar alüminyum ve magnezyum gibi alaşımlarda az sayıda parça üretimi için tercih edilir. Fakat döküm sıcaklığı arttıkça kalıp ömrü azalır ve bu kalıplar çok çabuk aşındıkları için özel uygulamalarda kullanılırlar[56].

Kokil kalıba döküm gerçekleştirildikten sonra eğer mümkünse parça tam soğuma gerçekleşmeden hemen çıkarılır ve bu sayede dökülen parçanın oda sıcaklığına kadar serbestçe büzülmesi sağlanır.

Kokil (metal) kalıba döküm yönteminin avantajları;

- Üretilen parçanın yüzey kalitesinin iyi olması
- Temizleme masraflarının düşük olması,
- Hassas boyut toleransları,
- İnce taneli iç yapı sayesinde mekanik özellikleri daha iyi,
- Seri üretim için ekonomik bir uygulama.

Bu yöntemin dezavantajları ise;

- Her malzemenin bu yöntem ile dökülememesi,
- Bazı dökülen parçalar için kalıptan çıkarma güçlüğü,
- Sadece küçük parçaların üretimi için uygun olması,
- Kokil kalıp maliyet gerektirdiğinden ancak seri üretimde ekonomik olması.

Mg-Al-Zn tipi alaşımlar kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlardır. Bu yöntemde Mg alaşımları Al alaşımlarından çok daha hızlı dökülür. Al alaşımlarına göre kalıp ömrü daha uzundur.Çünkü Mg'da kalıp yüzeyine yapışma riski daha az Al'da ise daha fazladır. Doğru bir biçimde kullanıldığında ve korunduğunda, koruyucu kaplama yöntemleri ile de kalıp ömrü daha da çok artırılabilir. Mg alaşımının farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri Al ile karşılaştırıldığında farklı pota malzemeleri kullanılır. Ergimiş Mg, ergimiş Al'da olduğu gibi Fe ile reaksiyona girmez. Bu nedenle Mg ve alaşımları Fe ve çelik potalarda ergitilebilir ve tutulabilir[52].

Magnezyumunun kokil kalıba dökümünün kalitesini birçok faktör etkilemektedir.

Bunlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Kalıp temizliğinde gaz kaplamayla birlikte örneğin CO₂ / SF₆ gibi gazlar ile ilk dökümün serbest oksijeni ve döküm kalitesini iyileştirmek için kullanılabilir.
- C₂Cl₆ tablet magnezyum dökümünde gaz gidermeye etki eder.
- Kokil kalıba dökümde NaF gibi florlanmış bileşikler ilave etmek MgF₂ yapısının oluşmasıyla metal kalıp ara yüzeyinde oksitlenmeyi azaltarak döküm kalitesinin artmasını sağlayabilir.

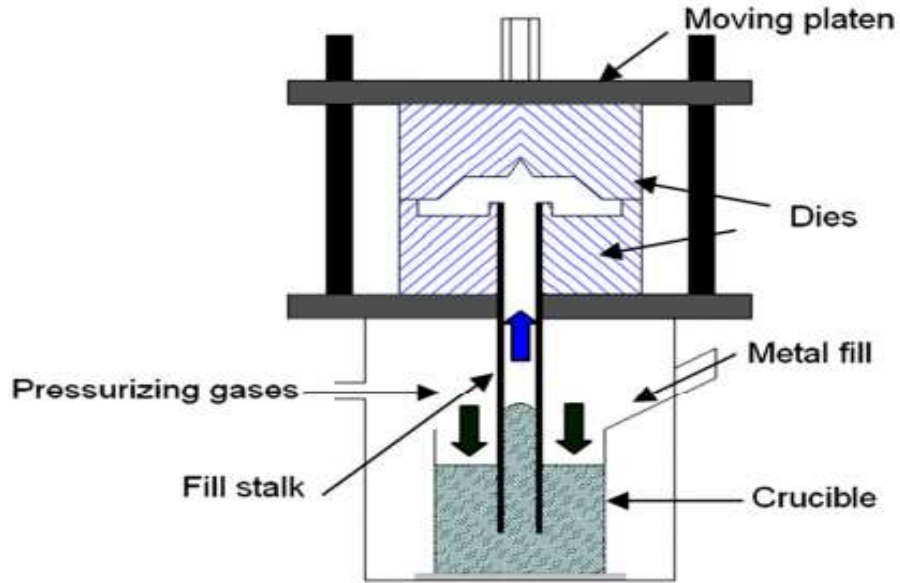
-Magnezyum alaşımlarının düşük ergime noktası nedeniyle düşük hacimli üretim için H13 takım çeliği kalıplar, yüksek hacimli üretim için tercih edilerek dökme demir kalıplar kullanılabilir.

-Tamamı tanecikli yapı olmayan ötektik içerikli ve/ veya geniş donma aralığına sahip alaşımlar sıcak yırtılma eğilimindedirler. İnce tane boyutu dentritler arası beslemeyi, alt taneler arası gerilmeleri, sıcak yırtılma iyileşmesini artırır. İnerdentritik sıvının yüksek yüzey gerilimi, ki bu interdendritik kanal iyileşmesini engeller, sıcak yırtılma direncini artırabilir.

-Oksit kalıntıları interdendritik beslenmesini ve interdendritik sıvının ıslatılabilirliğini engeller ve sıcak yırtılma eğilimi üzerinde olumsuz etkise sahiptir.

2.3.4. Düşük Basıncılı Döküm

Magnezyum alaşımlarının döküm yöntemlerinden biri olan düşük basınçlı döküm tekniği tamamen kapalı sistemde yapılan ergitme ve döküm nedeniyle çok kaliteli, temiz alaşım üretimini sağlar. Şekil 2.16'de düşük basınçlı döküm sisteminin şematik resmi görülmektedir[50].



Şekil 2.16. Düşük basınçlı döküm sistemi [50].

Tablo 2.15. AZ91 ve AM50 alaşımlarının döküm yöntemlerine göre mekanik özelliklerini karşılaştırılması LPDC (düşük basınçlı döküm) GPMC (GravityKokilKalıba Döküm) HPDC (yüksek basınçlı döküm)[50].

Alloy	Casting	Temper	Yield strength, MPa	Ultimate tensile strength, MPa	Elongation, %
AZ91	LPDC	As-cast	92.2	180.4	3.4
AZ91	LPDC	T4	76.9	218.5	6.6
AZ91	LPDC	T6	138.2	228.1	1.7
AZ91	GPMC	As-cast	82.7	178.4	3.9
AZ91	HPDC	As-cast	110–130	130–175	0–1
AM50	LPDC	As-cast	57.8	192.3	8.7
AM50	LPDC	T4	68.3	210.6	9.5
AM50	LPDC	T6	66.4	200.3	8.6
AM50	GPMC	As-cast	53	173.4	8.1
AM50	HPDC	As-cast	102–122	132–215	0–5

Tablo 2.15' de üç döküm yönteminin aynı kalınlıkta üretilen (10mm) AZ91 ve AM50 alaşımları üzerine etkisi incelenmiştir. Alaşımların döküldüğü sıcaklıklarda (As cast) çekme dayanımının (ultimate tensile strength) düşük basınçta dökme ile daha yüksek olduğu gözlenmektedir. AZ91 alaşımının LPDC ile dökümünde T6 sıcaklığında en iyi mekanik özellikleri gösterdiği görülmektedir. AM51 alaşımının ise T4 sıcaklığında akma ve çekme dayanımının diğer sıcaklıklara göre daha iyi olduğu gözlenmektedir.

2.3.5. Sıkıştırma Döküm

Döküm işlenmiş malzemelerin kullanılabilir parçalara dönüştürülmesinin en kolay yoludur. Bununla birlikte, geleneksel döküm tekniklerinin başlıca sakıncası gözeneklilik gibi kusurların oluşumudur. Daha da önemlisi, sıcak yırtılmalar, segregasyon kusurları ve bant oluşumu dökülmüş parçaların çalışması esnasında potansiyel çatlak başlangıçtan olabilirler. Bu nedenle, bu kusurları gidermek için yeni döküm teknikleri geliştirilmiştir. Çok sayıda kullanılabilir döküm tekniğinden biri olan sıkıştırma döküm, daha az kusurlu döküm parçaları yaratmak için büyük bir potansiyele sahiptir [58].

Sıkıştırma döküm prosesi nihai şekle yakın malzemeyi üretmek için son derece uygun bir prosestir. Alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları bu proses ile kolayca üretilir. Sıkıştırma döküm basit ve ekonomik bir sistemdir. Uygulanan basınç ve kalıp yüzeyi ile eriyik metalin temas anında ısı transferi çok hızlıdır ve ürünler dövme alaşımlarına yakın mekanik

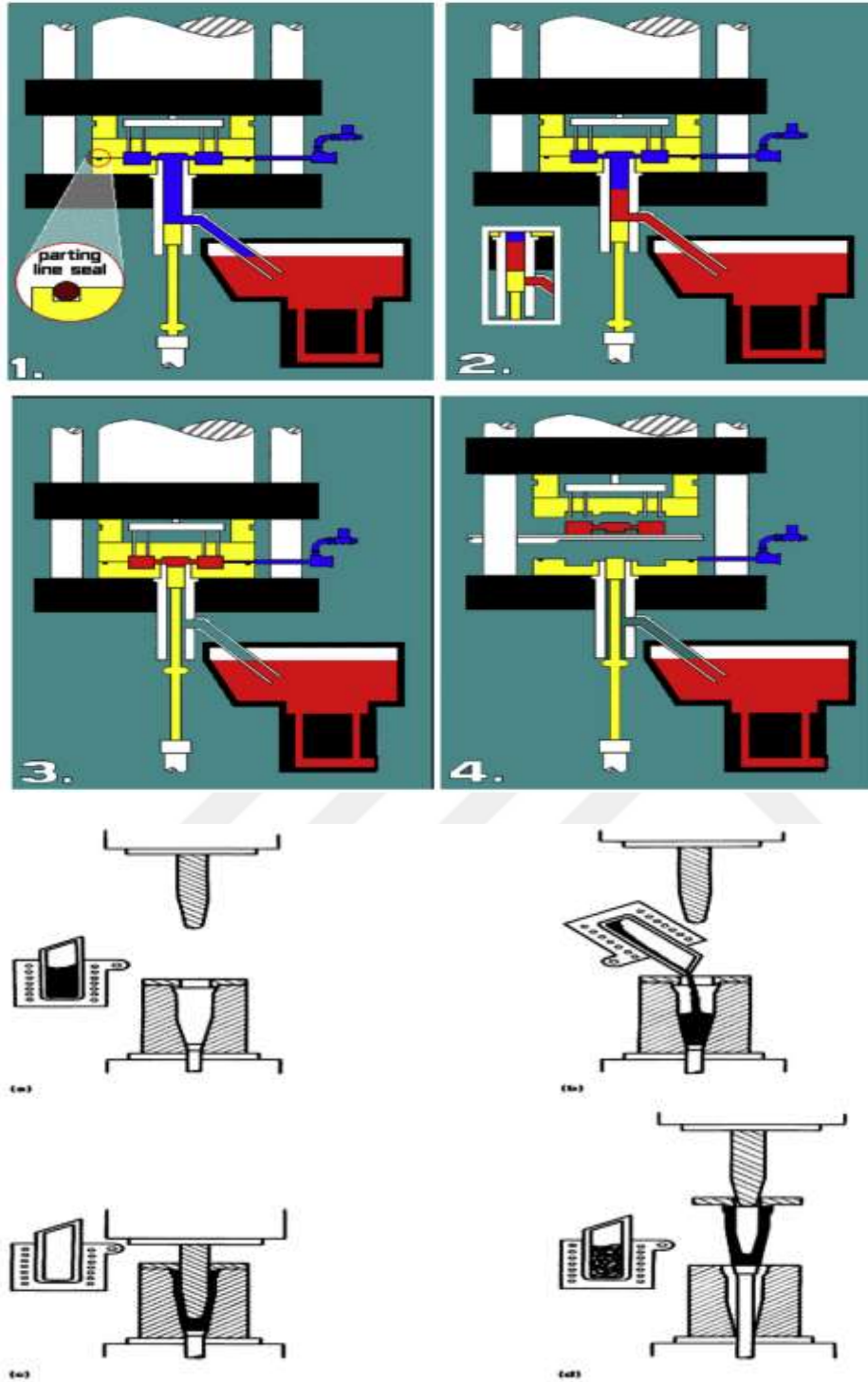
özellikler ile porozitesiz ve ince taneli yapıda elde edilirler. Döküm ürünlerinde en yüksek mekanik özellikler sıkıştırma döküm ile elde edilebilir [51-53].

Sıkıştırma-Döküm düşey tertipte döndürülebilir döküm ünitesi ve kalıp yönü ile özel bir prosestir. Ünite doldurulduğu zaman kapatılır ve kalıba yanaştırılır. Daha sonra piston yukarı hareket ettirilir ve gerçek doldurma başlar (şekil 2.17.). Basıncı dökümün tersine sıkıştırma döküm yönteminde kalıp yavaşça doldurulur (minimum türbülans ve bu nedenle düşük porozite) ve katılma esnasında uygulanan son basınçta aynıdır. Buna karşın sıkıştırma-dökümde basınç tamamen soğuyana kadar uygulanır ve hatta yarı soğuma durumunda daha fazla besleme yapılır. Genelde enjeksiyon basınçlar kompakt, ince taneli mikroyapı elde etmek için 70 ile 100 MPa arasındadır. Sıkıştırma-döküm basınçlı döküm, düşük porozite, kaynaklanabilirlik, ısıl işlem uygulanabilirlik de yüksek kalitede tekrar üretilebilirlik için mükemmel bir metottur. Gittikçe artarak kokil dökümün yerini almaktadır. Mekanik özelliklerin geliştirilmesi için düşük poroziteden dolayı T6 ısıl işlemleri bile mümkündür. Döküm hızı yavaş olduğundan dolayı parçalar çapaklara sahip değildir. Sıkıştırma döküm yöntemi ile kaliteli bir döküm alabilmek için eriyik hacmi ve kalitesi, uygulanan basıncın süresi ve büyüklüğü, kalıp sıcaklığı, eriyiğin kalıbı doldurma sıcaklığı, basıncın uygulanmasından önce geçen zaman, kullanılan yağlayıcı gibi parametreleri optimize etmek gerekmektedir[48, 51, 52].

Sıkıştırma Dökümün Avantajları:

- Uygulanan basınç sayesinde katkı fazının sıvı metal tarafından ıslatabilirliğinin artması,
- Katılmanın basınç altında gerçekleşmesi, makro-mikro porozitelerin giderilmesine ve dolayısıyla alüminyum matris alaşımın daha iyi metalürjik bir yapıya sahip olmasını sağlar.
- Daha yüksek mekanik özellikler gösterir.
- Yüksek sıcaklıklarda ısıl kararlılık,
- Daha ince mikro yapı,
- Geleneksel döküm yöntemlerine göre segregasyonunun en aza indirilmesi ve porozitenin engellenmesi,
- Net veya net şekle yakın üretim sağlanması, karmaşık şekillerin üretilebilmesi,
- Isıl işlem yapılabilmesi,
- Kaynaklanabilme yeteneği,
- Kusursuz yüzey bitirme,
- Daha az enerji gereksinimi,
- Kompozit üretimine uygulanabilmesi ve özel alaşımlarının dökülebilmesi gibi avantajlar sağlar [50].

Proses direkt ve endirekt olmak üzere ikiye ayrılır.



Şekil 2.17. Sıkıştırma döküm prosesinin şematik görünümü; a-1: metalin ergitilmesi, kalıbın yağlanması ve ısıtılması, b-2: ergimiş metalin kalıp boşluğuna dökülmesi, c-3: kalıbın kapanması ve eriyiğin basınç altında katılaştırılması, d-4: döküm parçasının çıkarılması ve ergitilecek metalin şarj edilmesi[59].

Sıkıştırma döküm ile üretilmiş magnezyum alaşımları hakkında çok az sayıda çalışma bulunmaktadır[48,51]. Örneğin; Zhou ve arkadaşları bir çalışmada, sıkıştırma döküm ve yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş AM50A alaşımının mekanik özelliklerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde sıkıştırma döküm ile üretilmiş alaşımın çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri daha yüksek elde edilmiş ve bu durum daha düşük porozite oranının elde edilmesine bağlanmıştır[56]. Benzer bir çalışma Luo ve arkadaşları tarafından AZ91D alaşımı için gerçekleştirilmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir[16].

2.3.5.1. İndirekt Sıkıştırma Döküm

İndirekt sıkıştırma-döküm basınçlı döküm ile karşılaştırıldığında, basınçlı döküm sisteminde kullanılan enjeksiyon kanalından daha büyük bir kanaldan kalıba sıvı magnezyum enjekte edilir. Eriyiğin akış hızı yaklaşık 0.5 m/s ve bu nedenle basınçlı dökümde(30 m/s) olduğundan çok daha düşük bir değerdir. Bu düşük enjeksiyon hızı hava absorpsiyonundan eriyiği korur ve kalıp türbülanssız bir şekilde dolar. Basınç ve sıcaklık sürekli olarak kontrol edilir ve sonuçta soğuma esnasında ve sonrasında boşluk içindeki basınç neredeyse sabit kalır. Bu aynı zamanda maça ve boşluktaki erkek kalıpların kullanımına izin verir. Oysa basınçlı dökümde yüksek basınç bu parçaları deforme eder[51, 54].

Endirekt sıkıştırma-döküm preform olarak adlandırılan (poroziteli fiber veya partikül şekilleri) yapıya sıvı metalin girişine ve kompozit üretimine olanak sağlar. Sanayi tek adımda çeşitli bileşenler üretmek için endirekt sıkıştırma-döküm kullanır[51, 52].

2.3.5.2. Direkt Sıkıştırma Döküm

Direkt sıkıştırma-dökümde basıncı sağlayan punç, kalıbın en küçük parçasıdır, oysa endirekt döküm standart girişe ihtiyaç duyar. Bu, kalıp üretiminin çok daha kolay olmasını sağlar. Bir veya iki parçadan yapılabilir. Basınç üst punç tarafından uygulanır; alttaki döküm parçasını atar. Bu basit kalıp endirekt döküm yöntemindeki ile karşılaştırıldığında kenetleme kuvveti gerektirmez ve neden ile maliyetler düşüktür[51].

Diğer taraftan direkt sıkıştırma-döküm yönteminde eriyik miktarının tam belirlenmiş olması gerekmektedir, sonuçta bu durum direk olarak döküm parçasının şeklini etkileyecektir. Karmaşık parçalar maça ve punçlar eklenerek şekillendirilebilir. Parçanın soğumasını, kalıp ve punçların farklı sıcaklıklara sahip olması etkileyebilir. Porozitesiz parça elde etmek için soğuma ve basınç özelliklerinin direk döküm kullanılacağı zaman giriş kısmı olmadığı için kritik değildir. Diğer taraftan endirekt döküm bu faktörlere daha fazla bağımlıdır[51].

Eriyik (örneğin döküm parçası) ve kalıp arasındaki ısı transferi sıkıştırma-döküm prosesindeki yüksek basınçtan dolayı oldukça iyidir, çünkü takım ile parçanın cidarı arasında hava boşluğu yoktur. Sonuç olarak yüksek soğuma hızları sağlandığından, mikroyapı çok ince tane yapısına sahip olacaktır[53].



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu çalışmada, Mg-6Al-0,3Mn-1Sn (magnezyum-alüminyum-kalay) alaşımına farklı ağırlık oranlarında seryum (%0,5, 1 ve 2) kontrollü atmosferde soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiştir. Seryum ilavesinin Mg-6Al-1Sn alaşımının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Mikro yapı incelenmesi sertlik ve çekme dayanımı ayrıntılı olarak incelenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

Ergitme işlemi 1.5kW gücünde indüksiyon ergitme fırınında Şekil 3.1.'de gerçekleştirilmiştir. Ergitme işlemi esnasında koruyucu atmosfer olarak %98 CO₂ ve %2 SF₆ (sülfürhekzaflorid) gaz karışımı kullanılmıştır. Alaşımlar saf magnezyum, alüminyum, kalay ve seryum kullanılarak hazırlanmıştır. Al-10Mnmaster alaşımı Mangan ilavesi için kullanılmıştır. Her bir alaşım için eriyik 750 C sıcaklıkta 10 dakika bekletilmiştir. Bekleme gerçekleştirildikten sonra koruyucu gaz ortamında karıştırma gerçekleştirilmiş ve Şekil 3.2.'de görülen 100 Ton kapasiteli soğuk kamaralı basınçlı döküm cihazında üretimler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan kalıp her bir üretimden 4 adet çekme çubuğu elde edecek şekilde dizayn edilmiştir(Şekil 3.3.).



Şekil 3.1.İndüksiyon Ergitme Fırını



Şekil 3.2. Soğuk Kamaralı Basınçlı Döküm Cihazı



Şekil 3.3. Üretilen Alaşımlar

3.2. Mikro yapı İncelenmesi

Metalografik örnekler her bir kalıptan aynı pozisyondan olacak şekilde alınmış ve standart metalografik yöntemlere uygun şekilde hazırlanmıştır. Mikroyapı incelemeleri için Taramalı elektron mikroskobu (ScanningElectronMicroscopy SEM JEOL 6060LV) kullanılmıştır. Ayrıca elementel analiz için EDS kullanılmıştır.

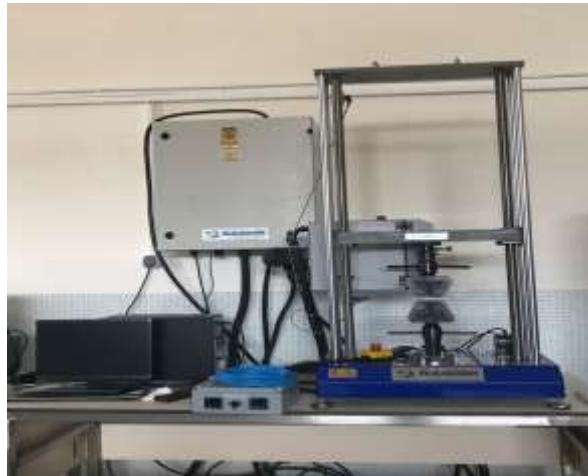
3.3. Mekanik Deneyler

3.3.1. Sertlik Deneyi

Üretilen alaşımların makro sertlik deneyleri 31.25/2.5/30 kombinasyonuna sahip Brinell sertlik(HB) skalasında Brooks marka sertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm alaşım sınıflarından alınan numuneler 50x50x10mm boyutlarında hazırlanmış ve Alaşımların Brinell sertliği, üzerine 31.25 kg'lık yük uygulanarak ve çapı 2.5 mm olan bilye ile ölçülmüştür. Yük 30 saniye boyunca uygulanmıştır. Her bir alaşım örneğinin sertliği okunan beş değer ortalaması şeklinde alınmıştır.

3.3.2. Çekme Deneyi

Üretilen alaşımların çekme deneyleri RAAGEN markauniversal çekme cihazında yapılmıştır. Her bir numunenin mukavemeti ve yüzde uzama değerlerinin hesaplanması için 4 adet numune kullanıldı ve elde edilen değerlerin ortalaması sonuç olarak kabul edildi. Çekme testleri oda sıcaklığında ve çekme hızı 0.2 mm/min olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4.'te çekme mukavemeti deneylerinde kullanılan bilgisayarlı çekme cihazı görülmektedir.

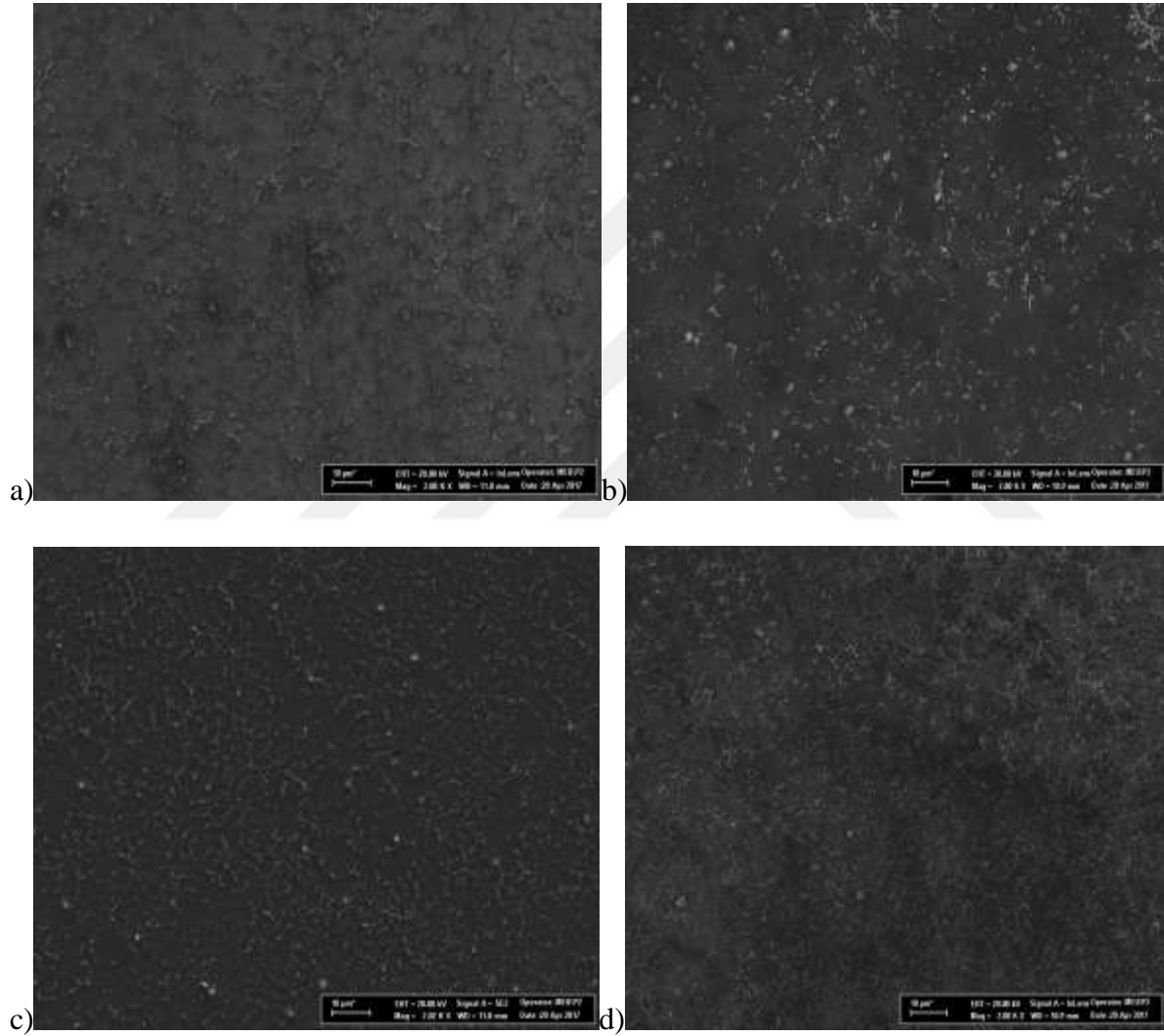


Şekil 3.4. Raagen Çekme Cihazı

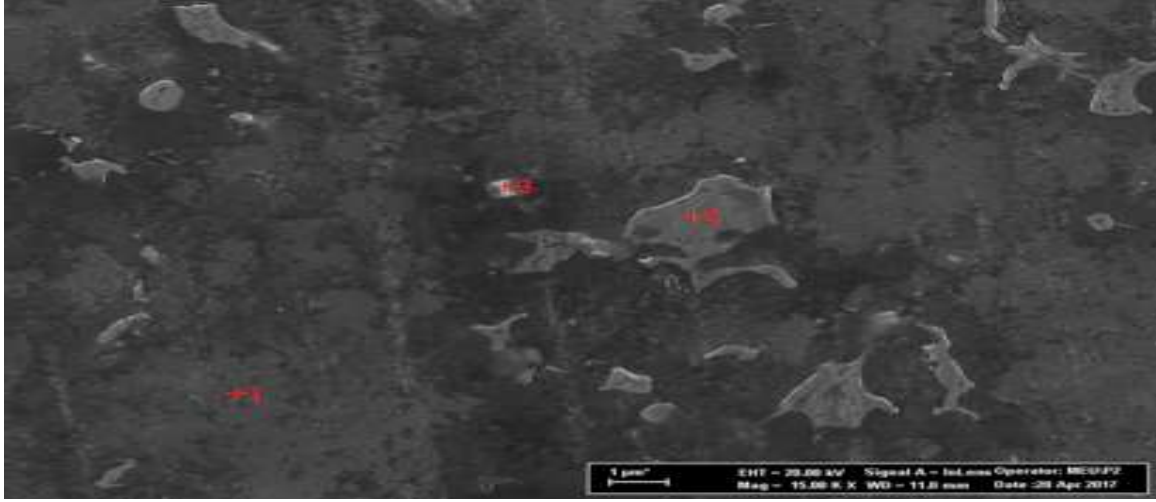
4.BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Mikroyapı İncelenmesi

Şekil 4.1.'de ana alaşım ve Ce ilavesiyle modifiye edilmiş alaşımların sırasıyla FE-SEM mikroyapısı gösterilmektedir.Şekil 4.1'den seryum ilavesinin AM60-1Sn alaşımının dane boyutunu azalttığı görülmektedir. Ayrıca Mg-6Al-1Sn alaşımının (Şekil 4.1 (a)) kaba ötektik yapısının seryum ilavesi ile daha ince oluştuğu gözlenmektedir(Şekil 4.1 (b), (c) ve (d)).



Şekil 4.1.FE-SEM mikroyapı görüntüleri a) AM60-1Sn, b) AM60-1Sn-0.5Ce, c)AM60-1Sn-1Ce ve d)AM60-1Sn-2Ce

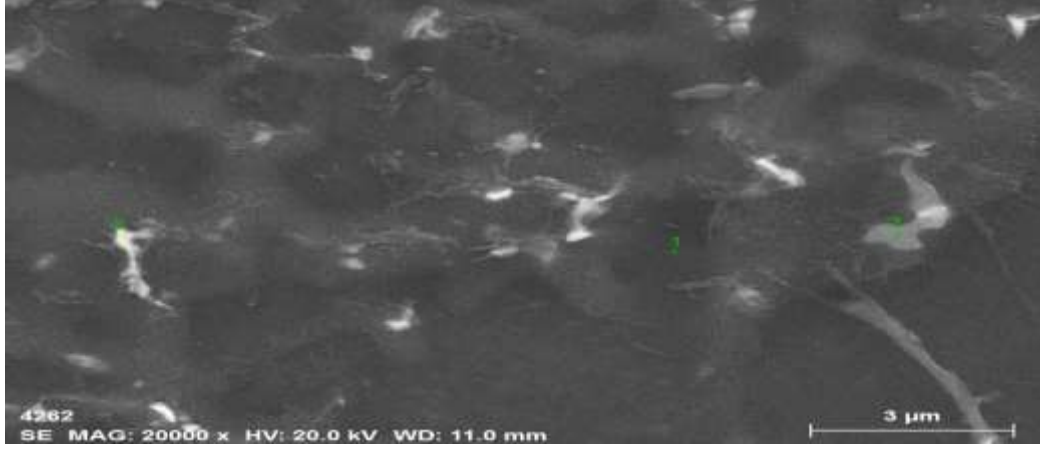


Şekil 4.2. Mg-6Al-1Sn alaşımasının EDS analizi

Tablo 4.1. Mg-6Al-1Sn EDS Analiz Sonuçları

Analiz No	Kimyasal Bileşim (at.%)			Atomik Oran	
	Mg	Al	Sn	Mg/Sn	Mg/Al
1	95,77	1,93	0,23	-	24,36
2	63,45	36,37	0,18	-	1,74
3	70,30	2,52	27,18	2,58	-

Magnezyum elementine alüminyum alaşım elementi ağırlıkça %2'den fazla ilave edildiği zaman mikroyapının 3 farklı fazdan (α -Mg fazı, alüminyumca zengin α -ötektikfazı ve β - $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazı) oluştuğu bilinmektedir. Şekil 4.2.'deki Mg-6Al-1Sn alaşımasının EDS analizi, Mg-Al alaşımına ilave edilen Sn alaşım elementinin bir miktarının α -Mg fazı içerisinde çözüldüğü (analiz no:1), bir miktarının β - $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazının içerisinde çözüldüğü (analiz no:2) ve kalan kısmının Mg_2Sn intermetalik fazını (analiz no:3) oluşturduğunu göstermektedir.

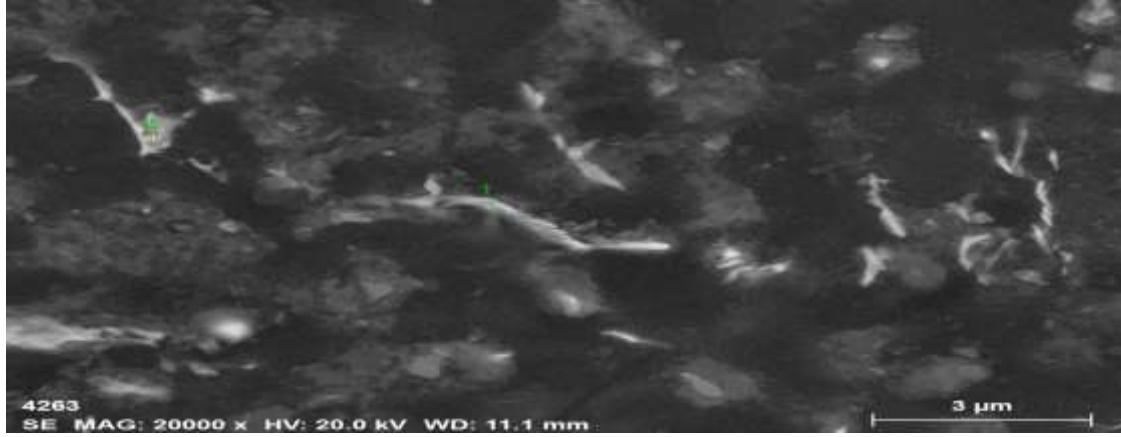


Şekil 4.3.AM60-1Sn-0.5Ce alaşımasının EDS analizi

Tablo 4.2.Mg-6Al-1Sn-0.5Ce EDS Analiz Sonuçları

Analiz No	Kimyasal Bileşim (at.%)				Atomik Oran		
	Mg	Al	Sn	Ce	Mg/Al	Mg/Sn	Al/Ce
1	96,08	2,44	0,96	0,52	-	-	-
2	69,12	30,26	0,62	-	2,28	-	-
3	74,88	-	24,84	0,28	-	3,01	-

Şekil 4.3’de AM60-1Sn-0,5Ce alaşımına ait EDS analiz sonuçları görülmektedir. Şekil 4.3’deki atomik oranlar değerlendirildiği zaman, analiz no 1 α -Mg fazını göstermekte ve her üç alaşım elementinin de α -Mg fazı içerisinde bir miktar çözüldüğü görülmektedir. Analiz no 2 ise β -Mg₁₇Al₁₂intermetalikliğinin varlığını göstermekte ve bu intermetalik içerisinde bir miktar kalay alaşım elementinin çözüldüğü görülmektedir. Ayrıca Mg₂Sn intermetalikliğinin var olduğu analiz no 3’den anlaşılmaktadır. Şekil 4.3’e genel olarak bakıldığı zaman çoğu Mg₂Sn intermetalikliğinin β -Mg₁₇Al₁₂intermetalikliğinin üzerinde oluştuğu söylenebilir.



Şekil 4.4.AM60-1Sn-2Ce alaşımının EDS analizi

Tablo 4.3.Mg-6Al-1Sn-2Ce EDS Analiz Sonuçları

Analiz No	Kimyasal Bileşim (at.%)				Atomik Oran		
	Mg	Al	Sn	Ce	Mg/Al	Mg/Sn	Al/Ce
1	68,63	25,21	0,44	5,72	-	-	4,40
2	69,81	24,09	0,68	5,42	-	-	4,44

Şekil 4.4'de ağırlıkça %2Ce ilaveli alaşıma ait EDS analiz sonuçları görülmektedir. EDS analiz sonuçları ve literatürde belirtilen bulgular beraber değerlendirildiği zaman analiz no 1 ve 2'nin $Al_{11}Ce_3$ intermetalığı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu intermetalik içerisinde bir miktar kalay çözünürlüğünün olduğu görülmektedir.

4.2.Mekanik Testler

4.2.1. Üretilen Alaşımların Sertlik ve Çekme Mukavemeti

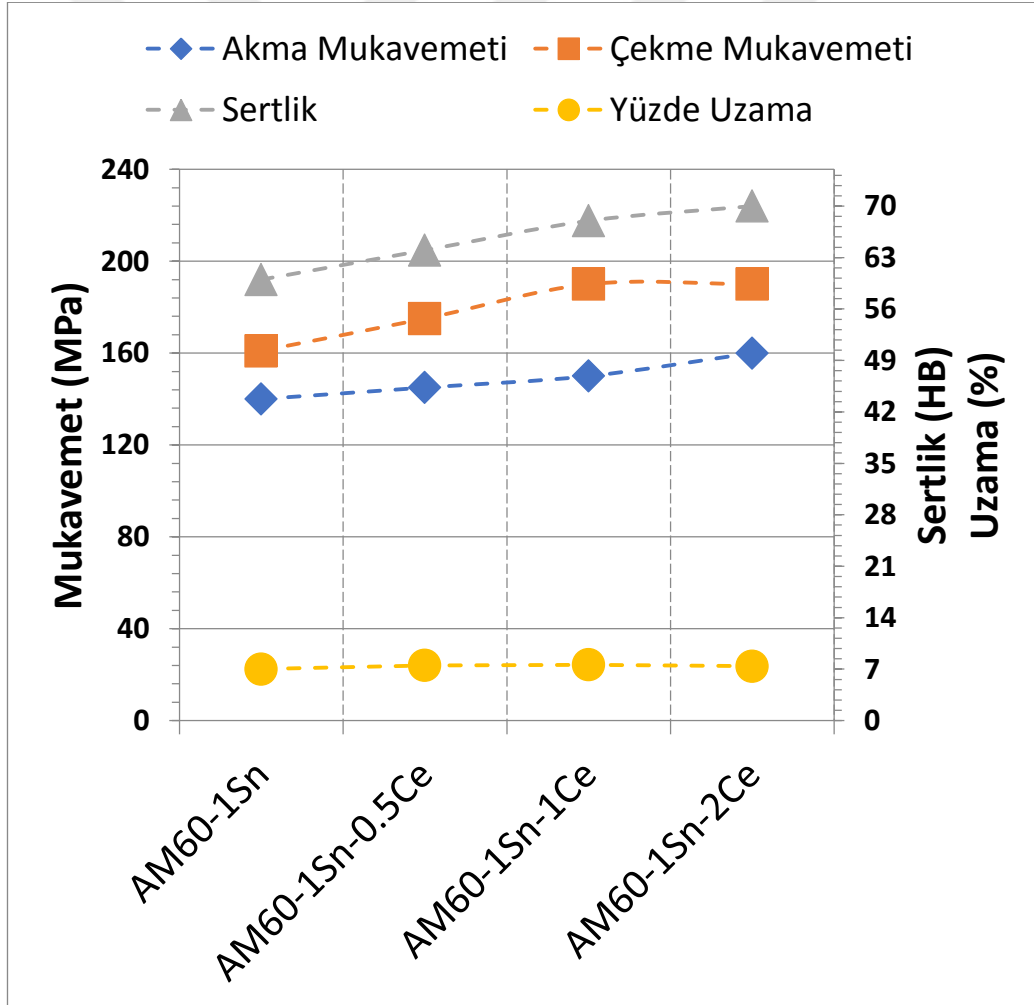
Üretilen alaşımların sertlik, akma, çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri Tablo 4.4 ve Şekil 4.5 gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Üretilen alaşımların sertlik, akma, çekme ve yüzde uzama değerleri.

Alaşım	% Uzama	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Sertlik (Brinell)
AM60-1Sn	7	140	161	60
AM60-1Sn-0,5Ce	7,5	145	175	64
AM60-1Sn-1Ce	7,6	150	190	68
AM60-1Sn-2Ce	7,4	160	190	70

Şekil 4.5'den görüldüğü gibi, Am60-1Sn alaşımının makro sertlik değeri 60 Brinell olarak ölçülmüştür. Ağırlıkça %0,5, 1 ve 2 Seryum alaşım elementi ilavesi ile modifiye edilmiş alaşımların sertlik değerleri sırasıyla 64,68 ve 70 Brinell bulunmuştur. Sertlikteki artışın temel nedenleri; α -Mg fazı içerisinde bir miktar alaşımın elementinin çözünmesiyle bu fazın sertliğinin artmış olması, dane boyutunun azalması ve ilave yeni intermetalik fazların oluşmasıdır.

Ana alaşımın akma ve çekme mukavemeti sırasıyla 140 MPa ve 161 MPa olarak tespit edilmiştir. Ağırlıkça %0,5 Ce ilavesi ile ana alaşımın akma mukavemeti %3,5 artış ile 145MPa ve çekme mukavemeti % 8,5 artış ile 175 MPa 'a çıkmıştır. %1 Ce ilavesiyle akma mukavemeti %7 artış ile 150 MPa ve çekme mukavemeti ise % 19 artış ile 190 MPa değerine çıkmıştır. Ağırlıkça %2 Ce ilavesiyle en iyi akma mukavemeti elde edilmiş olup %14 artış ile 160 MPa bulunmuştur. Çekme mukavemetinde ise herhangi bir değişim gözlenmemiş olup 190 MPa elde edilmiştir. Ayrıca modifiye edilmiş alaşımlar ana alaşımın %uzama değerinde önemli bir değişim yapmamıştır.



Şekil 4.5. Akma-Çekme-Sertlik Diyagramı

Literatür kısmında bahsedildiği gibi alüminyum esaslı magnezyum alaşımlarının

mukavemetini arttırmak için tane inceltme, farklı üretim yöntemleri ile alaşımı üretme, katı eriyik veya çökeltme sertleştirilmesi, alaşım içerisinde farklı intermetalikler oluşturmak gibi çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Ayrıca magnezyum-alüminyum alaşımları β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazı içermektedir. Mevcut bu faz mukavemeti olumsuz etkilemektedir. Çünkü β -Mg₁₇Al₁₂ fazı hacim merkezli kübik yapıya, α -Mg ise hegzagonal sıkı paket kristal yapısına sahiptir ve iki faz arasında uyumsuzluk oluşmakta ve bu da gevrek arayüzey oluşturmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı yukarıda bahsedilen yöntemlerin yanı sıra β -Mg₁₇Al₁₂ fazının olumsuz etkisini de azaltmaya çalışmaktadır[60, 61, 62, 63-65, 66-68, 69].

Bu çalışmada ticari isimli AM60 alaşımına ağırlıkça %1 kalay ilave edilmiş ana alaşıma farklı ağırlık oranlarında seryum alaşım elementi ilave edilmiştir. Mikroyapı çalışmalarında tespit edildiği gibi ilave edilen seryum dane içerisinde bir miktar çözünmüş ve bu durum katı eriyik sertleştirilmesine neden olmuştur. Ayrıca seryum alüminyumu bağlayarak, β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazının yerine Al₁₁Ce₃ intermetalik fazını oluşturmaktadır.

Böylece alaşımdaki β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazının miktarı azalmakta ve uyumsuz arayüzey etkisi düşmektedir. Buda mukavemetin yükselmesine neden olan bir özellik olarak düşünülmektedir. Bir başka neden ise seryum ilavesi ile dane boyutunun azalmış olmasıdır ki böylece dane sınırı yoğunluğunu artmakta ve bu durum dislokasyon hareketlerini kısıtlayıcı rol oynamaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Mg-6Al-0,3Mn-1Sn (magnezyum-alüminyum-kalay) alaşımına farklı ağırlık oranlarında seryum (%0,5, 1 ve 2) kontrollü atmosferde soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiştir.

Seryum ilavesinin Mg-6Al-1Sn alaşımının mikroyapı ve mekaniksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Mikroyapı karakterizasyonu için SEM (Taramalı elektron mikroskobu) ve EDS testleri (Enerji dağılımlı x-ışınları analizi) kullanılmıştır. Ayrıca üretilen alaşımlara sertlik ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmektedir ;

- 1) Mikroyapı çalışması ile ana alaşımın α -Mg, β - $Mg_{17}Al_{12}$ ve Mg_2Sn intermetalik fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. Ana alaşıma Seryum alaşım elementi ilavesi ile bu fazlara ilave olarak $Al_{11}Ce_3$ intermetalik fazının var olduğu görülmüştür.
- 2) Anaalaşımın makro sertlik değeri 60 Brinell olarak ölçülmüştür. Ağırlıkça %0,5, 1 ve 2 Seryum alaşım elementi ilavesi ile modifiye edilmiş alaşımların sertlik değerleri sırasıyla 64,68 ve 70 Brinell bulunmuştur.
- 3) Ana alaşımın akma ve çekme mukavemeti sırasıyla 140 MPa ve 161 MPa olarak tespit edilmiştir. Ağırlıkça %0,5 Ce ilavesi ile ana alaşımın akma mukavemeti %3,5 artış ile 145MPa ve çekme mukavemeti % 8,5 artış ile 175 MPa 'a çıkmıştır. %1 Ce ilavesiyle akma mukavemeti %7 artış ile 150 MPa ve çekme mukavemeti ise % 19 artış ile 190 MPa değerine çıkmıştır. Ağırlıkça %2 Ce ilavesiyle en iyi akma mukavemeti elde edilmiş olup %14 artış ile 160 MPa bulunmuştur. Çekme mukavemetinde ise herhangi bir değişim gözlenmemiş olup 190 MPa elde edilmiştir. Ayrıca modifiye edilmiş alaşımlar ana alaşımın %uzama değerinde önemli bir değişim yapmamıştır.

KAYNAKLAR

- [1]. SWEEDER, T., Demand for Lightweight Technology, Magnesium Expo, Michigan-USA, 2000.
- [2]. KAINER, K. U. (Ed.). (2003). Magnesium alloys and technology, John Wiley & Sons
- [3]. FRIEDRICH, et al., The Second Age of Magnesium, Dead Sea Magnesium Conference, pp. 9.2000,
- [4]. AGHION, E., BRONFIN, B., ELIEZER, D., 2001, The Role of The Magnesium Industry in Protecting Environment, Journal of Material Processing Technology, Vol.117, pp.381-385, 2001
- [5]. PINTO, F., "Evolution of weight, fuel consumption and CO2 of automobiles," M.Sc. Thesis, The Instituto Superior Técnico, Portugal, 2009
- [6]. MERT, F., ÖZDEMİR, A. ,Magnezyum Alaşımalarının Basınçlı Dökümü ve Otomotivdeki Uygulamaları 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey,16-18 May 2011.
- [7]. WANG F., LIU H., A Y., JIN Y. "Effect of Si content on the dry sliding wear properties of spray- deposited Al-Si alloys", Metarial and Desing 25(2004) 163-166.
- [8]. YURDAKUL M., ÖZBAY O.,İÇ Y.T., " Havacılık Alanında Kullanılan Alüminyum Alaşımalarının Seçimi" Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 17, s. 1-23.
- [9]. KUDRET K., A. ÇETİN C., Otomotiv Endüstrisi için magnezyum alaşımalarının kullanım potansiyeli (basınçlı dökümde)Politeknik Dergisi Journal Cilt:13 Sayı: 3 s. 165-176, 2010
- [10]. National Research Council (U.S.). Opportunities in protection materials science and technology for future army applications, National Academies Press, Washington, D.C. ,(2011).
- [11]. <http://www.roskill.com/reports/magnesium>, Ocak 2009.
- [12]. <http://www.magnezyum.gen.tr/magnezyum-alasimlari.html>, 2015.
- [13]. ASM Handbook Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special Purpose Materials, ASM International Handbook Committee, United States of America, syf. 700-750, 1996
- [14]. MERT, F.,ÖZDEMİR, A., KARATAŞ, Ç.,Magnezyum Alaşımalarının Basınçlı Döküm Yöntemiyle Kalıplanabilirliğinin Değerlendirilmesi
- [15]. ASM Specialty Handbook, Magnesium and Magnesium Alloys, ASM International Handbook Committee, United States of America, syf. 305-415, 1999.
- [16]. <http://www.nkfu.com/magnezyum-nedir-magnezyum-elementinin-ozellikleri/>, Ocak, 2016
- [17]. <http://www.autozine.org/html/BMW/3er.html#R6>, 1997-2005, Aralık 2007.
- [18]. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Magnezyum>, 2016.
- [19]. KRAMER, A., Magnesium It's Alloys and Compounds, U.S Geological Survey Open-File Report, U.S.A, syf. 300-341, 2002.
- [20]. FROES,F.H., D. Eliezer and E. Aghion, "The Science, Technology and Applications of Magnesium", Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, vol.5, pp. 30-34, 1998
- [21]. MORDİKE, B.L., T. Ebert, "Magnesium Properties-applications-potential," Materials Science&Engineering, vol.302, pp. 37-45, 2001.
- [22]. ABBOTT, T., "Why Choose Magnesium?," Material Science Forum, vol.618-619, pp.3-6, 2009.
- [23]. PAXTON, D.M. , CARPENTER, J.A. , SKLAD, P.S. , SMİTH, M.T. , "Overview of Lightweighting Materials Research&Development in the United States Freedom Car and Fuel Partnership," Material Science Forum, vol. 618- 619, pp.395-404, 2009.
- [24]. WOLFGANG WEISSBACH , Malzeme Bilgisi ve MuayenesiBirsen Yayınevi , İstanbul, 2000
- [25]. KAİNER, K., Magnesium Alloys and Technology, Institute for Materials Research, Center for Magnesium Technology, GKSS Research Center Geesthacht GmbH, Geesthacht, ISBN 3-527-30256-5, syf. 1, 23, 45, 56, 72, 90, 106, 218, 226, Ocak 2003.
- [26]. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Convair_B-36_Peacemaker.jpg, 2010
- [27]. GAİNES, L., CUENCA R., STODOLSKY, F., WU, S., Potential Automotive Technology Development, Automotive Technology Development Conference, Conference Paper, syf. 1-7, Kasım 1996.

- [28]. KAİNER , K.U. , BUCH, F.V. , “The Current State of Technology and Potential for further Development of Magnesium Applications,” Magnesium-Alloys and Technologies Conference, Germany, pp.1-22, 2003
- [29]. CHADWICK, R.J. , INST. MET.J, 39, 285-299, (1928).
- [30]. Hume-Rothery, W. and Rounsefell, E.D. Inst. Met. J. , 41, 119-138 (1929). 57Cla:
- [31]. J.B. CLARK AND F.N. RHINES, TRANS. AIME, 209, 425-430 (1957). 57Par:
- [32]. PARK, J.J. AND WYMAN, L.L. , WADC Tech. Rep. 57-504, Astia Document No. AD142110, 1-27 (1957). Published in Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys, 1988.
- [33]. ZHAN ZHANG and ALAİN COUTURE, An investigation of the properties of Mg-Zn-Al alloys, 1998.
- [34]. ZHANG, Z., Ph.D. Thesis, University of Naval, Quebec, 2000.
- [35]. ZHAN, Z. AND ALAİN COUTURE, A., An Investigation of The Properties of Mg-Zn-Al alloys Accepted in revised form March 26, 1998.
- [36]. DİERİNGA H, HUANG Y., MAİER P., Hort N., Kainer K., Tensile and compressive creep behaviour of Al₂O₃ short fiber reinforced magnesium alloy AE42, Mater. Sci. And Eng. A, 410, sayfa 85-8, 2005.
- [37]. WENLONG X., , SHUSHENG J., LİDONG W., YAOMİNG W., Limin W, The microstructures and mechanical properties of cast Mg-Zn-Al-RE alloys ,Journal of Alloys and Compounds 480 ,L33-L36, 2009. FU, H., GUO, J., WU, W., LİU, B., PENG, Q.,High pressure
- [38]. BARBER, L., Master Thesis, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 2004.
- [39]. WANG, Y., XIA, M., FAN, Z., ZHOU, X., THOMPSON, G., E., Intermetallics, 18, sayfa 1683-1689, 2010.
- [40]. <http://fog.ccsf.cc.ca.us/~wkaufmyn/ENGN45/ENGN45 Online Homework/10 Homework Kinetics SOLUTIONS.htm>
- [41]. ZHANG, Z., Ph.D. Thesis, University of Naval, Quebec, 2000.
- [42]. SUZUKI, A., SADDOCK, N., D., RIESTER, L., CURZIO, E., JONES, J., W., POLLOCK, T., Metallurgical and Materials Transactions A, 38, sayfa 420-427, 2007.
- [43]. NAVE, M., D., DAHLE, A., K., STJOHN, D., H., Magnesium Technology, sayfa 233-242, 2000.
- [44]. FRİEDRİCH, H.E. VE MORDİKE, B.L., 2006, Magnesium Technology (Metallurgy, Design Data, Applications),Springer, Berlin.
- [45]. WENLONG X., , SHUSHENG J., LİDONG W., YAOMİNG W., Limin W, The microstructures and mechanical properties of cast Mg-Zn-Al-RE alloys ,Journal of Alloys and Compounds 480 ,L33-L36, 2009. FU, H., GUO, J., WU, W., LİU, B., PENG, Q.,High pressure
- [46]. J. SHE J. , F. PAN F. , ZHANG J. , TANG A , LUO S. , B , YU Z. , SONG K. , RASHAD M., Microstructure and mechanical properties of MgeAleSn extruded alloys, Journal of Alloys and Compounds 657, 893-905, 2016.
- [47]. <http://static-content.springer.com/lookinside/art%3A10.1007%2Fs11669-010-9798-1/000.png>
- [48]. SMITH F. W., Çeviri: ERDOĞAN M., University Of Central Florida, Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşımalar Cilt 2,Nobel, ANKARA ,Ekim 2001.
- [49]. STUBBİNGTON, C.A., “Materials Trends in Military Airframes”, Metals and Materials, p.424, 1988.
- [50]. LUO A.A., Magnesium Casting Technology For Structural Applications, Journal of Magnesium and Alloys 1, 2-22, 2013.
- [51]. Modern Tribology Handbook, volume I ,chapter 4, by CRC Press LLC, 2001.
- [52]. CHEN Z.W., JAHENDI M.Z., “ Die erosion and its effect on soldering formation in high pressure die casting of aluminium alloys”, Materials and Design 20, p. 303-309,1999.
- [53]. GHOSH P. K., RAY S. “ Effect of porosity and alumina content on the high temperature mechanical properties of compocast aluminium alloy- alumina particulate composite” , Journal of Materials Science 22, p. 4077-4086, 1987.
- [54]. ASTM HANDBOOK Vol. 2 Chapter 1,s.8.
- [55]. ASM Handbook Cast Metal-Matrix Composites Vol:8 Casting p:840-853.

- [56]. AKBULUT H. "Alümina Fiber Takviyeli Al-Si Metal Matrisli kompozitlerin Üretimi ve Mikroyapı Özellik İlişkilerinin İncelenmesi" İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Malzeme Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 1994.
- [57]. Modern Tribology Handbook, volume I, chapter 7. p.24 by CRC Press LLC, 2001.
- [58]. BİLGİCİ Ö.E, Sıkıştırma Döküm Yöntemi İle Kompozit Üretimi Yüksek Lisans Tezi Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Ocak, 2004 İZMİR
- [59]. ILGAZ U.M, Basınçlı Döküm Yöntemiyle Üretilen Seramik Parçacık Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat- 1997
- [60]. KLEINER, S., BEFFORT,O.,WAHLEN,A.,Journal of Light Metals 2,sayfa 277-280,2002.
- [61]. BARBAGALLO, S., LAUKLI, H.,I., LOHNE, O., Journal of Alloys and Compounds, 378, sayfa 226-232, 2004.
- [62]. TROJANOVA, Z., DROZD, Z., LUKAC, P., CHATEY, A., Archives of Materials Science and Engineering, 29, sayfa 97-104, 2008.
- [63]. KUNST, M., FISCHERSWORRING, A., L'ESPERANCE, G.,PLAMONDON, P., GLATZEL, U., Materials Science and Engineering A, 510, sayfa 387-392, 2009.
- [64]. L'ESPERANCE, G., KUNST, M., FISCHERSWORRING, A.,L'ESPERANCE, G., PLAMONDON, Intermetallics, 18, sayfa 1-7, 2010.
- [65]. BAKKE, P., PETERSEN, K., Magnesium Techn., sayfa 289-296, 2004.
- [66]. SEVIK, H., AÇIKGOZ, S., KURNAZ, S.,C., Journal of Alloys and Compounds, 508, sayfa 110-114, 2010.
- [67]. SEVIK, H., AÇIKGOZ, S., KURNAZ, S.,C., ÖZEL, A., Journal of Alloys and Compounds, 509, sayfa 3190-3196, 2011.
- [68]. SEVIK, H., AÇIKGOZ, S., KURNAZ, S.,C., Journal of Alloys and Compounds, 509, sayfa 7368-7372, 2011.
- [69]. LU, Y., Z., WANG, Q., D., DING, W., J., ZHU, Y., P., Materials Letters, 44, sayfa 265-268, 2000.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Ad ve Soyadı : Rezzan Ördek
Doğum Tarihi : 10.02.1991
Medeni Durum : Evli
Uyruk : TC
Ehliyet : B (Aktif Kullanıcı)
Sigara Kullanımı : Kullanmıyorum
Telefon : 0530 236 14 47
E-mail : rezzanceylan@gmail.com
Adres : Ekinci Mah. Saraykent Cad. Dış Kapı No:27 Saraykent butik Apt. Kat:4
No:14 Antakya/HATAY



EĞİTİM DURUMU

2005-2009 Mersin Hacı Sabancı Anadolu Lisesi
2010-2014 Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
2015-2017 Mersin Üniversitesi Yüksek Lisans (Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler)
İngilizce Yazma Okuma Konuşma
İyi İyi Orta
Amerikan Kültür Derneği A1-A2-B1

PROJE ve ARAŞTIRMALAR

2014 Toprak Dolgu Barajları

STAJLAR

2011 Haziran - Saray İnşaat (Gönüllü)
2012 Haziran - Saray İnşaat (Zorunlu)
2013 Haziran - Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Zorunlu)

SERTİFİKALAR

2014 Autocad
2014 İş Sağlığı Güvenliği Semineri
2013-2014 Geoteknik Sempozyumu

İŞ DENEYİMLERİ

PARS YAPI (Mersin)
DENETİS İNŞAAT (Mersin)
GÜNEY PİRAMİT YAPI DENETİM (Mersin)
APCO-MEG HASTANE İNŞAATI (Mersin)

Bilgisayar Bilgisi : Autocad, STA4CAD ,Microsoft Office programları (word, excell)