

**AM60 Mg ALAŞIMINA FARKLI ORANLARDA Bi
VE Cd İLAVESİ İLE KATILAŞMA HIZININ
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİSİ**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

İbrahim ERDEM

**AM60 Mg ALAŞIMINA FARKLI ORANLARDA Bi VE Cd İLAVESİ İLE
KATILAŞMA HIZININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİSİ**

İbrahim ERDEM

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2012**

İbrahim ERDEM tarafından hazırlanan “AM60 Mg ALAŞIMINA FARKLI ORANLARDA Bi VE Cd İLAVESİ İLE KATILAŞMA HIZININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNAL
Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

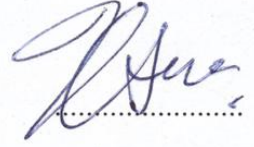


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 11/01/2012

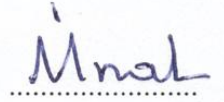
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan: Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNAL (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN (KBÜ)



...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç.Dr.Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

İbrahim ERDEM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AM60 Mg ALAŞIMINA FARKLI ORANLARDA Bi VE Cd İLAVESİ İLE KATILAŞMA HIZININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

İbrahim ERDEM

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNAL

Ocak 2012, 75 sayfa

Bu çalışmada; AM60 magnezyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerini geliştirmek için alaşımlara %0,2 - %0,5 ve %1 oranlarında Kadmiyum (Cd) ve Bizmut (Bi) elementleri ilave edilmiştir. AM60 serisi alaşımlar dört farklı soğuma hızına sahip kademeli kalıba dökülmüştür.

Sonuçlar; Soğuma hızının artması, AM60 alaşımlarının tane yapısının küçüldüğünü ve oluşan intermetalik ($Mg_{17}Al_{12}$) fazın incelenerek parçalandığını göstermiştir. Mikroyapıdaki bu değişikliklere paralel olarak alaşımların çekme, akma ve uzama oranları artmıştır. AM60 alaşımına Bi ve Cd ilaveleri alaşımın mekanik dayanımlarını artırmıştır. Mekanik özelliklerdeki kayda değer artış, düşük oranda (%0,2) Cd ve Bi ilavelerinde gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Magnezyum, AM60, mikroyapı, mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 710.3.011

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECTS OF Bi AND Cd ADDITIONS WITH SOLIDIFICATION RATE ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE AM60 ALLOYS

İbrahim ERDEM

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy Education

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Mehmet ÜNAL

January 2012, 75 pages

In this study; Cd and Bi elements were added to AM60 magnesium alloy in the ratio of 0.2 wt.% - 0.5 wt.% and 1 wt.% in order to improve its mechanical and microstructural properties. AM60 series alloys were cast in a multi-step permanent mold casting having four different cooling rates.

The results showed that grain size of AM60 series alloys were refined and thinner intermetallic phases were formed with increasing cooling rate. It was also observed that these changes in the microstructures led to improvements in yield strength, tensile strength and elongation. Bi and Cd additions to AM60 alloy were increased its mechanical properties. Remarkable increase in mechanical properties was observed as Bi and Cd contents exceeded the level of 0.2 wt.%.

Key Words : Magnesium, AM60, microstructure, mechanical properties.

Science Code : 710.3.011

TEŞEKKÜR

Çalıőmam süresince katkı ve yardımları ile beni yönlendiren, çalıőmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNAL'a ve Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarından dolayı KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi olan değerli dostum Levent ELEN'e ve KBÜ Teknik Eğitim Fakültesi öğrencisi olan değerli arkadaşım Ümit OZAN'a teşekkürlerimi arz ederim.

Tez çalıőmalarım esnasında her konuda bana yardımcı olan ve benim için çok değerli olan Ayőegül ENGİN'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen saygıdeğer aileme sonsuz Őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI.....	3
2.1. MAGNEZYUM.....	3
2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI VE STANDARTLARI.....	6
2.3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI.....	12
2.4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN Mg ALAŞIMLARINA ETKİLERİ	16
2.4.1. Alüminyum.....	19
2.4.2. Kalay.....	19
2.4.3. Kurşun.....	20
2.4.4. Çinko	21
2.4.5. Kalsiyum.....	21
2.4.6. Mangan	22
2.4.7. Silisyum	23

	<u>Sayfa</u>
2.4.8. Titanyum.....	23
2.4.9. Stronsiyum.....	24
2.4.10. Toprak Alkali Elementler (RE)	24
2.5. MAGNEZYUM-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	25
2.5.1. Magnezyum-Alüminyum-Silisyum Alaşimleri	25
2.5.2. Magnezyum-Alüminyum-Toprak Elementi Alaşimleri	26
2.5.3. Magnezyum-Alüminyum-Çinko Alaşimleri.....	26
2.5.4. AZ91 Alaşimleri	29
2.5.5. AZ61 Alaşimleri	30
2.5.6. AM60 Alaşimleri	30
BÖLÜM 3	31
MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜM YÖNTEMLERİ	31
3.1. KUM KALIBA DÖKÜM	31
3.2. KOKİL KALIBA DÖKÜM	32
3.3. BASINÇLI DÖKÜM	32
3.4. YARI KATI DÖKÜM YÖNTEMİ	33
3.5. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ ERGİTİLMESİ VE DÖKÜMÜ	34
3.6. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ	37
BÖLÜM 4	39
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
4.1. MALZEME	39
4.2. ATMOSFER KONTROLLÜ ERGİTME ÜNİTESİ.....	39
4.3. ERGİTME VE ALAŞIMLAMA PRATİĞİ.....	40
4.4. KALIP UYGULAMASI	42
4.5. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI.....	43
4.6. MEKANİK DENEYLER	44
4.6.1.Çekme Deneyi	44
4.6.2. Sertlik Deneyi	45

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	46
DENEYSEL SONUÇLAR	46
5.1. MİKROYAPI SONUÇLARI	46
5.1.1. Optik Mikroskop (OM) Sonuçları	47
5.1.1.1. AM60 Mikroyapı Sonuçları	47
5.1.1.2. AM60+Cd İlavesinin Mikroyapı Sonuçları	48
5.1.1.3. AM60+Bi İlavesinin Mikroyapı Sonuçları	51
5.1.2. Elektron Mikroskop (SEM) ve EDS Analiz Sonuçları	54
5.1.2.1. AM60 Alaşımının SEM ve EDS Sonuçları	54
5.1.2.2. AM60+Cd Alaşımının SEM ve EDS Sonuçları	55
5.1.2.3. AM60+Bi Alaşımının SEM ve EDS Sonuçları	57
5.2. MEKANİK DENEY SONUÇLARI.....	59
5.2.1. AM60 Alaşımı Mekanik Deney Sonuçları.....	59
5.2.2. AM60+Cd Alaşımı Mekanik Deney Sonuçları.....	60
5.2.3. AM60+Bi Alaşımı Mekanik Deney Sonuçları.....	63
BÖLÜM 6	66
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	66
6.1. MİKROYAPI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	66
6.2. MEKANİK DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	67
BÖLÜM 7	69
SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Mağnezyum Üretimi yapan ülkeler ve oranları	4
Şekil 2.2. Yıllara göre ABD ve Avrupa’da magnezyum kullanımı	5
Şekil 2.3. 2001 yılında Avrupa’da Mg’ un kullanım alanları	6
Şekil 2.4. Araç ağırlığı ile yakıt ekonomisi arasındaki ilişki	13
Şekil 2.5. Otomobil üretiminde Mg alaşımından dökülmüş parçalar	14
Şekil 2.6. AZ91 alaşımı döküm parçaları.....	14
Şekil 2.7. AM alaşımı döküm parçaları	15
Şekil 2.8. WE43 alaşımından dökülmüş helikopter vites kutusu.....	15
Şekil 2.9. Li katkılı Mg alaşımı döküm parçaları.....	16
Şekil 2.10. Elementlerin uygun atomik boyutları.....	18
Şekil 2.11 Mg-Al denge diyagramı	19
Şekil 2.12 Mg-Sn denge diyagramı	20
Şekil 2.13 Mg-Pb denge diyagramı	20
Şekil 2.14 Mg-Zn denge diyagramı.....	21
Şekil 2.15. Mg-Ca denge diyagramı	22
Şekil 2.16. Mg-Mn denge diyagramı	22
Şekil 2.17. Mg-Si denge diyagramı.....	23
Şekil 2.18. Mg-Ti denge diyagramı	23
Şekil 2.19. Mg-Sr denge diyagramı	24
Şekil 2.20. Si’lu Mg alaşımının mikroyapısı	26
Şekil 2.21. Mg-Al-Zn esaslı döküm alaşımlarının dökülebilirlik aralıkları.....	27
Şekil 2.22. Mg-Al-Zn üçlü faz diyagramı	28
Şekil 3.1. Mg alaşımları basınçlı döküm makinesi	33
Şekil 3.2. Yarı-katı sıcaklık ve durumu.....	34
Şekil 3.3. Yarı-katı döküm yöntemi	34
Şekil 3.4. Kullanılan gaz karışımlarına göre çelik potanın durumu	36
Şekil 3.5. Mg alaşımı dökümlerinde gaz kullanımı	36
Şekil 3.6. AZ91’in basınçlı ve kokil dökümünün gerilim-uzama diyagramı.....	38

Şekil 3.7. Mg alaşımlarının gerilim-uzama eğrileri	38
Şekil 4.1. Deneyleerde kullanılan atmosfer kontrollü ergitme ünitesi	40
Şekil 4.2. Ergitme işleminde kullanılan çelik pota resmi.....	41
Şekil 4.3. Kalıp ısıtma fırını kesit şekli.....	41
Şekil 4.4. Kademeli metal kalıp kesit resmi.....	42
Şekil 4.5. AM60 döküm alaşımının farklı bölgelerinden ölçülen zamana bağlı sıcaklık değişimi.....	43
Şekil 4.6. Mikro yapı ve sertlik numunesi	44
Şekil 4.7. Çekme deney numunesi	44
Şekil 5.1. AM60 alaşımının mikroyapı görüntüleri	47
Şekil 5.2. AM60 alaşımına %0,2 Cd ilavesinin mikroyapı görüntüleri.....	48
Şekil 5.3. AM60 alaşımına %0,5 Cd ilavesinin mikroyapı görüntüleri.....	49
Şekil 5.4. AM60 alaşımına %1 Cd ilavesinin mikroyapı görüntüleri	50
Şekil 5.5. AM60 alaşımına %0,2 Bi ilavesinin mikroyapı görüntüleri.....	51
Şekil 5.6. AM60 alaşımına %0,5 Bi ilavesinin mikroyapı görüntüleri.....	52
Şekil 5.7. AM60 alaşımına %1 Bi ilavesinin mikroyapı görüntüleri.....	53
Şekil 5.8. AM60 alaşımının SEM ve EDS görüntüleri	54
Şekil 5.9. AM60 alaşımına %0,2 Cd ilavesinin SEM görüntüleri	55
Şekil 5.10. AM60 alaşımına %1 Cd ilavesinin SEM ve EDS görüntüleri.....	56
Şekil 5.11. AM60 alaşımına %0,2 Bi ilavesinin SEM görüntüleri	57
Şekil 5.12. AM60 alaşımına %1 Bi ilavesinin SEM ve EDS görüntüleri.....	58
Şekil 5.13. AM60 alaşımının Çekme-Akma dayanımı, % uzama ve sertlik değişimleri.....	59
Şekil 5.14. AM60 alaşımına ilave edilen %0,2 Cd alaşımının Çekme-Akma dayanımı, % uzama ve sertlik değişimleri	60
Şekil 5.15. AM60 alaşımına ilave edilen %0,5 Cd alaşımının Çekme-Akma dayanımı, % uzama ve sertlik değişimleri	61
Şekil 5.16. AM60 alaşımına ilave edilen %1 Cd alaşımının Çekme-Akma dayanımı, % uzama ve sertlik değişimleri	62
Şekil 5.17. AM60 alaşımına ilave edilen %0,2 Bi alaşımının Çekme-Akma dayanımı, % uzama ve sertlik değişimleri	63
Şekil 5.18. AM60 alaşımına ilave edilen %0,5 Bi alaşımının Çekme-Akma dayanımı, % uzama ve sertlik değişimleri	64
Şekil 5.19. AM60 alaşımına ilave edilen %1 Bi alaşımının Çekme-Akma dayanımı, % uzama ve sertlik değişimleri	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Alaşım elementleri ve kısaltmaları	6
Çizelge 2.2. Mg alaşımları standartları ve bileşimleri	8
Çizelge 2.3. Ticari firmalar tarafından geliştirilen Mg alaşımları	9
Çizelge 2.4. Ticari firmalar tarafından geliştirilen Mg alaşımlarının mekanik özellikleri	9
Çizelge 2.5. Mg alaşımlarında oluşan intermetalik fazlar ve çözünebilirlikleri	17
Çizelge 2.6. Katı fazlar, sembolleri ve ergime dereceleri	29
Çizelge 3.1. Mg alaşımlarının oda sıcaklığında mekanik özellikleri	37
Çizelge 3.2. Mg alaşımlarının oda sıcaklığında fiziksel özellikleri	37
Çizelge 4.1. AM60 alaşımına deneysel çalışmalarda ilave edilen alaşım elementleri ve % miktarları	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ce	: Seryum
Ln	: Lantanyum
Nd	: Neodmiyum
RE	: Toprak Alkali Elementleri
SF ₆	: Sülfür hexaflorür
Al	: Alüminyum
Mg	: Magnezyum
Zn	: Çinko
Sr	: Stronsiyum
Th	: Toryum
Si	: Silisyum
Pb	: Kurşun
Cd	: Kadmiyum
Bi	: Bizmut

KISALTMALAR

ASTM	: Amerika Malzeme ve Test Standartları Kurumu
DIN	: Alman Norm Enstitüsü
HFC	: Hidroflorokarbon
HSP	: Hegzagonal sıkı paket
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	: Geçirimli Elektron Mikroskobu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde çevrenin korunması ve enerji kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanılması bağlamında başta otomotiv sektörü olmak üzere birçok ticari firma yakıt tüketiminde zorunlu kısıtlamalara gitmektedir. Bu amaçla tüm dünya da birçok AR-GE (Araştırma Geliştirme) çalışmaları yapılmaktadır. Bu amaçla araç lastiklerinde sürtünmenin azaltılması, ağırlıkta azalma, motor ve transmisyon verimliliğinin artırılması, araç ön alanının küçültülmesi ve aerodinamik tasarım gibi yaklaşımlarla çalışılmaktadır. Örneğin bunlardan en önemlisi olan araç ağırlığında yaklaşık 100 kg'lık bir azalma ile 100 km'de 0,5 litre bir yakıt tasarrufu sağlanmaktadır [1,2]. Ağırlıktan 40 kg'lık azalma, atmosfere verilen eksoz gazlarında da azalma sağlamaktadır [2]. Bu bağlamda Avrupa Birliği ülkeleri önümüzdeki yüzyılda motorlu araçlarda yakıt tüketiminde 3 litre/100km hedefine ulaşmak için karar almışlardır. Yakıt tüketimini azaltmak için, otomotiv endüstrisinin mutlaka hafif fakat aynı zamanda güvenilir malzeme kullanması zorunludur. Bu kapsamda özellikle otomobil üretiminde ağırlıktan azalma üretici firmaların en önemli hedefi haline gelmiştir [1]. Otomotiv endüstrisindeki Mg kullanımındaki artış, geçen 10 yıl içerisinde her yıl %15 olarak gerçekleşmiştir. Bu artışın önümüzdeki 10 yıl içerisinde %12'lik oranla artmaya devam edeceği beklenmektedir [3,4].

Ağırlığın düşürülmesi kadar önemli olan geri dönüşebilirlik dünya hammadde ve enerji kaynaklarının korunması için malzeme seçiminde etken bir faktör haline gelmiştir. Günümüzde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde Magnezyum (Mg) en hafif olanıdır. Ağırlık olarak Mg, Alüminyum (Al)'dan %36, Demir (Fe) ve çelikten %78 daha hafiftir [5]. Avrupa Komisyonu Avrupa otomobillerinde kullanılacak malzemelerin 2007 yılına kadar % 85, 2015 yılına kadar % 95 geri dönüşebilir malzemelerden üretilme hedefleri

getirirken, Japonya'da yeni otomobillerde 2007 yılına kadar % 90, 2015 yılına kadar % 95 geri dönüşebilir malzeme kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Mg bugün Japon taşıtlarında çok hızlı bir şekilde yerini almaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde de otomobil üretiminde Mg kullanımı artarak gelişmektedir. Bu konudaki gelişmeler Alman otomobilleri için de geçerlidir [1].

Yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzetilirken, bu malzeme bir metalin mekanik özelliklerine sahiptir. Ayrıca Mg, mühendislik plastiklerine göre çok daha rijit ve çok daha fazla geri dönüşümü mümkün bir malzemedir [1,3,5].

Mg ve Mg alaşımları, düşük yoğunluğa sahip olmalarının yanı sıra, iyi süneklilik, dayanım ve iyi korozyon direncine sahip demir dışı metaldir. Ancak, kristal yapısının hegzagonal sıkı paket (HSP) olmasından kaynaklanan şekillenebilirlik ve ergitme sırasında yanma gibi döküm problemleri nedeni ile üzerinde Al kadar çalışmalar yapılamamıştır. Ancak daha önce belirtildiği üzere ekolojik denge, yakıt tasarrufu vb. konular son 10 yılda hızla gündeme geldiğinden, Mg kullanımı üzerinde daha fazla yoğunlaşma göze çarpmaktadır. Alaşımlandırma veya farklı döküm yöntemleri kullanılarak göreceli olarak şekillenebilirlik geliştirilebilmektedir [6].

Mağnezyum alaşımları çekme, akma ve çarpma dayanımlarındaki kayda değer mekanik özellikler sebebiyle daha fazla ilgi odağı oluşturmaktadır. AZ91 alaşımı ile ilgili literatürde araştırma ve bilgi bulunurken AM60 alaşımının geliştirilmesi ve soğuma hızları ile ilgili literatür de çok az bilgi bulunmaktadır.

Dolayısıyla bu çalışmanın ana hedefi, AM60 Mg alaşımlarına element ilavesi (Bi ve Cd) ve katılma hızlarına göre mekanik özelliklerinin incelenmesini kapsamaktadır.

BÖLÜM 2

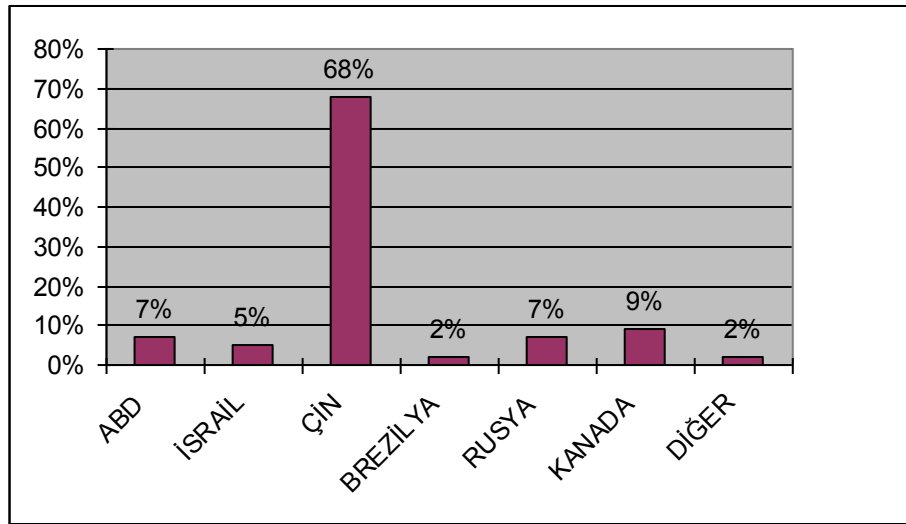
MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

2.1. MAGNEZYUM

Magnezyum (Mg) yapısal uygulamalarda kullanılacak en hafif metaldir [7]. Element ilk olarak Sir Humphrey Davey tarafından 1808 yılında keşfedilmiştir. Mg'un fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir [7,8].

Simgesi	: Mg
Atom numarası	: 12
Atom ağırlığı	: 24.312 g/mol
Kaynama noktası	: 1107 °C
Ergime noktası	: 650 °C
Yoğunluğu	: 1.74 g/cm ³
Kristal yapısı	: Hekzagonal
Atom yarıçapı	: 1.60 °A (12 koordinasyon sayılı metalik durumda)
İyon yarıçapı	: 0.65 °A (6 koordinasyon sayılı kristaldeki)
Atom hacmi	: 14.0 (atom ağırlığı/yoğunluk)
Isı iletkenliği	: 0.38 cal/cm ² , s.cm.°C (oda sıcaklığında)
Elektrik iletkenliği	: 0.224 mikroohm ⁻¹ (0° ile 20 °C arasında)
Erime ısısı	: 2.14 kcal/atomgram
Kaynama ısısı	: 32.517 kcal/atomgram
Asit-Baz özelliği	: Baz

Magnezyum; yer kabuğunun %2,7'sinde ve okyanusların %0,13'ünde bulunması sebebiyle Mg elementi yer kabuğunda yaygın olarak bulunan, periyodik tabloda IIA grubunda yer alan toprak alkali elementtir [3]. Mg üretiminin büyük bir kısmı, I. Dünya Savaşı'ndan önce fişekçilik sektöründe kullanılmakta idi. I. Dünya Savaşı sırasında güçlü askeri talep nedeniyle fabrikalar Britanya, Kanada ve A.B.D.'ye yayılmıştır [9]. Şekil 2.1'de 2004 yılında Mg üretimi yapan ülkeler ve oranları verilmiştir.



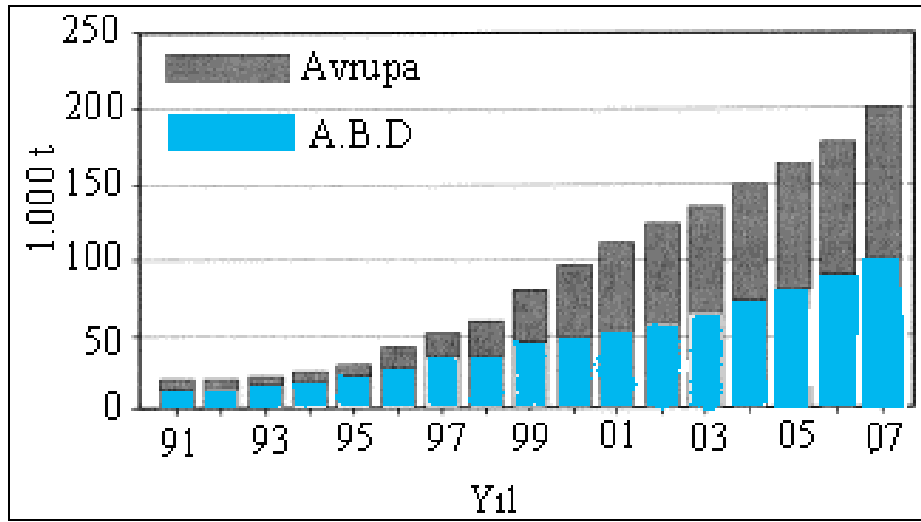
Şekil 2.1. 2004 yılı dünya ülkeleri Mg üretimi ve oranları [10].

Mg metali magnezit ($MgCO_3$), karnolit ($K_2MgCl_4 \cdot 6H_2O$), veya dolomit $MgCa(CO_3)_2$ cevherlerinden, tuz depozitlerinden, doğal yeraltı ve yapay tuzlu sulardan ya da deniz suyundan üretilir. Mg üretimi ergimiş Magnezyumklorürün ($MgCl_2$) indirgenme prensibine göre elektrolizi, dolomitten kimyasal yollarla çökeltme ve arıtma yöntemleri ile veya doğrudan tuzlu sulardan Magnezyumoksitin (MgO) termal redüksiyonu ile üretimi yapılır [1].

Mg'un üretildiği başka bir metod ise MgO 'in Silisyum (Si) ile redüksiyonudur. Bu işlemde Ferrosilis katı halde MgO ile reaksiyona girer ve yüksek sıcaklık, düşük basınç koşullarında Mg gaz hale geçer, reaktörün soğutucularında Mg kristalleri yoğunlaşırlar. Bu kristaller ergitilip, ingotlar halinde dökülür. Mg üretimi, düşük enerji maliyetinin olduğu ve/veya çok zengin yatakların bulunduğu bölgelerde yapılmaktadır. En büyük üretim bölgeleri İsrail, Avustralya, Norveç, Kanada, Çin ve

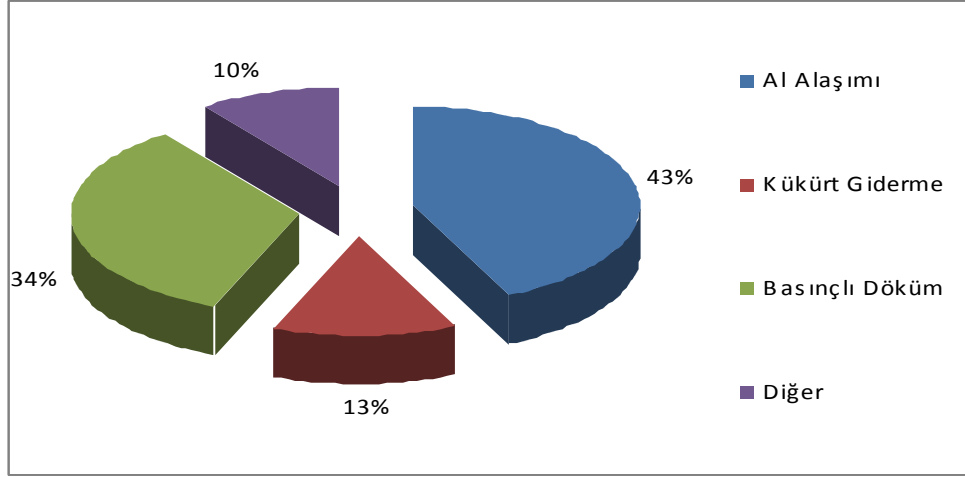
Rusya'da bulunmaktadır. Norsk-Hydro dünyadaki en önemli 13 üreticiden biridir. İki önemli yataкта üretim yapmaktadır. Bunlardan biri Norveç ve diğeri Kanada'dır. Bu firmanın birinci Mg üretimi Kanada yatağı ile birlikte yıllık üretimi 80.000 tonu bulmaktadır [1].

Mg alaşımlarında tane inceltici etkisi ile ilgili 1938 yılındaki önemli buluşlar ve Manganezin (Mn) Mg-Al-Zn alaşımlarının korozyona karşı direncini artırabilecek etkilerinin 1925 yılında keşfedilmesi, Mg'un yapısal uygulamalarda kullanılmasını teşvik etmiştir [9]. Şekil 2.2'de 1991-2007 yılları arasında Avrupa ve ABD'de Mg kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 1991-2007 yılları arasında Avrupa ve ABD'de Mg kullanımı [11].

II. Dünya Savaşı sırasında Mg'a olan talep yükselmiştir. Yalnızca A.B.D.'de üretim 1943 yılında, 1938 yılındaki üretim rakamının 8 katından biraz yüksek olan 184.000 ton'a ulaşmıştır. Yapısal uygulamalar savaş esnasında askeri amaçlı kullanımlarla, hava taşıtları öncelikli olmak üzere sınırlıydı. Bunun tipik uygulamaları motor parçaları, uçak iskeletleri ve iniş takımlarıdır. II. Dünya Savaşı sürecinde sağlanan Mg üretimi ve tasarımına ilişkin bilgilerdeki artış bunun sivil amaçlı kullanımında da önemli bir potansiyel oluşturmuştur [9]. Şekil 2.3'de Batı ülkelerinin 1997'deki Mg metalinin kullanım alanlarını göstermektedir.



Şekil 2.3. 2001 yılında Avrupa’da Mg’un kullanım alanları (330 000 ton) [12].

1997 yılında en büyük kullanım alanı 146.150 ton/yıl ile Al-alaşımlandırma, 95.300 ton/yıl ile basınçlı döküm ve 47.950 ton/yıl ile kükürt giderme işlemidir.

2.2. MAGNEZYUM ALAŞIMLARI VE STANDARTLARI

Mg alaşımları ASTM (A275) standard sistemi tarafından belirlenmiştir. Yöntem iki harfle birlikte iki rakamı kapsamaktadır. İki harf, iki en büyük elemanına verilmiş olan harf kısaltması ve rakamlar ise bu alaşımların en yakın tam sayıya yuvarlanmış yüzdeleridir. Çizelge 2.1’de yaygın bir şekilde kullanılan alaşım elementleri tek harfle listelenmiş şekilde verilmiştir.

Çizelge 2.1. Alaşım elementleri ve kısaltmaları [3,5,6,7,9].

Harf	A	C	E	H	J	K	L	M	Q	S	W	X	Z
Element	Al	Cu	Re	Tr	Sr	Zr	Li	Mn	Ag	Si	Yi	Ca	Zn

Örnek AM60 alaşımının açıklaması aşağıda verilmektedir;

A→ Al'u yani Mg'dan sonra alaşımdaki en fazla elementi ifade eder.

M→ Mn'ı yani 2.olarak en fazla kullanılan elementi ifade eder.

6→ Alaşımdaki Al oranının yaklaşık 5,6-6,4 arasında olacağını ifade eder.

0→ Alaşımdaki Mn oranının yaklaşık 0,26-0,50 arasında olacağını ifade eder.

Magnezyum alaşımları ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94 de göre standartları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Mg alaşımları standartları ve bileşimleri (ASTM B 93/B 93M ve ASTM B94) [9,13].

Alaşım Elementi	Mg Alaşımları									
	AM50	AM60	AS21	AS41	AZ31	AZ61	AZ80	AZ91	ZE10	ZK60
Al	4,5-5,3	5,6-6,4	1,9-2,5	3,7-4,8	2,5-3,5	6,5	7,8-9,2	8,5-9,5	0,05 max	0,05 max
Zn	0,20 max.	0,20 max.	0,15-0,25	0,10 max.	0,7-1,3	1,0	0,2-0,8	0,45-0,90	1,0-1,5	4,8-6,2
Mn	0,28-0,50	0,26-0,50	0,20 min.	0,35-0,60	0,20 min.	0,15	0,15-0,5	0,17-0,40	0,1 max.	0,1 max.
Si	0,05max.	0,05max.	0,70-1,2	0,60-1,4	0,05 max.	0,20 max.	0,10 max.	0,05 max.	0,05 max.	0,05 max.
Fe (max)	0,004	0,004	0,004	0,0035	0,005	-	0,05	0,004	0,03	0,03
Cu (max)	0,008	0,008	0,008	0,015	0,05	0,08	0,05	0,025	0,02	0,05
Ni (max)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,010	0,005	0,001	0,005	0,005
Be	-	-	-	-	-	-	0,002	-	0,002	0,002
Ce	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12-0,25	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3-0,9
Diğer	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	0,01	-	-
Mg	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

ASTM, EN, DIN, AFNOR standartlarında da havacılık endüstrisi için kullanılan standartlar bulunmasına rağmen son yıllardaki hızlı gelişmeler nedeni ile havacılık endüstrisi üretici firmalarca çeşitli Mg alaşımları geliştirilmiştir [14,15]. Firmalarca geliştirilen bu alaşımların bileşimleri Çizelge 2.3 ve mekanik özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Ticari firmalar tarafından geliştirilen Mg alaşımları (ASTM B80) [14].

Alaşım adı	Alaşım elementleri (%)							
	Zn	RE	Y	Zr	Ag	Cu	Ne	Mg
RZ5	3,5-5	0,8-1,7	-	0,4-1	-	-	-	Kalan
WE43	-	2,4-4,4	3,7-4,3	0,4 min.	-	-	-	Kalan
MSR-B	-	2-3	-	0,4-1	2-3	-	-	Kalan
EQ21	-	1,5-3	-	0,4-1	1,3-1,7	0,05-0,1	-	Kalan
WE54	-	1-2	4,75-5,5	4 min.	-	-	1,5-2	Kalan

Çizelge 2.4. Ticari firmalar tarafından geliştirilen Mg alaşımlarının mekanik özellikleri [7,14].

Alaşım adı	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama % (max.)	Akma gerilmesi (MPa)	(BSD) Sertlik
RZ5	200	3	135	55-70
EQ21	240	2	175	64-98
ZRE1	140	3	95	50-60
MSR-B (Afnor)	240	2	185	64-98
WE43	220	2	172	68-98
WE54	255	2	185	80-90

RZ5, toprak alkali elementleri çinko ve zirkonyum içeren Mg döküm alaşımlarıdır. Düşük yoğunluk, iyi mekanik özellikleri sebebiyle helikopter vites iletim ve pervane Motorlarının dökümlerinde tercih edilen bir alaşımdır. Gelişmiş korozyon özelliklerine sahiptir [15].

WE43, yüksek dayanımlı ve korozyona dayanıklı ve yüksek sıcaklıklarda uzun süre dayanabilme özelliğine sahip Mg bazlı alaşımdır. WE43, uçak motorlarında,

helikopter vites kutularında ve yüksek performans gerektiren araçlarda kullanılmaktadır [15,16].

MSR, en fazla kullanılan Mg alaşımıdır. MSR, yüksek sıcaklık uygulanmalarına dayanıklıdır ve gümüş ile nadir toprak elementleri içerir. Hava taşıtlarının motorlarında ve vites kutularının dökümlerine kullanılmaktadır [15,16].

EQ21, Ag ve RE elementleri içerir. Fakat bileşiminde MSR'den daha az gümüş bulundurmaktadır. EQ21 alaşımları yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Uçak, otomobil ve askeri uygulamalarda kullanılmaktadır [15,16].

Araştırma sonuçları [9] AZ91 alaşımına sırasıyla Si (%1), RE/nadir toprak (%1), ve Ca (%0,2) eklenmesinin sürünme direncini geliştirdiğini göstermektedir. Ancak Si ve RE eklenmesi yeterli miktarda değildir ve bu üç katkı maddesinin eklenmesi sünekliliği düşürmektedir. Diğer bir alaşım olan Mg, %8 Al, %1 Ca alaşımı sürünme direncini kolayca karşılayabilmesine rağmen, bu alaşımın döküm problemleri tatmin edici bir şekilde çözülememiştir. Bu döküm problemine sıcak yırtılma örnek verilebilir [9,15].

1966-1975 yıllarında alaşımlarla ilgili en başarılı gelişme AS41, AS21 ve AS11 alaşımlarının bulunmasıdır. AS41, AZ81 (yaklaşık 30°C)'den daha yüksek bir döküm sıcaklığına sahiptir. Bununla birlikte, AS21 ve AS11 alaşımları daha yüksek sürünme direnci sunabilmesine rağmen, düşük döküm performansı, basınçlı döküm uygulamalarında kullanımını kısıtlamıştır [9,15].

1970'li yılların ilk bölümünde, üç alaşım, ZA124 (%4 Al, %0,4 Mn, %12 Zn), ZA102 (%2 Al, %0,7 Mn, %10 Zn) + %0,3 Ca ve AZ88 (%8 Al, %0,2 Mn, %8 Zn) NL Industries tarafından geliştirilmiştir [15]. ZA124, AS41'in sürünme direncine benzer bir sürünme direnci sunmaktadır. ZA124 alaşımı iyi korozyon direncine ve akışkanlığa sahiptir. Yüksek Çinko'lu (Zn) alaşıma az bir miktar Ca eklendiğinde sürünme direncinin önemli oranda geliştirilebildiği bulunmuştur. ZA102 (%0,3 Ca)'nin alaşımının sürünme direnci, AS21 alaşımının sürünme direncine benzer ve

ZA124 alařımının sűrűnme direncinden daha yűksektir. Bunun űtesinde, bu alařımlara Ca eklendiđinde, sıcak yırtılma problemleri en aza inmiřtir. Geliřtirilen diđer bir bařarılı alařım da AM60 alařımıdır. Bu alařım AZ91 alařımının sűnekliliđinden daha yűksek bir sűneklilik sunabilir ve yűksek performanslı araçların jant űretiminde kullanılmaktadır [9,15].

Mg alařımlarının korozyon davranıřı metalurji, mikroyapı ve alařım elementlerine dayanmaktadır. Ŭretim sűrecinde mevcut bulunan Demir (Fe), Bakır (Cu) ve Nikel (Ni) gibi katodik saflık bozucular, Mg alařımının korozyon direncini etkilemiřtir [9]. Bu saflıđı bozan unsurların Mg'da çűzűnűrlűđű dűřűktűr, korozyonu artıran mikrogalvanik çiftler, farklı taneciklerin ya da bileřiklerin çűkelmesine neden olur.

Mg alařımlarının korozyon direncine iliřkin bűyűk geliřmeler 1975-1990 yılları arasında olmuřtur. Mg alařım űreticileri impűriteleri çűkelten teknolojiler geliřtirmiřlerdir. Bűylece alařımda bulunan Fe impuritesini 100-200 ppm'den 20 ppm'e kadar dűřűrerek ticari olarak űretilmesini sađlamıřlardır. Bu durum yűksek saflıktaki alařımların korozyon direncinin 100 kat geliřmesinin, bűyűk űlçekli ve artan bir řekilde Mg alařımlarının kullanılmasının esas nedenidir. Bu dűnemde geliřtirilen yeni alařım AE42'dir ki, bu oldukça yűksek sıcaklık űzelliklerini sunabilen ve sűrűnme direnci AS21'in sűrűnme direncini ařan bir alařımdır [9,15].

Derwent Dűnya Patent Endeksi 1963-1996 dűnemi magnezyum alařımı anahtar sűzcűđű ile arařtırıldıđında, 1648 patent arasında 27 adet basınçlı dűkűm ile ilgili patent vardır [17]. Bu buluřların bir çođu Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Al, Mg-Al-Si, ve Mg-Zn-Nadir toprak elementleri (RE) űzerine temellendirilmiřtir. Dűkűmdeki geliřmeler yűksek sıcaklıklarda ve oda sıcaklıđında mekanik űzellikleri geliřtirmek için genellikle Mg ile Al, Zn, Mn, Si, Ca, Seryum (Ce), Yitriyum (Yi), Çinko (Zr), Cu, Ni, Gűműř (Ag) vb. ile alařım haline getirilmiřtir. Son zamanlardaki alařım ile ilgili geliřmelerin birçođu Mg-Al alařımına Zn, Ca, Si veya RE eklemek sureti ile deđiřtirilmesi temellidir [9].

Mg-Bi, Mg-Y, Mg-Ca ve Mg- Sr sistemleri yűksek ergime derecelerine sahip olduđu için, bu alařımlar yűksek sıcaklıklardaki uygulamalarında alařım geliřtirme

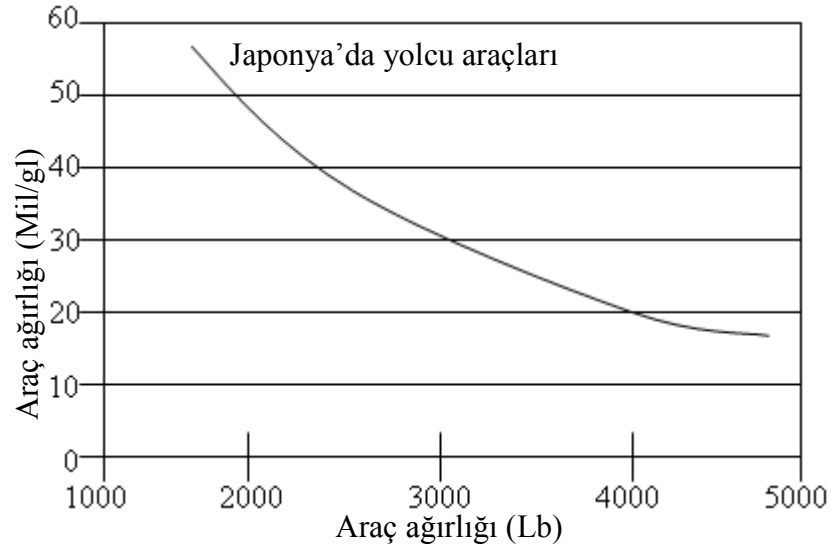
potansiyeline sahiptirler. Ancak, bazı önemli alaşım elementleri (Yi, Ag ve RE) pahalıdır ve özel uygulamalar için kullanılır [9].

2.3. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KULLANIM ALANLARI

Otomotiv ve uzay-uçak sanayilerindeki ağırlık tasarrufuna yönelik arayışlarda Mg metali düşük yoğunluğu ile mühendislik uygulamaları açısından en hafif yapısal metal olarak ön plana çıkar. Günümüzde Mg alaşımlarına olan en büyük ilgi otomotiv sektöründen gelmektedir. Bunun başlıca nedeni, hafif Mg alaşımlarının kullanımı ile araç ağırlığında yapılan azalmanın yakıt ekonomisi sağlaması ve bunun sonucu olarak gaz emisyonları'nın da azaltılabilecek olmasıdır. Özellikle otomotivde hafif metalik malzemelere yönelik sadece günümüzün otomobilleri ile ilgili değildir. Güneş enerjisi, elektrik veya hidrojen gibi alternatif enerji kaynakları ile çalışacağı öngörülen geleceğin otomobillerinde hafiflik bugünküne kıyasla çok daha önemli bir gereksinimdir. Önümüzdeki yıllarda binek otomobillerde ulaşılması planlanan yakıt tüketimi 3 litre/100 Km gibi zorlu bir hedeftir ve bunun için otomobil ağırlığında yaklaşık %30'luk bir azalma gerekmektedir [18]. Şekil 2.4'de araç ağırlığı ile yakıt ekonomisi arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Mg'un Al ve çelikle karşılaştırıldığında yüksek fiyatlı olmasına rağmen, net şekle yakın döküm parçalar üretildiğinden otomobillerde kullanımı fazladır [16].

Mg-Al-Zn (AZ91) alaşımları, çoğunlukla otomobil parçalarının dökümü için kullanılır. Diğer Mg alaşımlarıyla karşılaştırıldığında; AZ91 Mg alaşımı daha iyi döküm, daha iyi dayanım özellikleri göstermektedir.



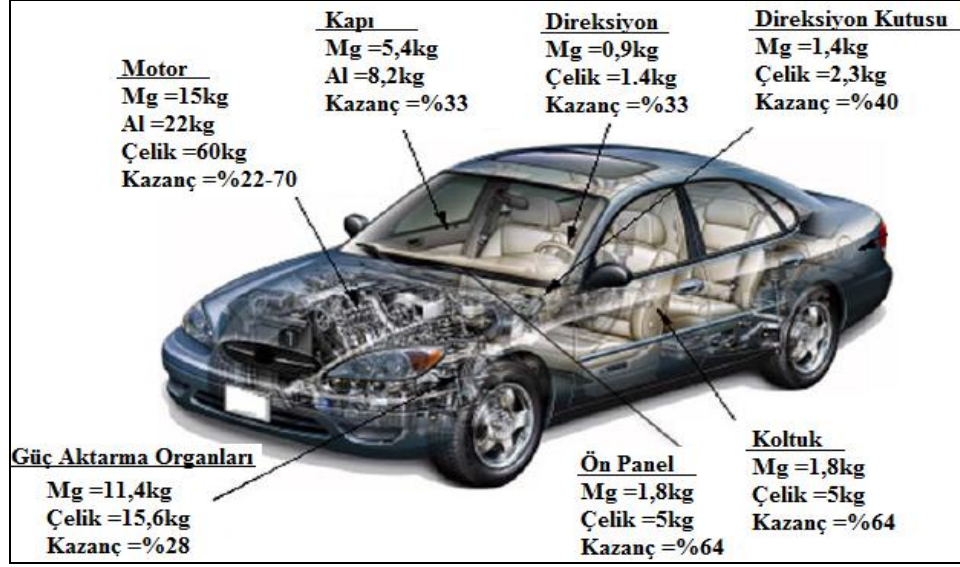
Şekil 2.4. Araç ağırlığı ile yakıt ekonomisi arasındaki ilişki [16].

Son yıllarda, Mg'un otomobil parçalarında kullanılması hızla artmıştır. Otomobillerde kullanılan birçok parça, basınçlı döküm ile Mg'den imal edilmiştir.

Mg'un otomobil parçalarında kullanımı yaklaşık olarak son 80 yıldadır. 1930 yılında Louse Chevrolet tarafından bir prototip arabada Mg pistonları ve Volkswagen Beetle motorunda ve aktarma organlarında 20 kg'dan fazla Mg kullanılmıştır [18]. Bu süreç zarfında, Mg genellikle sınırlı potansiyele sahip özel bir materyal olarak varsayılmıştır. 1970'lerdeki petrol krizinden beri Mg, otomobil endüstrisinde çok daha önemli bir rol oynamıştır. Şekil 2.5 de otomobil parçalarında Mg alaşımının kullanımı gösterilmiştir.

Basınçlı döküm metodu en çok kullanılan üretim metodu olarak göze çarpmaktadır. Yüksek miktarlı talepler düşük maliyetli basınçlı döküm metodu için itici bir kuvvet olmuş ve basınçlı döküm metodu hızla gelişmiştir [16,18].

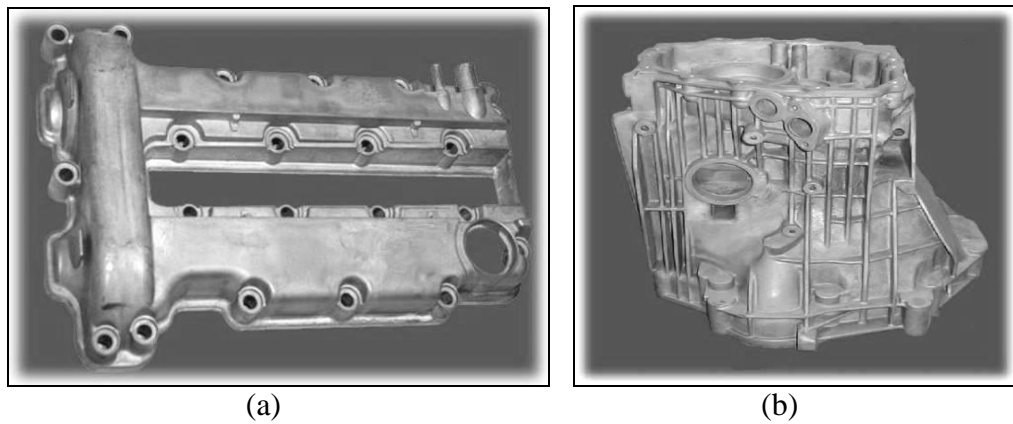
1930'lardan 1965'lere kadar, yalnızca ticari olarak kullanılan alaşımlar Mg-Al-Zn-Mn esaslıdır. Parçaların çoğunluğu AZ91 alaşımından üretilmiştir. Bu alaşım, gerilme kuvvetini biraz düşmesine rağmen, yüksek yumuşaklık ve darbe etki direncini sağlamıştır [9,15].



Şekil 2.5 Otomobil üretiminde Mg alaşımından dökülmüş parçalar [19,20].

Mg-Al-Mn esaslı alaşımlar (AM50, AM60 iyi uzama ve darbe dayanımlarına sahiptirler [8]. AS41, AS21 (Mg-Al-Si-Mn) ve AE42 (Mg-Al-Re) alaşımları artan sıklıkla, Mg-Al-Mn ve Mg-Al-Zn-Mn alaşımlarından daha yüksek sürünme dayanımıyla karakterize edilen aktarma parçaları imalı için kullanılır [9].

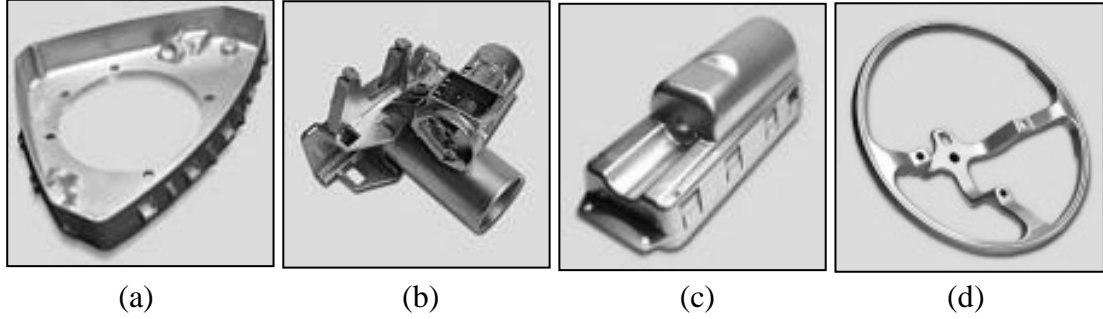
AZ serisi alaşımlar otomobil, havacılık, bilgisayar ve mobil telefonlarda kullanılır [1]. Şekil 2.6'da AZ91 alaşımından üretilmiş döküm parçalar görülmektedir.



Şekil 2.6. AZ91 alaşımı döküm parçaları a) üst yağ kapağı, b) aktarma parçası [21].

Mg alaşımlarından AM serisi alaşımlar yüksek toklukları ve enerji absorblama özellikleri bakımından özellikle direksiyon, tekerlek, otomobil koltuk iskeleti

yapımında kullanılır [1]. Şekil 2.7’de AM alaşımından dökülmüş parçalar görülmektedir.



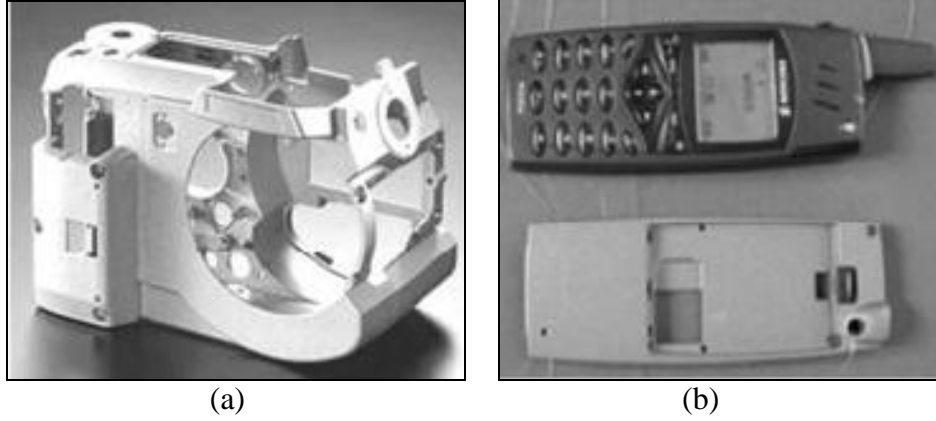
Şekil 2.7. AM alaşımı döküm parçaları [7,11,13,21,22] a) Hava yastığı kutusu, b) direksiyon kilit kutusu, c) Yolcu hava yastığı kiliti, d) Direksiyon simidi.

AE42 alaşımları 200 °C’nin üzerindeki servis koşullarında, transmisyon elemanı ve motorlarda kullanılır [1]. Şekil 2.8’de WE43 alaşımından dökülmüş helikopter vites kutusu görülmektedir.



Şekil 2.8. WE43 alaşımından dökülmüş helikopter vites kutusu [15,23].

Süper hafif Mg-Li esaslı alaşımlar bilgisayar elemanı olarak plastik ve diğer benzer malzemelerin yerine kullanılabilir [1,2]. Şekil 2.9’da Li esaslı Mg alaşımından dökülmüş kamera ve cep telefon kutusu görülmektedir.



Şekil 2.9. Li katkılı Mg alaşımı döküm parçaları a) kamera kutusu, b) cep telefonu kutusu [2].

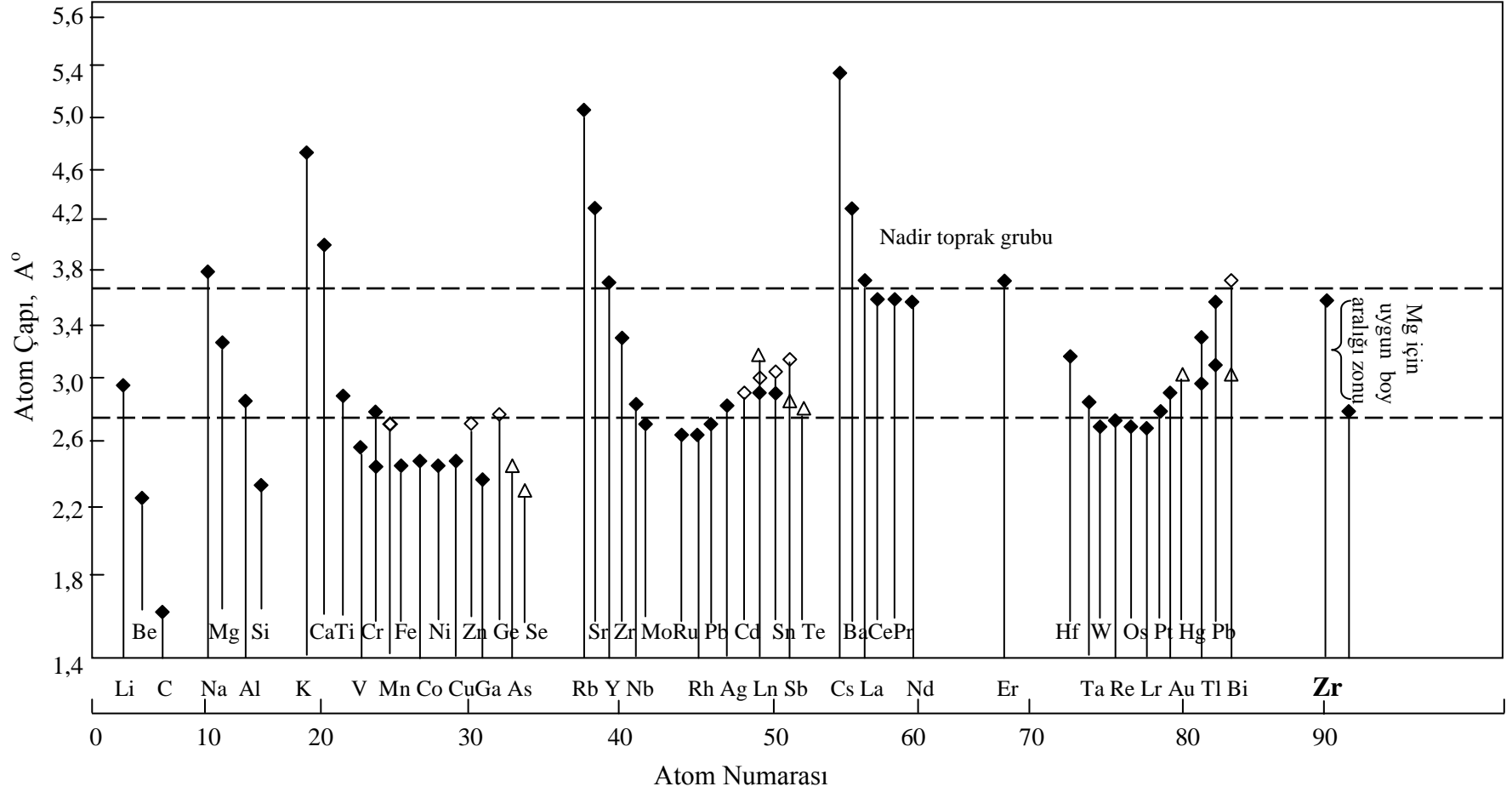
2.4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN MAGNEZYUM ALAŞIMLARINA ETKİLERİ

Mg'un özelliklerini geliştirmek için alaşım elementleri katılarak döküm ürünler elde edilmektedir. Mg hegzagonal bir kafes yapısına sahiptir ve sahip olduğu tane çapı da çok fazla sayıda elementle katı çözünebilirliğe müsaade eder. Alaşımlandırılmadığı esas prensip malzemenin dayanım özelliklerinde belirli gelişimler sağlamaktır. Mg yapısal bir malzeme olarak kullanıldığında Al, Mn, RE, Ag, Th, Ce, Zn ve Zr gibi elementler katılarak alaşımlandırılır. Bu elementlerin biri veya birkaçı ile alaşımlandırıldığı zaman alaşımlar genellikle yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip olur. Mg alaşımlarındaki en çok kullanılan alaşım elementi Al'dir [3,9,24].

Mg alaşımları için katı eriyik sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi iki önemli sertleştirme mekanizmalarıdır. Hume-ruthery kurallarına göre; Eğer çözünen ve çözen atomların atomik çapları arasındaki fark % 14-15'i aşarsa, katı çözelti oluşmayabilir. Ayrıca, katı çözelti oluşturabilmek için iki elementinde aynı kristal yapıya sahip olması gerekir [9,15]. Çizelge 2.5'de ikili Mg alaşımlarında oluşan katı intermetalik fazlar ve çözünebilirlik verileri, Şekil 2.10'da elementlerin uygun atomik boyutları verilmiştir.

Çizelge 2.5. Mg alaşımlarında oluşan intermetalik fazlar ve çözünebilirlikleri [15].

Sistem	Max. Çöz.		Faz	Ergime noktası °C	Sistem	Max. Çöz.		Faz	Ergime noktası °C
	% ağı.	% at.				% ağı.	% at.		
Mg-Al	12,7	11,6	Mg ₁₇ Al ₁₂	402	Mg-Sm	5,8	0,99	Mg ₆₂ Sm	-
Mg-Ca	0,95	0,58	Mg ₂ Ca	714	Mg-Gd	23,5	4,53	Mg ₆ Gd	640
Mg-Sc	25,9	15,9	MgSc	-	Mg-Tb	24,0	4,57	Mg ₂₄ Tb ₅	-
Mg-Mn	2,2	1,0	Mn	1245	Mg-Dy	25,8	4,83	Mg ₂₄ Dy ₅	610
Mg-Zn	8,4	3,3	MgZn	347	Mg-Ho	28,0	5,44	Mg ₂₄ Ho ₅	610
Mg-Ga	8,5	3,1	Mg ₅ Ga	456	Mg-Er	32,7	6,56	Mg ₂₄ Er ₅	620
Mg-Y	12,0	3,6	Mg ₂₄ Y ₅	620	Mg-Tm	31,8	6,26	Mg ₂₄ Tm ₅	645
Mg-Zr	3,6	0,99	Zr	1855	Mg-Yb	3,3	0,48	Mg ₂ Yb	718
Mg-Ag	15,5	4,0	Mg ₃ Ag	492	Mg-Lu	41,0	8,80	Mg ₂₄ Lu ₅	-
Mg-In	53,2	19,4	Mg ₃ Ln	484	Mg-Hg	3,0	0,4	Mg ₃ Hg	508
Mg-Sn	14,85	3,45	Mg ₂ Sn	770	Mg-Tl	60,5	15,4	Mg ₅ Tl ₂	413
Mg-Ce	0,74	0,13	Mg ₁₂ Ce	611	Mg-Pb	41,7	7,75	Mg ₂ Pb	538
Mg-Pr	1,7	0,31	Mg ₁₂ Pr	585	Mg-Bi	8,85	1,12	Mg ₃ Bi ₂	821
Mg-Nd	3,6	0,63	Mg ₄₁ Nd ₅	560	Mg-Th	5,0	0,49	Mg ₂₃ Th ₆	772

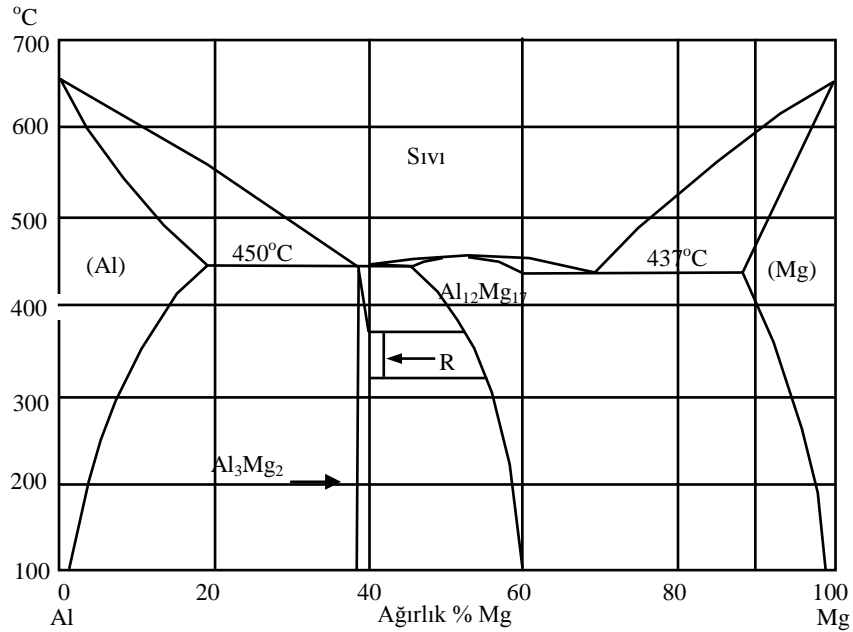


Şekil 2.10. Elementlerin uygun atomik boyutları [9].

Ticari Mg alaşımlarında kullanılan farklı alaşım elementlerinin etkisi kısaca aşağıda belirtilmiştir.

2.4.1. Alüminyum (Al)

Mg esaslı alaşımlarda Al, Mg'un katı çökelti dayanımını, ergiyin dökülebilirliğini geliştirir ve döküm alaşımlarının mikro gözeneklerini azaltır. Al katkısı alaşımın sertliğini, dayanımını ve katılaşıma zamanını artırmakta, fakat sünekliğini azaltmaktadır. Katı eriyik sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi ile oluşan $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalığı düşük sıcaklıklarda (≤ 120 °C) oluşarak alaşımın dayanımını geliştirir. Bununla birlikte, fazla miktarda Al içeren alaşımlar mikro gözeneklere karşı eğilimlidirler [3,9,24,25]. Şekil 2.11'de Mg-Al denge diyagramı görülmektedir.

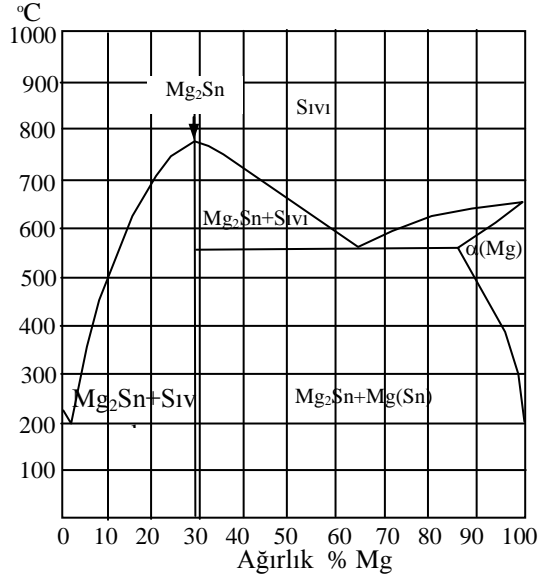


Şekil 2.11. Mg-Al denge diyagramı [26,27].

2.4.2. Kalay (Sn)

Sn, sünek bir element olmakla beraber, Mg'den daha düşük ergime sıcaklığına sahip ve Mg'den daha az akıcılığı olan bir elementtir [28]. Sn içeren alaşımda Mg_2Sn intermetalik faz oluşumu soğuma hızına bağlıdır. Yüksek soğuma hızlarında çubuk

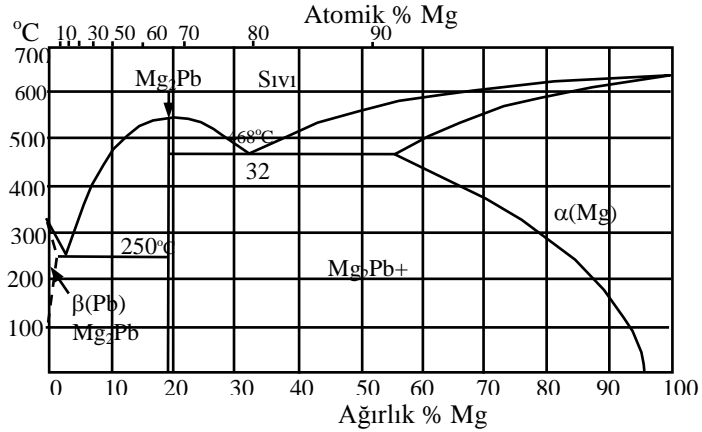
tipi Mg_2Sn partiküllerin gözlenmesi Mg matrisi ile birlikte olur [29]. Şekil 2.12’de Mg-Sn denge diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.12. Mg-Sn denge diyagramı [27,28].

2.4.3. Kurşun (Pb)

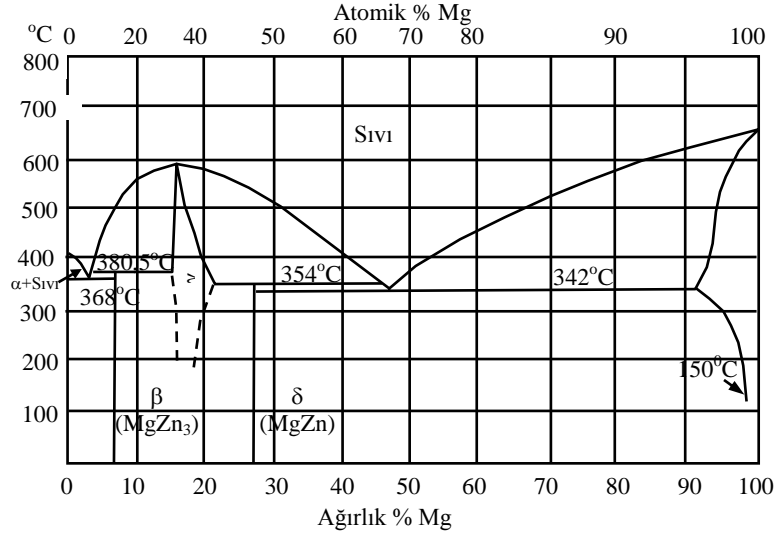
Alaşıma ilave edilen Pb iyi bir çözünürlüğe sahip olduğundan; yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 460 °C) %40’a kadar Pb çözünmekte ve ayrı faz olarak ortaya çıkmamaktadır. Şekil 2.13’de verilen Mg-Pb denge diyagramı incelendiğinde alaşım sıcaklığı azaldıkça $Mg_2Pb + \alpha$ fazı oluşmaktadır. Pb, iyi bir çözünürlüğe sahip element olduğundan $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazını inceltmektedir [30].



Şekil 2.13. Mg-Pb denge diyagramı [27].

2.4.4. Çinko (Zn)

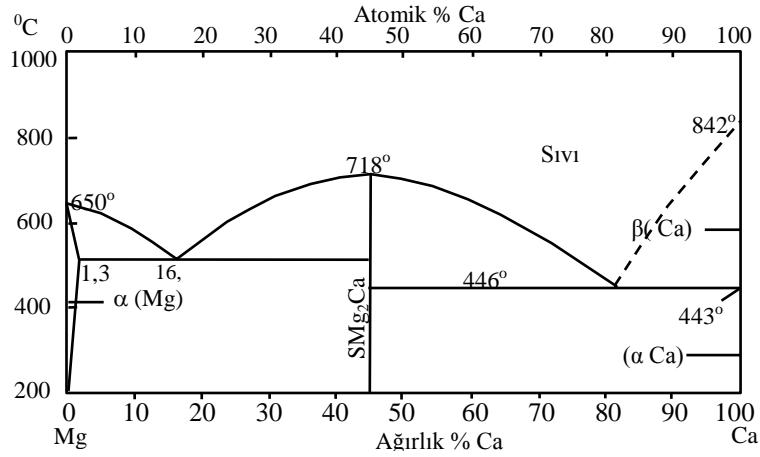
Zn, tane sınırlardaki ötektik miktarını artırarak, alaşımın katılaştırma sıcaklığını düşürmektedir. Korozyon özelliklerinde Cu'nun kötü etkisini yok etmek için Zn ilave edilmektedir [3,19,25]. Zn, çökelti sertleşmesi sayesinde ortam sıcaklıklarında dayanımı ve aynı zamanda ergiyiğin akıcılığını artırmakla birlikte, tane sınırlarına çökmesi ile sıcak yırtılma oluşturduğu için %2 ile sınırlıdır. Malzeme, segregasyonlu bölgenin ergime sıcaklığına yakın sıcaklıklarda deforme edildiğinde, tane sınırları boyunca ayrışır [3,9]. Şekil 2.14'da Mg-Zn denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.14. Mg-Zn denge diyagramı [9,25].

2.4.5. Kalsiyum (Ca)

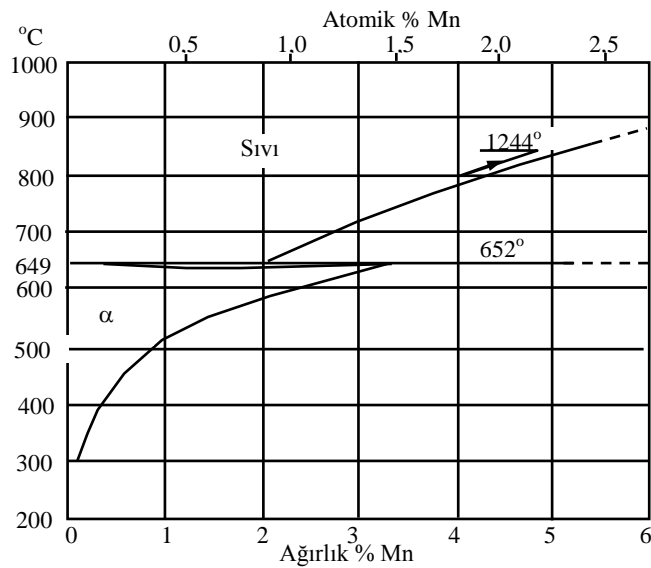
Şekil 2.10'da Mg-Ca denge diyagramı verilmiştir. Ca'nın, Mg içerisinde maksimum çözünübilirliği 565 °C'de %1,34, 200 °C'de ise yaklaşık % 0'dır. İntermetalik bileşim olan Mg₂Ca'un ergime noktası 715 °C'ye ulaşır (Şekil 2.15). Çünkü Mg'de Ca sınırlı çözünübilirliği ile katı eriyik sertleşmesine etkisi sınırlıdır. Genellikle Ca, alaşımın sürünme direncini geliştirir. Ayrıca, azda olsa ergiyik metalin oksidasyonunu azaltmaktadır. Ca'un, korozyon dayanımı üzerinde zararlı etkisi vardır [8,9,25]. Ca miktarının artması ile sıcak yırtılma eğilimi artmaktadır.



Şekil 2.15. Mg-Ca denge diyagramı [9,27].

2.4.6. Mangan (Mn)

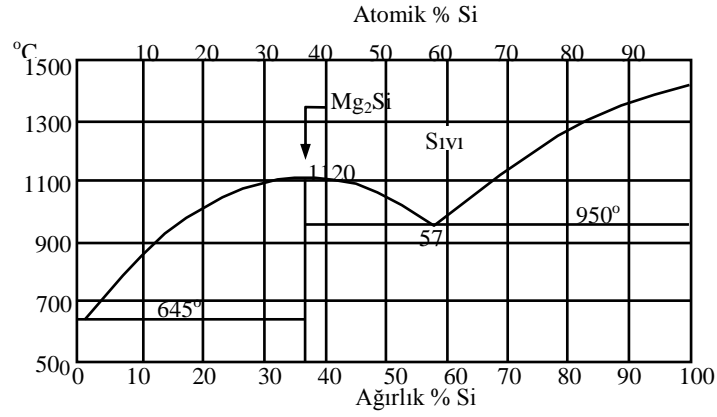
Alaşıma ilave edilen Mn daha çok korozyon direncini artırmak için kullanılır. Mn'in Mg alaşımlarında, korozyon direncine etkisi fazladır. Fe-Mn çökeltilerinde, Fe'in kontrolü için Mn kullanılır. Mn, Mg alaşımlarının sürünme direncini geliştirir ve Fe'in etkisini azalttığı için, korozyonu engeller. Fakat, Mg alaşımlarının dayanımında Mn'in etkisi azdır [3,8,9,25]. Şekil 2.16'da Mg-Mn denge diyagramına göre Mn, Mg içerisinde % 3,4'e kadar sıcaklığa bağlı olarak katı eriyik oluşturabilmektedir.



Şekil 2.16. Mg-Mn denge diyagramı [27].

2.4.7. Silisyum (Si)

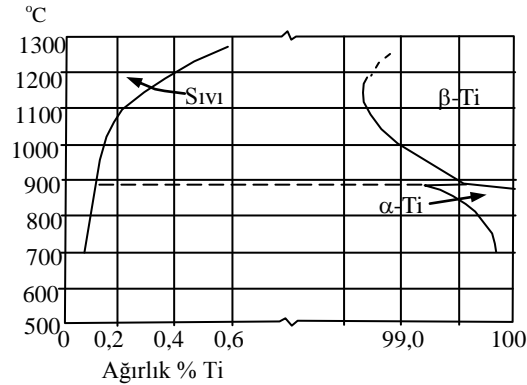
Litaratürde Si'un Mg alaşımlarının dökülebilirliğini ve akıcılığını düşürdüğü açıklanmaktadır [1,8,9]. Korozyon özelliklerinin iyileştirilmesinde ihmal edilebilir derecede etkisi vardır [8,9]. Si atomları, Mg matrisinde kritik çaptan aşağı düştüğünde, oda sıcaklığında katı halde Mg_2Si intermetalik oluşturur [28]. Şekil 2.17'de Mg-Si denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.17. Mg-Si denge diyagramı [27,28].

2.4.8. Titanyum (Ti)

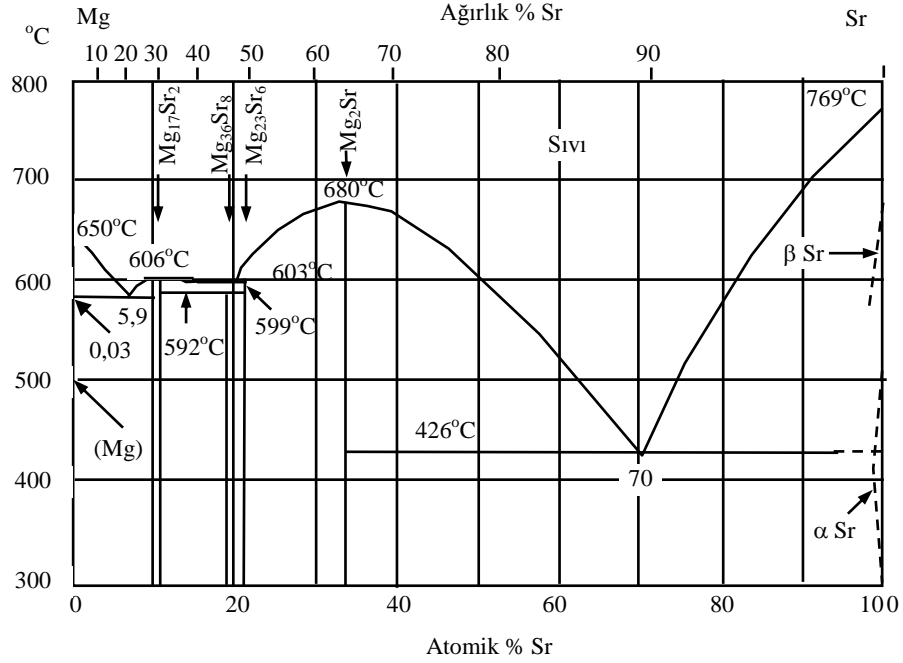
Alaşıma ilave edilen Ti, Mg içinde çok az çözünürlüğe sahiptir. Hızlı katılaşma ile Mg alaşımları üretilirse Ti'un çözünürlük miktarı artırılabilir [31]. Şekil 2.18'de Mg-Ti denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.18. Mg-Ti denge diyagramı [27].

2.4.9. Stronsiyum (Sr)

Stronsiyum'un (Sr) mikrogözeneklerin dağılmasında etkisi vardır ve Mg alaşımlarının porozite eğilimini azaltır. Sürünme direncini artırır. Sr ilavesinin Mg alaşımlarında korozyona etkisi çok azdır [9]. Şekil 2.19'de Mg-Sr denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.19. Mg-Sr denge diyagramı [9,27].

2.4.10. Toprak alkali elementleri (RE)

RE elementleri yüksek ısı dayanımını ve sürünme direncinin artırdığını ve döküm porozitesini azalttığı araştırmalar sonucunda bilinmektedir [3,9].

RE elementleri dökülebilirliği iyileştirir ve Mg alaşımlarında mikroporoziteyi azaltır. Oda sıcaklıklarında ve yüksek sıcaklıklarda alaşımda katı eriyik ve çökeltme sertleşmesi yaparlar. Bu elementler, dayanım özelliklerini iyileştirir ve yükselen sıcaklıklarda alaşımların iyi sürünme dirençleri sayesinde kararlı çöktelleri matriste ve tane sınırlarında dağılır. Sodyum (Na), Potasyum (K), Li gibi RE elementleri korozyon özelliklerini de iyileştirir [3,6,9].

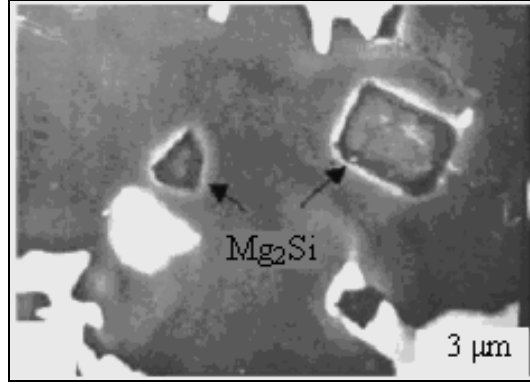
2.5. MAGNEZYUM-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Mg-Al ikili sistemi en eski ve en yaygın kullanılan döküm alaşımlarıdır. AZ91, AM50 ve AM60 gibi alaşımlar tüm Mg alaşım dökümünün büyük bir bölümünü kapsamaktadır [3,9]. Şekil 2.11’de verilen ikili Mg-Al diyagramı incelendiğinde ötektik reaksiyon, bir başka deyişle $Sıvı \rightarrow Mg_{17}Al_{12} + \alpha (Mg)$ dönüşümü, 437 °C gibi düşük bir sıcaklıkta olduğu gözlenmektedir. Bu sıcaklıkta Al’un maksimum çözünebilirliği %12,7 dir. Alaşım %2’den fazla Al içerdiğinde, dökümün mikroyapısında $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik bileşiği oluşur. Eğer alaşımdaki Al içeriği %8’in üzerinde olursa $Mg_{17}Al_{12}$ bileşiği tane sınırları boyunca yayılır ve sonuçta şekillenebilirlik hızla azalır. Çözünme işlemi, 420 °C civarında $Mg_{17}Al_{12}$ bileşiğinin yayınmasıyla sonuçlanır ve şekillendirebilirlik yükselir. $Mg_{17}Al_{12}$ çökmesi 150 °C’de yaşanmaya neden olur ve bu çökelti dayanımı geliştirir. Zn, Mn, Si gibi diğer elementler Mg-Al sistemi içerisinde alaşımlandırılarak özelliklerinin gelişimi için kullanılır [3,6,8,9].

Mg-Al ikili alaşımları oldukça iyi döküm özelliklerine ve iyi mekanik özelliklere sahiptir. Mg-Al alaşımları Mn, Zn, RE ve Si gibi ilave elementlerle üçlü ve dördü alaşımlar oluştururlar. Bu ilave elementler daha önce de belirtilen özellikleri geliştirilerek alaşımların dökümünü daha uygun hale getirirler. Fakat ilave edilen bu elementler alaşımın katılaşma davranışını zorlaştırırlar [3,7,9]. En fazla kullanılan alaşım elementleri Al, Zn, Mn ve Zr dir. RE, Yi ve Ca genellikle yüksek sıcaklıklar için kullanılır [6,9].

2.5.1. Magnezyum-alüminyum-silisyum alaşımları

Mg alaşımlarında 150 °C’ye kadar sürünme direncini geliştirmek için AS41 (%4,2 Al, %1 Si, %0,35 Mn) basınçlı döküm alaşımı geliştirilmiştir [9]. Bu alaşımın dayanımı, hızlı katılaşma sonucu ince taneli yapıya sahip olan Mg_2Si fazından kaynaklanmaktadır. Alaşım kuma döküm uygulamalarında kullanılamamıştır. Çünkü, kuma döküm işleminde yavaş soğumadan dolayı Mg_2Si fazı kaba taneli olmuştur. Alaşımın kaba taneli olmasından dolayı, süneklilik ve çekme dayanımı azalmaktadır [32]. Şekil 2.26’da Si’lu Mg alaşımlarının mikroyapısı görülmektedir.



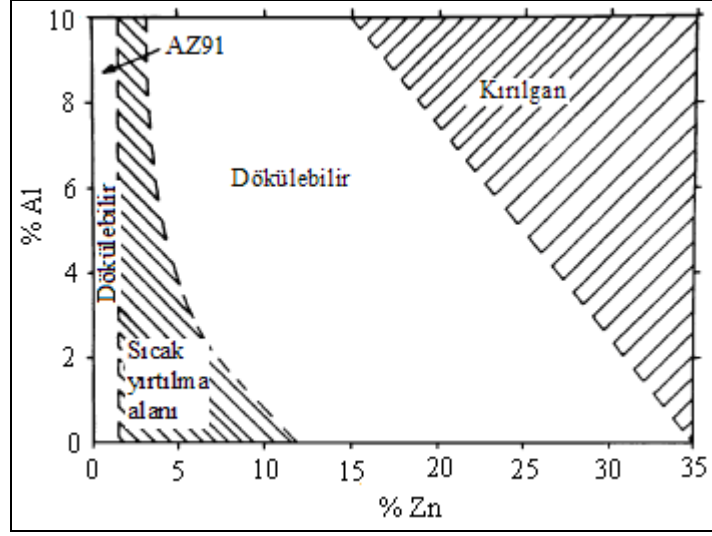
Şekil 2.20. Si'li Mg alaşımlarının mikroyapısı [32].

2.5.2. Magnezyum-alüminyum-toprak elementleri alaşımları

1930'larda RE'nin Mg alaşımlarının özellikleri üzerinde yararlı etkileri olduğu keşfedilmiştir. RE'nin %1'den fazla eklenmesiyle, Mg-Al esaslı alaşımların sürünme dirençlerinde iyileşme olduğu görülmüştür. Belli başlı toprak alkali elementler RE, kararlı $Mg_{12}RE$ intermetalik bileşiği oluşturduğundan; hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda kararlıdır ve düzenli bir matris yapısına sahiptirler. Artan Al içeriği ile birlikte dökülebilirliğin yükselmesine rağmen, RE'nin sürünme dirençlerindeki etkisi, bir dereceye kadar Al ilavesini sınırlı kılar [9]. RE miktarı AZ91 ve AM60'a %0,1'e kadar sıcak yırtılmayı artırmakta ve mikro sertliği geliştirmektedir. RE miktarı arttıkça sıcak yırtılma eğilimi azalmaktadır [33].

2.5.3. Magnezyum-alüminyum-çinko alaşımları

Mg-Al-Zn alaşım sistemi, Mg döküm alaşımlarında önemli bir yere sahiptir. 1913 yılında keşfedilen bu alaşım sistemi daha sonra birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir [9,34]. Şekil 2.21'de Mg-Al-Zn esaslı döküm alaşımlarının dökülebilirlik aralıkları verilmiştir.

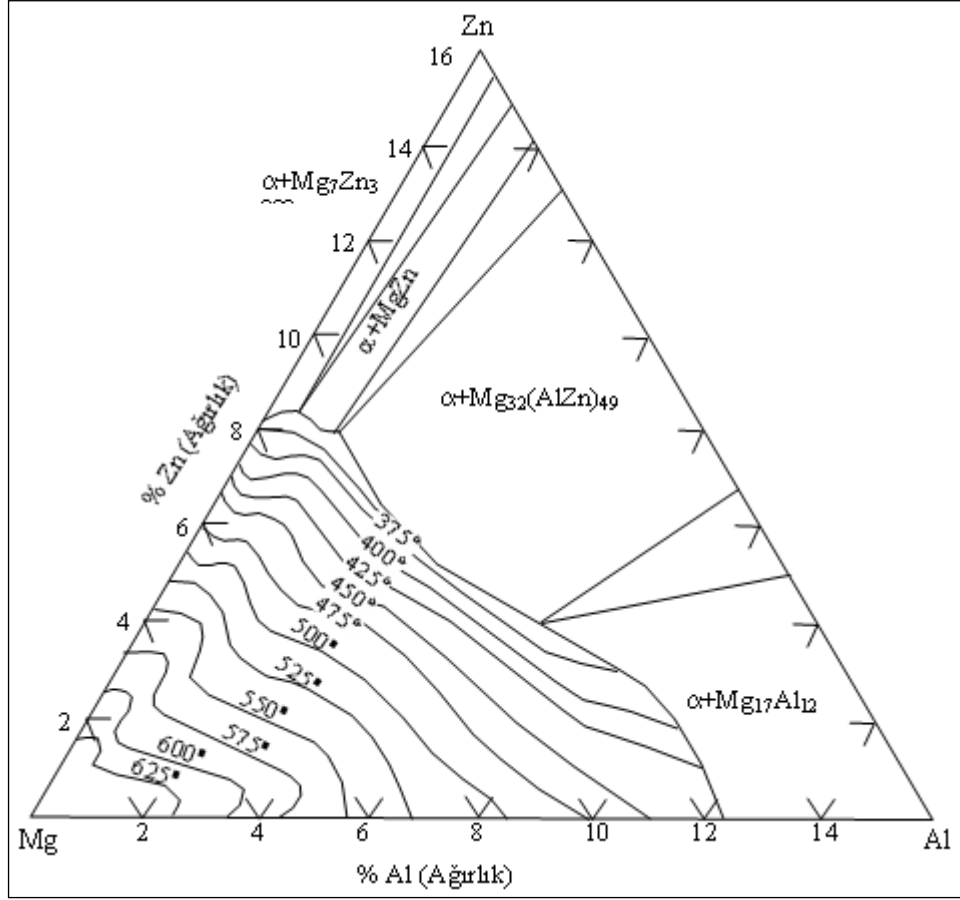


Şekil 2.21. Mg-Al-Zn alaşım sisteminin dökülebilirliğinin şematik resmi [6,34,35].

Diyagram incelendiği zaman dört bölgeden oluştuğu görülmektedir.

- 1) Düşük Zn'de dökülebilir bölge : α (Mg) ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazları vardır ve AZ alaşımı bu bölgededir.
- 2) Sıcak yırtılma bölgesi
- 3) Yüksek Zn'da dökülebilir bölge: Yüksek Zn'li alaşımın dökülebilirliğini gösterir ve $Mg_{32}(Al,Zn)_{49}$ intermetalik bileşiği bu bölgededir.
- 4) Kırılgan bölge

Şekil 2.22'de gösterilen Mg-Al-Zn alaşım sisteminin üçlü faz diyagramında Al'ce zengin bölge incelendiğinde, üç temel metalik faz olduğu görülmektedir. Bunlar; $MgZn$, $Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$, ve $Mg_{17}Al_{12}$ 'dir. Bazı durumlarda $Al_2Mg_5Zn_2$ fazı $393^\circ C$ 'den yüksek sıcaklıklarda ortadan kaybolur. $Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$ fazının oluşma sıcaklığı $535^\circ C$ 'dir. $MgZn$ ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarının ergime sıcaklıkları sırasıyla $347^\circ C$ ve $460^\circ C$ 'dir [9,35].



Şekil 2.22. Mg-Al-Zn üçlü faz diyagramı [9,35,15].

Mg-Al-Zn sisteminde sıvı bölgesindeki en yüksek sıcaklık Al'un ergime sıcaklığı olan 650 °C'dir. Üçlü ötektik reaksiyon sıcaklığı olan 338 °C en düşük sıcaklık noktasıdır. (sıvı \leftrightarrow ϵ +(Mg)+ τ) Bu üçlü sistemde 12 intermetalik bileşik içeren 14 katı fazlar ve sembolleri Çizelge 2.7'de verilmiştir. Bu intermetalik fazlar içinde en yüksek çözünme sıcaklığına sahip iki faz τ ve η fazlarıdır ve sıcaklıklarında τ =535 °C ve η =590 °C'dir. Bu yüzden bu iki faz termal kararlılıkları sayesinde, yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek en umut verici intermetalik bileşiklerdir [9,35,15].

Çizelge 2.6. Katı fazlar, sembolleri ve ergime dereceleri [9].

Faz	Sembol	Ergime derecesi °C
Al	-	<660,5
Mg	-	<650
Zn	-	<419,6
Mg ₂ Al ₃	β	<453
Mg ₂₃ Al ₃₀	X	450 – 428
Mg ₄₈ Al ₅₂	Y	-
Mg ₁₇ Al ₁₂	γ	<460
Mg ₇ Zn ₃	δ	342 – 325
MgZn	ε	<347
Mg ₃ Zn ₃	ξ	<416
MgZn ₂	η	<590
Mg ₂ Zn ₁₁	θ	<381
Mg ₃₂ (Al,Zn) ₄₉	τ	<535
Al ₁₂ Mg ₅ Zn ₂	φ	393 – 535

Mg-Al-Mn ya da AZ91(%9 Al, %0,7 Zn, %0,2 Mn) ve AM60 (%6 Al, %0,2 Mn) gibi alaşımlar en sık kullanılan Mg alaşımlarıdır. Bu alaşımlar; iyi dökülebilirliğe, iyi mekanik özelliğe ve korozyon direncine sahiptirler. Ancak, bu alaşımlar 120 °C üzerindeki sıcaklıklarda düşük sürünme dirençlerinden dolayı kullanılmazlar [9,15].

2.5.4. AZ91 Alaşımları

AZ91 serisi iyi döküm özelliği ve mekanik özelliği olmasından dolayı en çok kullanılan ticari, yapısal Mg alaşımıdır. AZ91 alaşımı otomotiv endüstrisinde kokil kalıp döküm olarak kullanıldığından son yıllarda incelenmek için ilgi çekmektedir. Alaşımın özelliklerini ve mikroyapılarını geliştirmek için değişik alaşımlamalar uygulanmaktadır. Örneğin; bu alaşım elementlerinden biri olan Ca'un oksidasyonu azalttığı, sızıntı emniyetini artırdığı, sıcak uygulamalara (130 -150 °C) olan yeteneği artırdığı fakat % 0.2 den fazla olduğu zaman, alaşımı kırılganlaştırdığı ve sıcak yırtılma eğilimini artırdığı gözlenmiştir [9,36]. Yorulma dayanımı, sürünme direnci ve gerilim direnci çok iyidir. Bununla birlikte AZ91 için en iyi sürünme direnci oda sıcaklığında gerçekleştiği rapor edilmiştir [9].

2.5.5. AZ61 Alaşımları

AZ61 serisi magnezyum alaşımları iyi döküm özelliği ve mekanik özelliğinin iyi olmasından dolayı magnezyum alaşımları içinde en çok kullanılan alaşımlardandır. Özellikle havacılık ve uzay sanayi ile otomotiv sektöründe sıkça kullanılmaktadır. AZ61 alaşımlarının Mikroyapısı genelde α -Mg ana matrisi içerisinde tane sınırları boyunca uzanan ötektik ve intermetalik fazlarından meydana gelmektedir.

2.5.6. AM60 Alaşımları

Mg alaşımlarından AM serisi alaşımlar yüksek toklukları ve enerji absorblama özellikleri bakımından özellikle direksiyon, tekerlek, otomobil koltuk iskeleti yapımında kullanılır AM60 alaşımları iyi uzama ve darbe dayanımlarına sahiptirler Bu alaşımlar; iyi dökülebilirliğe, iyi mekanik özelliğe ve korozyon direncine sahiptirler. Ancak, bu alaşımlar 120 °C üzerindeki sıcaklıklarda düşük sürünme direncine sahiptirler. AM60 alaşımının mikroyapısı genelde α -Mg ile $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarından meydana gelmektedir.

BÖLÜM 3

MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜM YÖNTEMLERİ

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 [3,9]. Mg döküm teknikleri 4 grupta toplanır [1,3,9].

- 1) Kum kalıba döküm
- 2) Kokil kalıba döküm
- 3) Basınçlı döküm
- 4) Yarı-katı döküm

Döküm süreçlerinden birinin seçimi diğer döküm malzemelerine benzer bir şekilde büyüklük, gerekli tolerans ve üretim miktarına göre belirlenir. Son yıllarda basınçlı döküm alaşımlarının kullanımı hızla yükselmektedir [1,37].

3.1. KUM KALIBA DÖKÜM

Kum kalıp dökümü, bilinen geleneksel döküm yöntemidir. Bu yöntemde kum aralarından hava alacağından Mg'un yanma tehlikesine karşı önlemler alınmalıdır. Kalıp boşluğu koruyucu gaz ile korunmalıdır. Mg alaşımlarında bilinen ve uygulanan en iyi kum döküm yöntemi kabuk kalıplıdır. Bu kalıpta kumlar arasında reçine tabaka oluşturduğundan Mg'un 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. Mg-RE-Zr

alaşımları bu sınırlamaların üstesinden gelmek için geliştirilmiştir. EZ33A alaşımında kuma dökümler çok iyi dayanım gösterirler [37].

3.2. KOKİL KALIBA DÖKÜM

Kokil kalıp döküm, iki ya da daha fazla parçadan oluşan metal kalıba döküm teknolojisidir. Aynı şekilli birçok parçanın dökümü hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Sıvı metal yer çekimi etkisiyle kalıba girer. Kokil döküm özellikle yüksek yoğunluklu parça üretimi için uygundur. 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 türbilans ve sıçrama ile girer. Ergimiş metalin uzun sürede düşmesini önlemek amacıyla eğik döküm makinesi, üretimde sıklıkla kullanılmaktadır [9,38]. Eğik döküm işleminde kokil kalıp dikey yönelmiş parçalarla kalıp içerisine yerleştirilir.

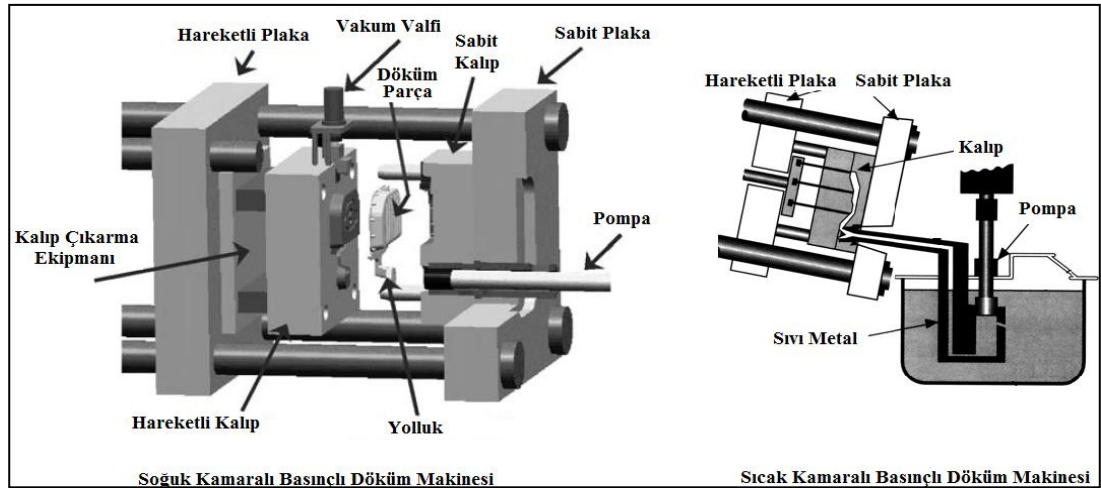
Mg-Al-Zn tipi metaller kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlardır. Bu yöntemde Mg alaşımları Al alaşımlarından çok daha hızlı dökülür. Al alaşımlarına göre kalıp ömrü daha uzundur. Çünkü Mg'de kalıp yüzeyine yapışma daha az Al'de ise daha fazladır. Mg kalıpları, Al kalıplarından 2 kere daha fazla dayanır. 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'de olduğu gibi Fe ile reaksiyona girmez bu nedenle Mg ve alaşımları Fe ve çelik potalarda ergitilebilir ve tutulabilir [37].

3.3. BASINÇLI DÖKÜM

Mg alaşımları genellikle yerçekimi veya basınçlı döküm ile üretilirler. Basınçlı döküm hidrolik sistem yardımıyla yüksek hızda ergimiş metali metal kalıbın içine doldurma işlemidir. Basınçlı dökümün soğuk kamaralı ve sıcak kamaralı olmak üzere iki ana işlemi vardır. Sıcak kamaralı işlemde düşük ergime noktalı malzemeler kullanılır. Sıcak kamaralı işlemde hidrolik sistemde sıvı metalin transferi sırasında

ergimiş metaldeki türbilans, ısı kaybı ve oksitlenmeye yol açar. Bu işlemde metalin kalıp içerisine enjeksiyon yoluyla ilerlemesi sağlanır [9].

Mg alaşımlarının döküm yöntemlerinden düşük basınçlı döküm tekniğinde tamamen kapalı sistemde kaliteli temiz alaşım üretimi sağlanır. Şekil 3.1’de Soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm sisteminin şematik resmi görülmektedir.

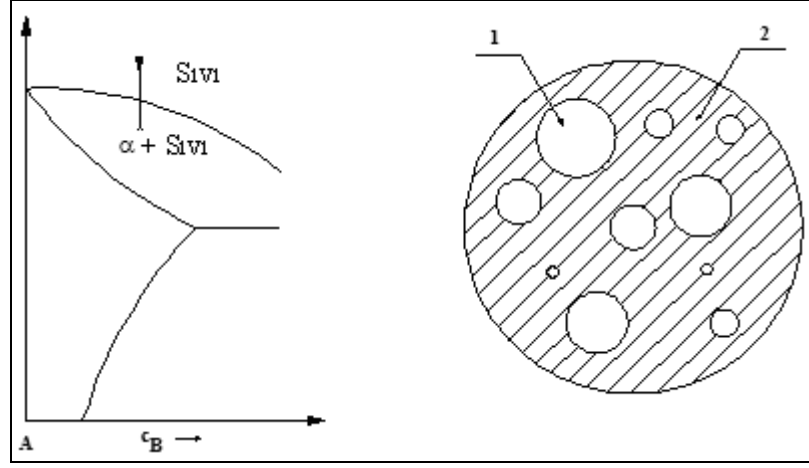


Şekil 3.1. Mg alaşımları basınçlı döküm makinesi [1,22].

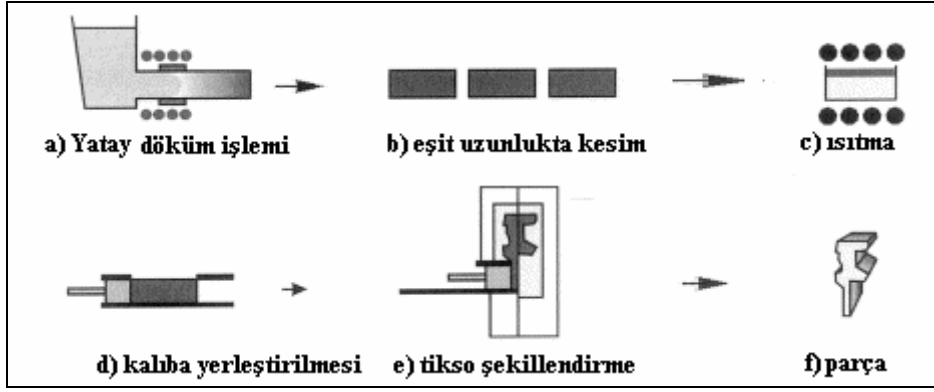
Sıcak kamaralı döküm işleminde, ergimiş metalin türbilansı azalmaktadır. AZ91, basınçlı dökümde kullanılan en önemli Mg alaşımıdır. AZ91 basınçlı döküm numunelerinin çekme özellikleri kokil ve kum döküme göre daha iyidir.

3.4. YARI-KATI DÖKÜM YÖNTEMİ

Mg alaşımlarının kullanımı, esas olarak döküm teknolojisine ve yarı-katı şekillendirmeye bağlıdır. Otomobil üreticileri, otomotiv saclarının yapımında çelik ve Al yerine yarı-katı üretilmiş Mg alaşımlarının uygunluğu üzerine çalışmalar yapmaktadır [39]. Alaşım sıvı durumdan soğutulur ve sıvı-katı sıcaklıkları arasındaki bir sıcaklıkta tutularak bir karıştırma hareketi uygulanırsa, normal dendritik büyüme durdurulur ve burada kaba, küresel, farklı dendrit parçacıkları oluşur. Şekil 3.2’de yarı-katı durum şematik olarak, Şekil 3.3’de yarı-katı döküm yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Yarı-katı sıcaklık ve durumu (1) katı, (2) sıvı [1].



Şekil 3.3. Yarı-katı döküm yöntemi [11].

Yarı-katı yöntemlerle üretilmiş bir alaşımda iyi mekanik özelliklerin yanında düşük gözenek miktarı elde edilir. Mg alaşımlarının yarı-katı yöntemiyle yüksek kaliteli, ince taneli ürünler, basınçlı döküme nazaran daha ucuz bir şekilde üretilir. Buradaki esas amaç HSP yapıya sahip Mg ana matrisini küresel hale getirip nispeten şekillenebilen Mg-x fazı ile çevrelendirip tok bir malzeme elde etmektir [1,39].

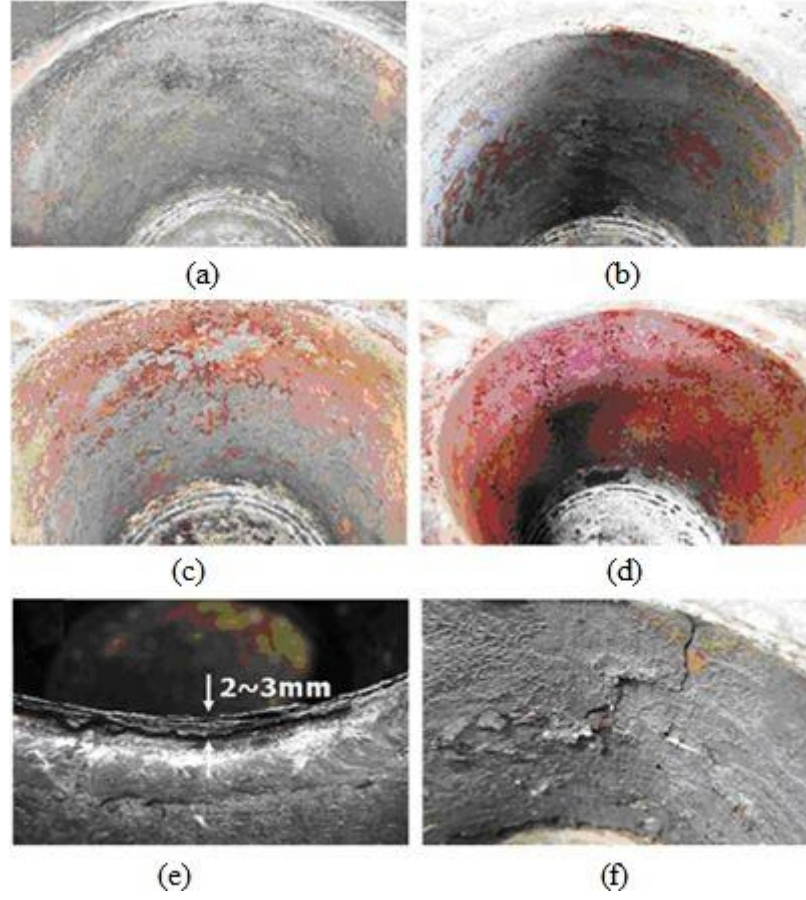
3.5. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ ERGİTİLMESİ VE DÖKÜMÜ

Önlem alınmazsa Mg oksitlenmeye meyillidir. Ergimiş Mg alaşımları Al'dan farklı olarak davranır. Ergiyik üzerinde oksijen geçirgen ince bir film oluşturur ve oksitlenme artar. Bu oluşum oksijenin içeriye girmesini ve oksit tabakası altında yanmanın oluşmasına sebep olur. Oksitlenmenin önlenmesi için ergimiş metalin

korunmasında ve dökümünde koruyucu gazlar kullanılır. Mg alaşımının ergitilmesinde ve dökümünde koruyucu olarak kullanılan gazların (Ar, SF₆, N ve HFC-134a) etkileri araştırmacıların ilgisini çekmektedir [40]. Döküm malzemesi içindeki curuf kalıntıları korozyon dayanımını düşürmektedir. Günümüzde SF₆ içeren gaz karışımları sıvı Mg'yi korumak için daha sık kullanılmaktadır. Tipik koruyucu gaz karışımı için aşağıda üç örnek verilmiştir [1,41].

- 1) AZ91 650-725 °C → Hava+%2 SF₆
- 2) AZ91 650-725 °C → %75 Hava+%25 CO₂+%0,2 SF₆
- 3) AZ91 650-725 °C → %50 Hava+%50 CO₂+%0,3 SF₆

SF₆ %5'in üstündeki konsantrasyonlar da kullanıldığında Mg için çok iyi bir koruyucu olmakta, ancak çelik kalıplarla ve pota ile reaksiyona girmektedir. Mg alaşımlarına çok az miktarda berilyum ilavesi alaşımın yanmasını engelleyici ekisi vardır [1]. Alaşımların ergitilmesinde özel olarak dizayn edilip hazırlanmış ergitme ocakları kullanılmaktadır. Bu ocaklarda Mg alaşımları atmosfer ortamından tamamen uzak ve koruyucu gaz altında ergitmeler yapılmıştır. Şekil 3.4'de 6,5 saat 720 °C'de gaz atmosferine maruz kalmış potaların içi görülmektedir. SO₂ ve SF₆ gaz karışımlarındaki potalarda önemli değişiklikler yoktur. Kullanılan çelik potanın yüzeyi hafif şekilde zarar görmüştür. Fakat HFC-134a gaz karışımına maruz kalan pota ciddi şekilde zarara uğramıştır. 2-3 mm kalınlığında olan oksit tabakalar kabarmış ve soyulmuştur [40].



Şekil 3.4. Kullanılan gaz karışımlarına göre çelik potanın durumu a) Potanın ilk hali, b) 720 °C’de, 5 saat atmosfer ortamında, c) 720 °C’de, 5 saat SF₆ gaz ortamında, d) 720 °C’de, 5 saat %0,3 SO₂/hava gaz ortamında, e) ve f) 720 °C’de, 5 saat %0,3 HFC-134a gaz ortamında [40].

Şekil 3.5’de Mg alaşımlarında döküm yapılırken Atmosfer ortamı ve SF₆ gazı kullanımı görülmektedir.



Şekil 3.5. Mg alaşımı dökümlerinde gaz kullanımı a) atmosfer ortamı, b) SF₆ [40].

3.6. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de, fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Mg alaşımlarının oda sıcaklığında mekanik özellikleri (basınçlı döküm) [13,42].

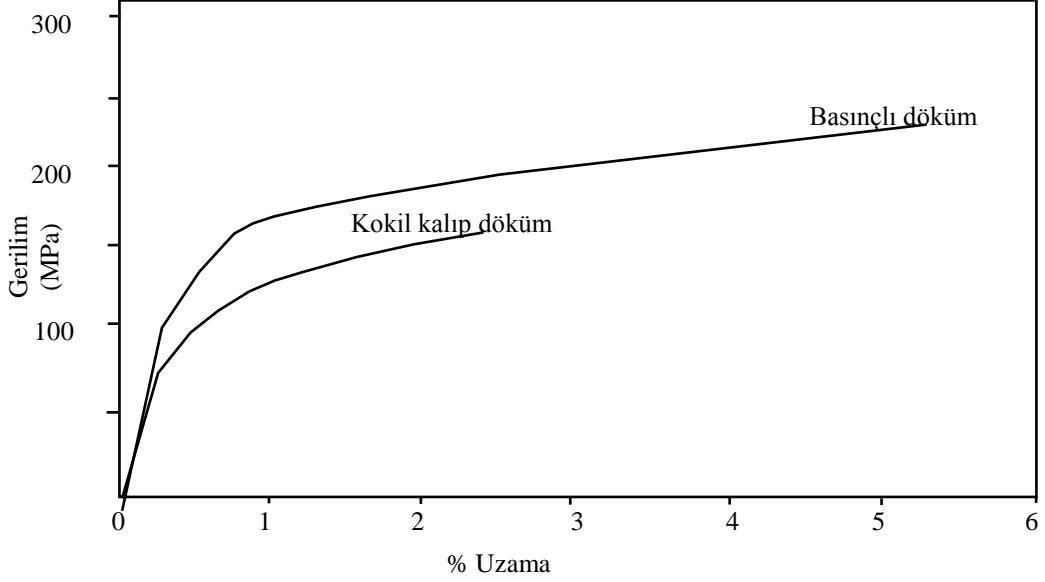
Özellik	Birim	Mg alaşımları						
		AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Max.Gerilme	MPa	230	247	237	206	240	230	237
Akma Dayanımı	MPa	148	123	116	94	130	120	130
Kopma Uzaması	%	6	12	14	16	10	12	13
Elastik Modül	GPa	45	45	45	45	45	45	45
Brinell Sertlik	BSD	70	65	60	45	60	55	60
Darbe Dayanımı	J	6	17	18	18	4	5	5

Çizelge 3.2. Mg alaşımlarının oda sıcaklığında fiziksel özellikleri (basınçlı döküm) [13,42].

Özellik	Birim	Sıcaklık °C	Mg alaşımları						
			AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Yoğunluk	g/cm ³	20	1,81	1,80	1,77	1,75	1,77	1,76	1,79
Ergime derecesi	°C	-	598	615	638	638	617	632	625
Isı iletim kats.	µm/mK	20-100	26	26	26	26	26,1	26,1	26,1
Isı iletkenliği	W/Km	20	51	61	65	94	68	84	84
Elektrik iletkenli.	MS/m	20	6,6	-	9,1	13,1	-	10,8	11,7

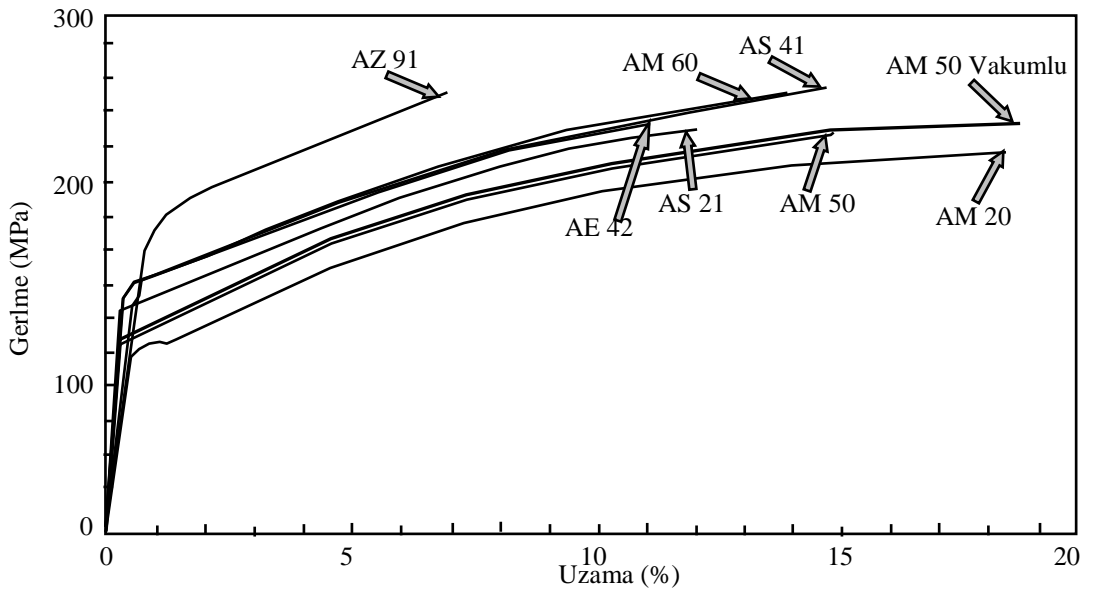
Çekme özelliklerinden genellikle, maksimum çekme dayanımı, uzama ve elastik modülü gibi bilgiler malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir. Şekil 3.6’da kokil kalıp döküm ve basınçlı döküm için tipik bir gerilme - gerinim test eğrileri verilmiştir. Bu verilen iki eğri, sınırlı bir elastik deformasyonu göstermektedir. Özellikle eğri, kokil döküm numuneleri için uygundur. Bu durum

dentritler arası kollar ve tane sınırları boyunca yayılan çekme gözeneklerden kaynaklanmakta ve gözenekler tane sınırlarının dayanımını zayıflatmaktadır [9].



Şekil 3.6. AZ91'in basınçlı ve kokil dökümünün gerilim-uzama diyagramı [9].

Genellikle, Mg alaşımları belli bir akma göstermezler ve akma dayanımları bazen % 0,2 uzamaya karşı gelen dayanım olarak alınır. Mg alaşımlarında tane boyutunun küçülmesiyle akma dayanımı artmaktadır [43]. Bazı Mg basınçlı döküm alaşımlarının gerilim-uzama diyagramı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Mg alaşımlarının gerilim-uzama eğrileri (basınçlı döküm) [9,13,15].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. MALZEME

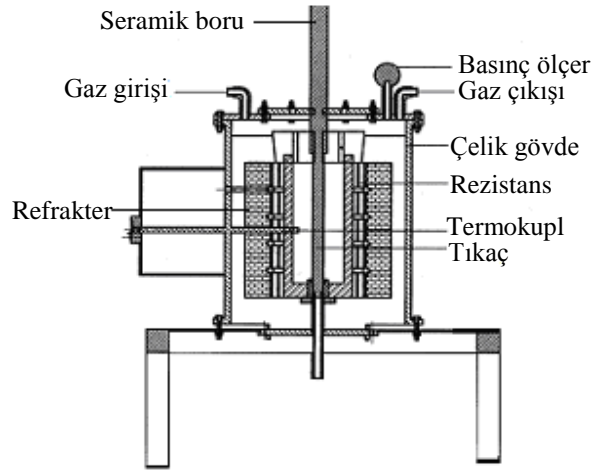
AM60 magnezyum alaşımının hazırlanmasında % 99,8 saflıkta Mg ve Al kullanıldı. AM60 alaşımına Cd ve Bi elementlerin ilavesi ile ön alaşımlar hazırlandı. Hazırlanan ön alaşımlar, ikinci bir ergitme yapılarak dökümler gerçekleştirildi. Deneysel çalışmalarda kullanılan AM60 Mg alaşımı ve ilave edilen alaşım elementlerinin % miktarları ile birlikte Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyleerde kullanılan alaşımların analiz sonuçları.

Alaşım	% Element miktarları						
	Al	Mn	Zn	Cd	Bi	Diğer	Mg
AM60	6.1	0.24	0.04	-	-	0.021	Kalan
AM60 + 0.2 Cd	6.0	0.24	0.06	0.21	-	0.019	Kalan
AM60 + 0.5 Cd	6.15	0.23	0.05	0.52	-	0.020	Kalan
AM60 + 1 Cd	5.9	0.21	0.08	1,05	-	0.019	Kalan
AM60 + 0.2 Bi	6.2	0.24	0.04	-	0.22	0.022	Kalan
AM60 + 0.5 Bi	6.1	0.22	0.03	-	0.51	0.018	Kalan
AM60 + 1 Bi	6.0	0.23	0.07	-	1,02	0.019	Kalan

4.2. ATMOSFER KONTROLLÜ ERGİTME ÜNİTESİ

Magnezyum alaşımlarının ergitiminde ve dökümünde Şekil 4.1’de görülen atmosfer kontrollü elektrikli direnç ocağı kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Deneylerde kullanılan atmosfer kontrollü ergitme ünitesi kesit şekli.

Ergitme ocağı, dış gövdesi 340 mm çapında çelik malzemeden yapılmış ve iç kısmı 170 mm çapında refrakter tuğla ile kaplanmıştır. Tuğla ile çelik gövde arasında ısı yalıtımı için dolgu malzemesi kullanılmıştır. Ocak içi sıcaklığını ölçmek için ısılıçift, ocak üst kapağına sızdırmazlık sağlamak için ise dairesel (“O” ring) conta yerleştirilmiştir. Yapılan ocak bir tezgah üzerine monte edilmiştir.

4.3. ERGİTME VE ALAŞIMLAMA PRATİĞİ

Magnezyum ve alaşımlarının ergitilmesi, ocağın içine yerleştirilen 3 kg Mg ergitme kapasiteli paslanmaz çelik potada yapılmıştır. Ergitme işlemi süresinde ocak içine koruyucu gaz verilerek atmosfer ile teması kesilmiştir. Ergitme tamamlandıktan sonra kalıba döküm işlemi, ocaktaki açma-kapama kol yardımı ile yapılmıştır.

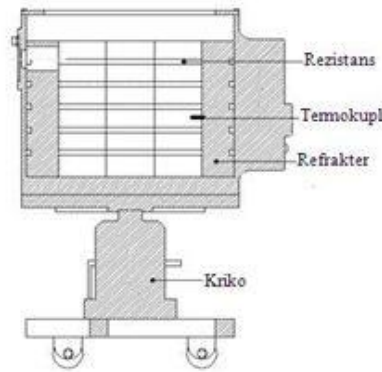
Ergitme işleminde kullanılan paslanmaz çelik potanın tabanına, açma kapama kolu ile kontrol edilebilen ve sıvı metalin akacağı 15 mm çapında delikli sistem yapılmıştır. Kullanılan Paslanmaz çelik pota Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Ergitme işleminde kullanılan çelik pota resmi.

Ocak ve metal sıcaklığı 750°C olarak seçilmiştir. Ocak istenilen sıcaklığa çıktıktan sonra yaklaşık 20 dakika bekletilerek alaşımın döküm sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Ocak ve metal sıcaklığı daha önce yapılan çalışmalarda kalibrasyonu yapılmıştır [44]. Alaşım döküm sıcaklığına ulaştıktan sonra, ergitme ocağı açma kapama kolu vasıtası ile kontrollü olarak ergitme potasının tabanı açılarak sıvı metalin kalıba akması sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan kalıp sıcaklığı 250°C olarak seçildi [44]. Döküm işlemi kalıba gaz verilerek yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan kalıbı istenilen sıcaklığa çıkarmak için, sıcaklığı 300°C 'e çıkabilen kalıp ısıtma fırını kullanılmıştır. Kalıp ısıtma fırını, tekerlekli kriko sisteminin üzerine yerleştirilip, ergitme ocağının altına sürülerek fırın içindeki kalıba döküm yapılmıştır. Kullanılan fırın kesiti resmi Şekil 4.3'de görülmektedir.

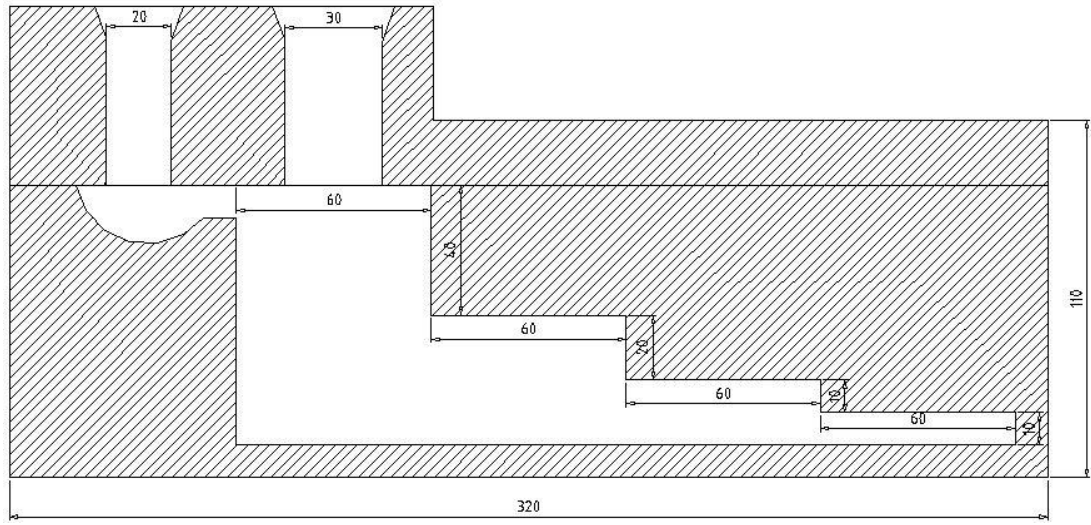


Şekil 4.3. Kalıp ısıtma fırını kesit şekli.

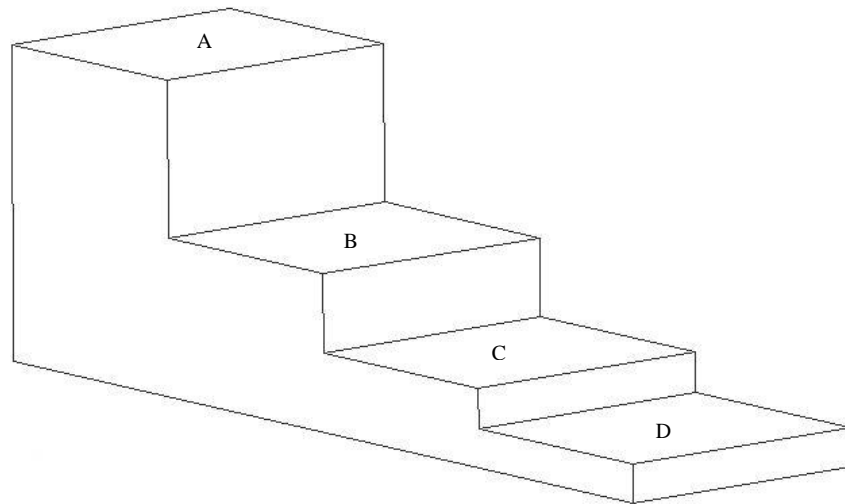
Deneyleerde daha 6nce [44] doktora çalışmasında uygulanan ocak ve kalıp atmosfer ortamları seçilmiştir. Buna g6re ocak ortamında % 99.9 saflıkta argon gazı, kalıp ortamında ise $CO_2 + \%0,8 SF_6$ gazı kullanılmıştır.

4.4. KALIP UYGULAMASI

Deneysel çalışmalarda $250\text{ }^{\circ}C$ dereceye ısıtılan ve Şekil 4.4'de a) kesit resmi ve b) perspektif resmi verilen kademeli kalıp kullanılmıştır.



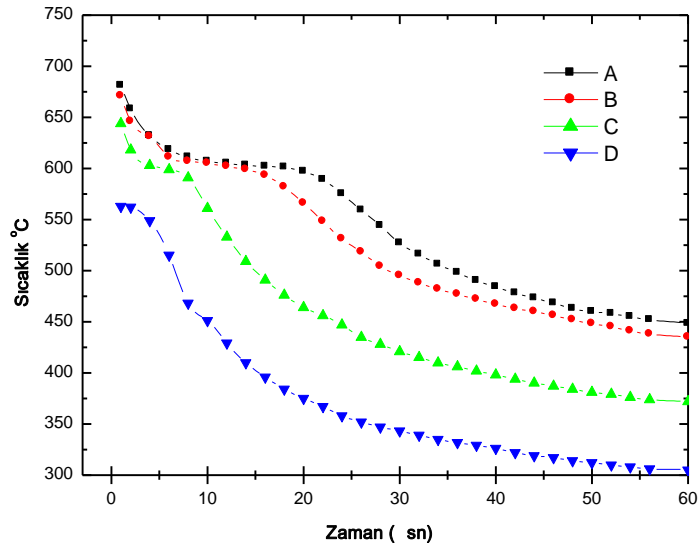
(a)



(b)

Şekil 4.4. Kademeli metal kalıp resmi a) Kesit resmi, b) Perspektif resmi.

Metal kalıba dökülen AM60 alaşımının soğuma diyagramı incelendiğinde (Şekil 4.5) A ve B bölgesi olan kalın kesitlerdeki soğuma eğrilerinin birbirine yakın bir benzerlik gösterdiği görülmektedir. C ve D bölgeleri ise kalıbın ince kesitli olan bölgeleri olduğundan soğumanın daha hızlı olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Fakat döküm, kalıbın kalın kesitli tarafından yapıldığı için sıvı metal ince kesitlere ulaşmaya kadar sıcaklığında düşme olduğundan, bu bölgelerdeki yarı katı bölgeler diyagramda gözlenememiştir.

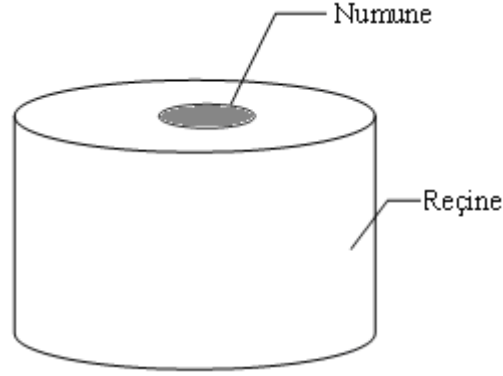


Şekil 4.5. AM60 döküm alaşımının farklı bölgelerinden ölçülen zamana bağlı sıcaklık değişimi.

4.5. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

Dökümü yapılan alaşımların mikroyapı numuneleri kalıbın farklı kesit merkezlerinden 10x10x10 mm boyutlarında çıkartılarak bakalite alınmıştır. Metalografik incelemeleri yapılmak üzere numunelerin yüzeyleri sırası ile 320, 400, 600 ve 800 mesh zımparalar ile saf su kullanılarak zımparalama ve 1µm alümina pasta kullanılarak polisaj keçesinde parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra numunelerin yüzeyi saf su ve alkol ile yıkanıp kurutulmuştur. Numuneler %75 etilen glikol, %24 saf su, %1 HNO₃ solüsyonu ile dağlanmıştır. Mikroyapı çalışmalarında farklı alaşımların mikroyapı resimleri farklı hızlarda soğuyan bölgelerden alınan numunelerden 20x büyütme ile Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Laboratuvarındaki Nikon Epiphot marka mikroskopta

çekilmiştir. SEM çalışmaları ise İngiltere Leicester Üniversitesi laboratuvarlarında yapılmıştır. Şekil 4.5’de bakalite alınmış mikroyapı ve sertlik numunesi görülmektedir.

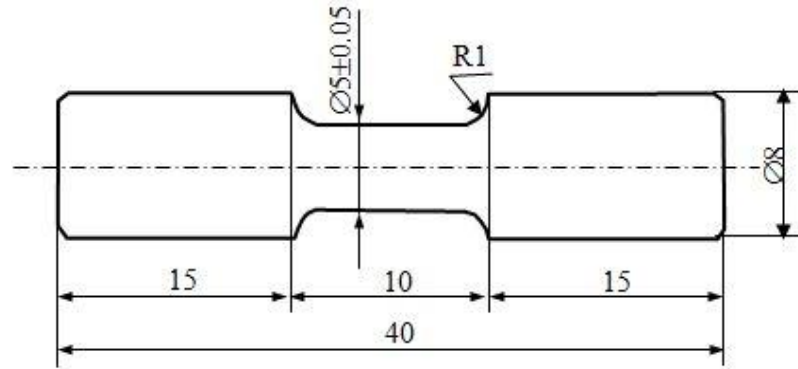


Şekil 4.6. Mikroyapı ve sertlik numunesi.

4.6. MEKANİK DENEYLER

4.6.1. Çekme Deneyi

Şekil 4.4’de görülen metal kalıbın her bir bölgesinden 4’er adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Çekme deneyleri Karabük Üniversitesi malzeme laboratuvarındaki SHIMADZU marka 5 ton çekme kapasitesine ayarlanabilen çekme cihazında ve 0,5 mm/dk çekme hızında yapılmıştır. Şekil 4.6’da hazırlanan çekme numunesinin şekli ve ölçüsü görülmektedir.



Şekil 4.7. Çekme deney numunesi (ASTM E 8M-99).

4.6.2. Sertlik Deneyi

Sertlik deneyi numuneleri (Şekil 4.5) döküm bölgelerinin merkezlerinden 10x10x10 mm boyutlarında çıkartılmış ve yüzeyleri zımparalanarak parlatılmıştır. Sertlik deneylerinde Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Laboratuvarındaki FV-700 model FUTURE-TEHCOPP marka dijital VICKERS sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. 1 mm çaplı elmas kare piramit uç ve 5 N yük uygulanmış ve Vickers cinsinden sertlik değerleri elde edilmiştir. Numunelere sertlik deneyi uygulanırken numunenin ölçüm yapılabilecek en dış noktasından merkezine kadar eşit aralıklar da 5 farklı nokta belirlenmiş ve belirlenen bu noktalardan sertlik ölçümü yapıp değerlerin ortalamaları alınmıştır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. MİKROYAPI SONUÇLARI

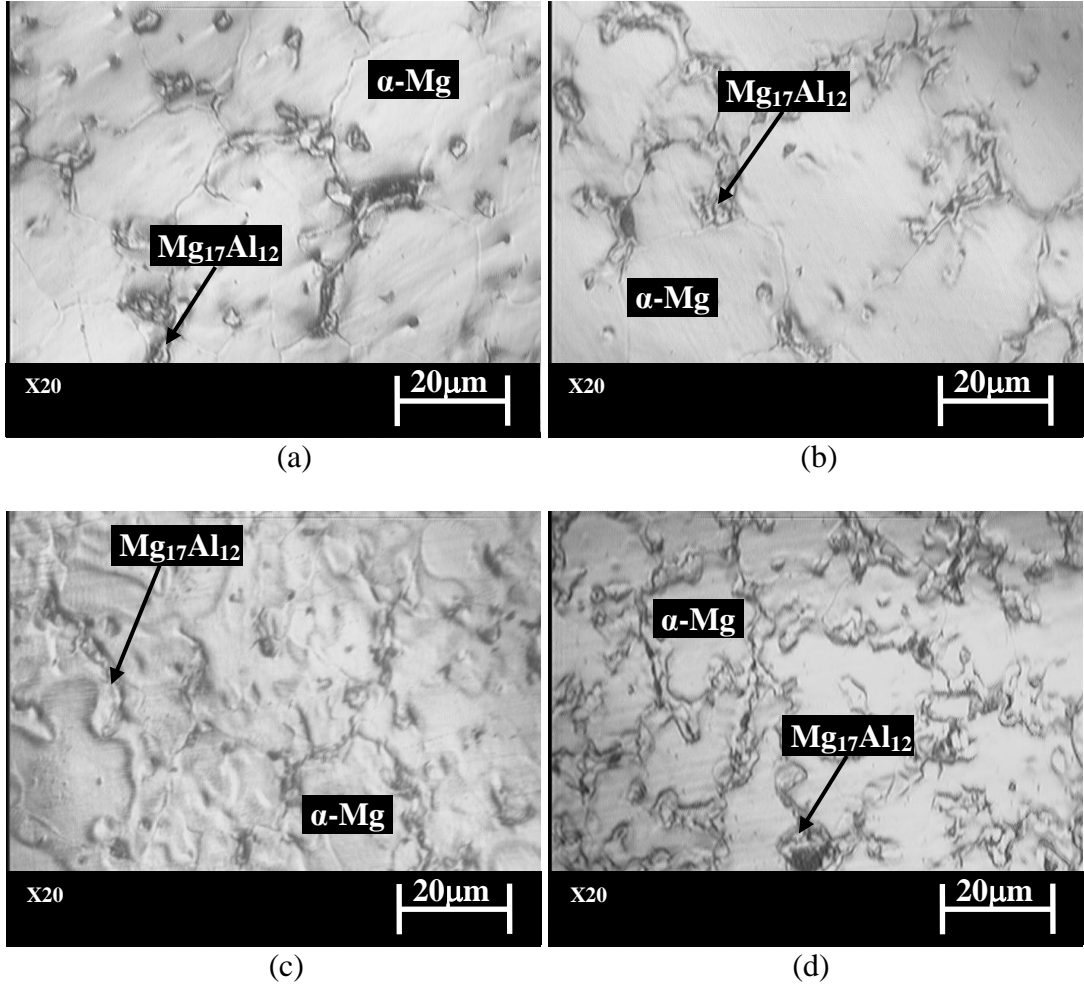
AM60 alaşımları mikroyapı incelemeleri için dört kademedan oluşan metal kalıp kullanılmıştır (Bkz. Şekil 4.4). AM60 ve AM60'a ilave edilen Cd ve Bi elementlerinin farklı soğuma hızlarına göre elde edilen mikroyapı sonuçları iki farklı gözlem tekniği ile belirlenmiştir ve aşağıda iki alt bölümde verilmiştir. Bu gözlem teknikleri optik mikroskop (OM) ve elektron mikroskobu (SEM) şeklindedir.

Optik sonuçlar metal kalıbın her kademesinden (A, B, C, D) ve her bileşim için (%0,2 - %0,5 ve %1) alınmıştır. SEM sonuçları ise metal kalıbın iki kademesinden (A, D) ve iki bileşim için (%0,2 ve %1) alınmıştır. Ayrıca SEM çalışmalarından EDS analizleride yapılmıştır.

5.1.1. Optik Mikroskop (OM) Sonuçları

5.1.1.1. AM60 Mikroyapı Sonuçları

AM60 alaşımının mikroyapı görüntüsü Şekil 5.1’de verilmiştir.

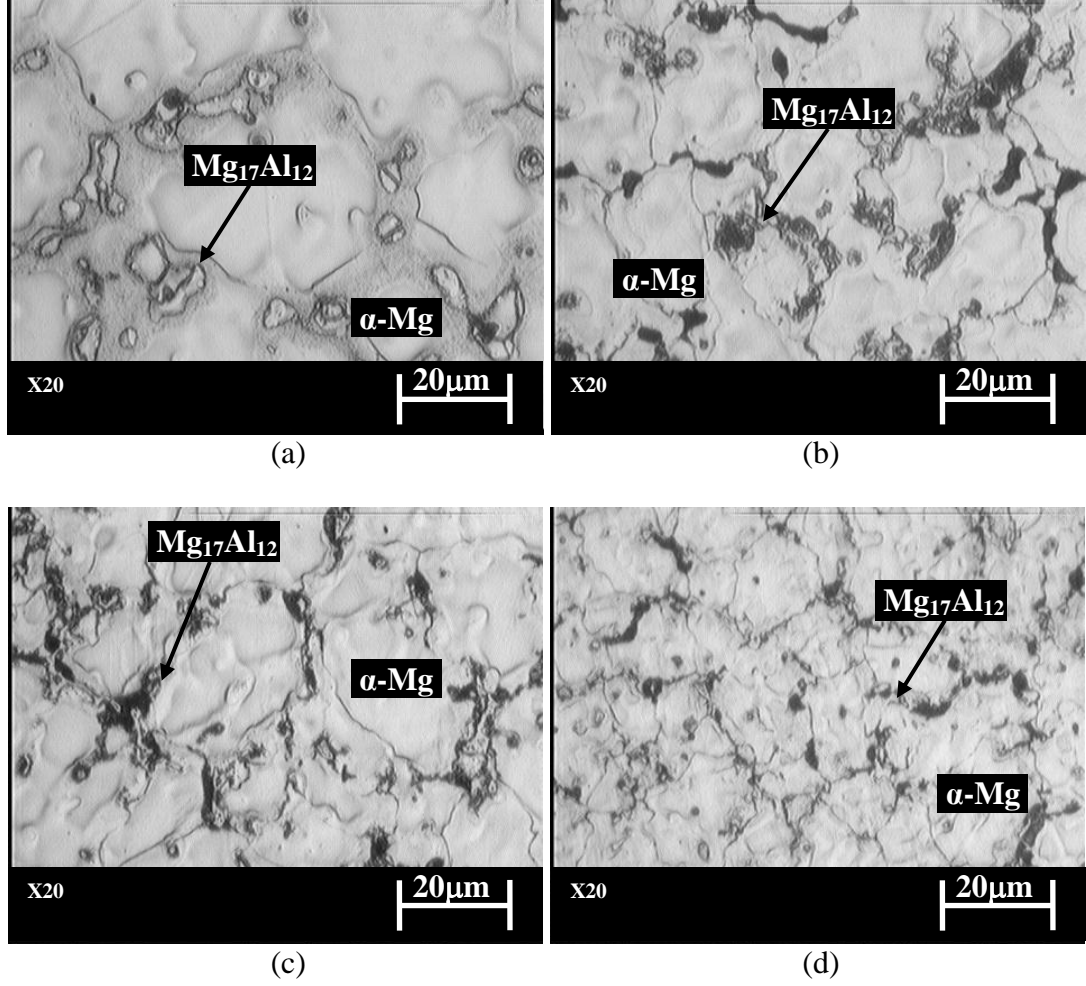


Şekil 5.1. AM60 alaşımının mikroyapı görüntüsü a) A kademesi, b) B kademesi, c) C kademesi, d) D kademesi.

AM60 alaşımının mikroyapısında α -Mg fazı yer alırken $Mg_{17}Al_{12}$ fazının tane sınırları boyunca oluştuğu görülmektedir. Hızlı katılaşma kademelerinde ince taneli yapıların, yavaş soğuma kademelerinde ise daha kaba taneli yapıların oluştuğu görülmektedir.

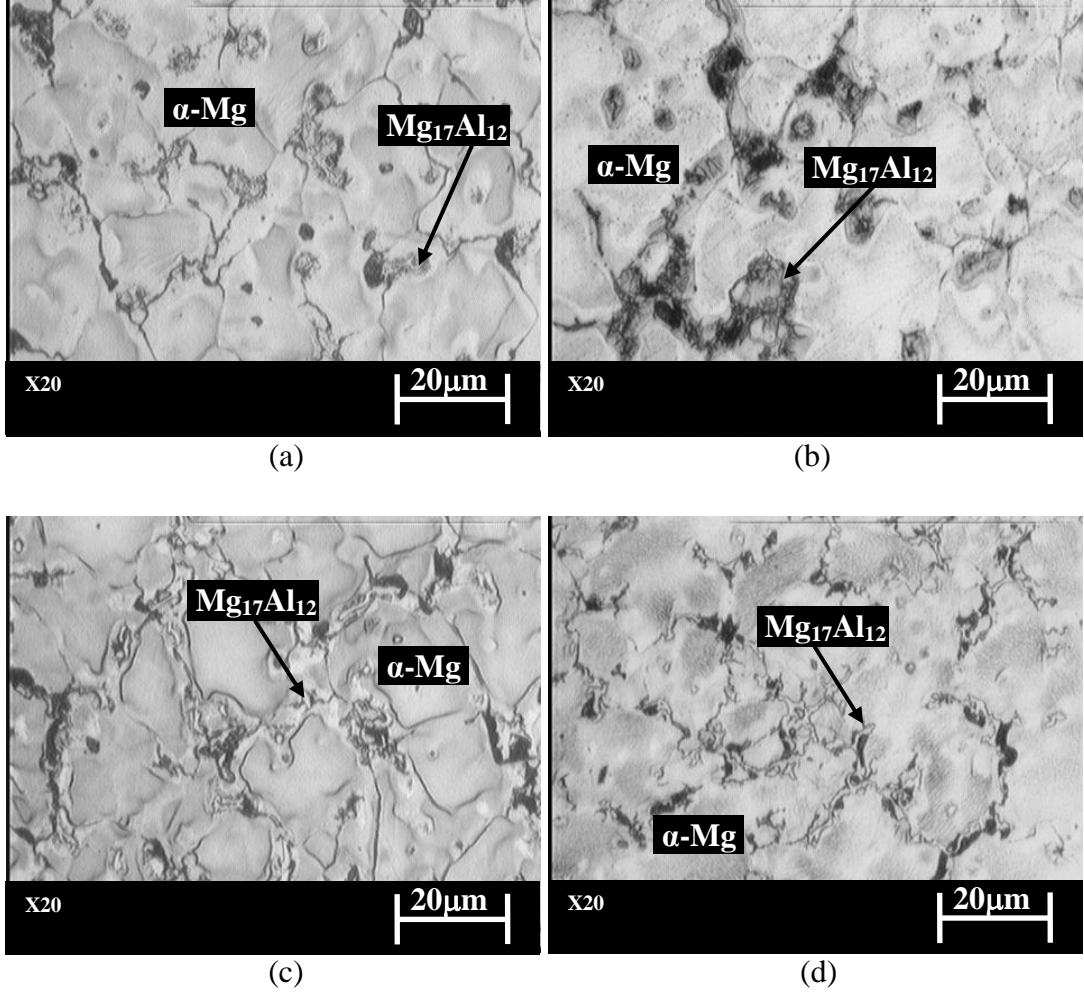
5.1.1.2. AM60'a Cd İlavesinin Mikroyapı Sonuçları

AM60'a farklı oranlarda (%0,2 - %0,5 ve %1) ilave edilen Cd alaşımının farklı kademelerinden alınan mikroyapı görüntüleri Şekil 5.2-5.4'de sırasıyla verilmiştir.



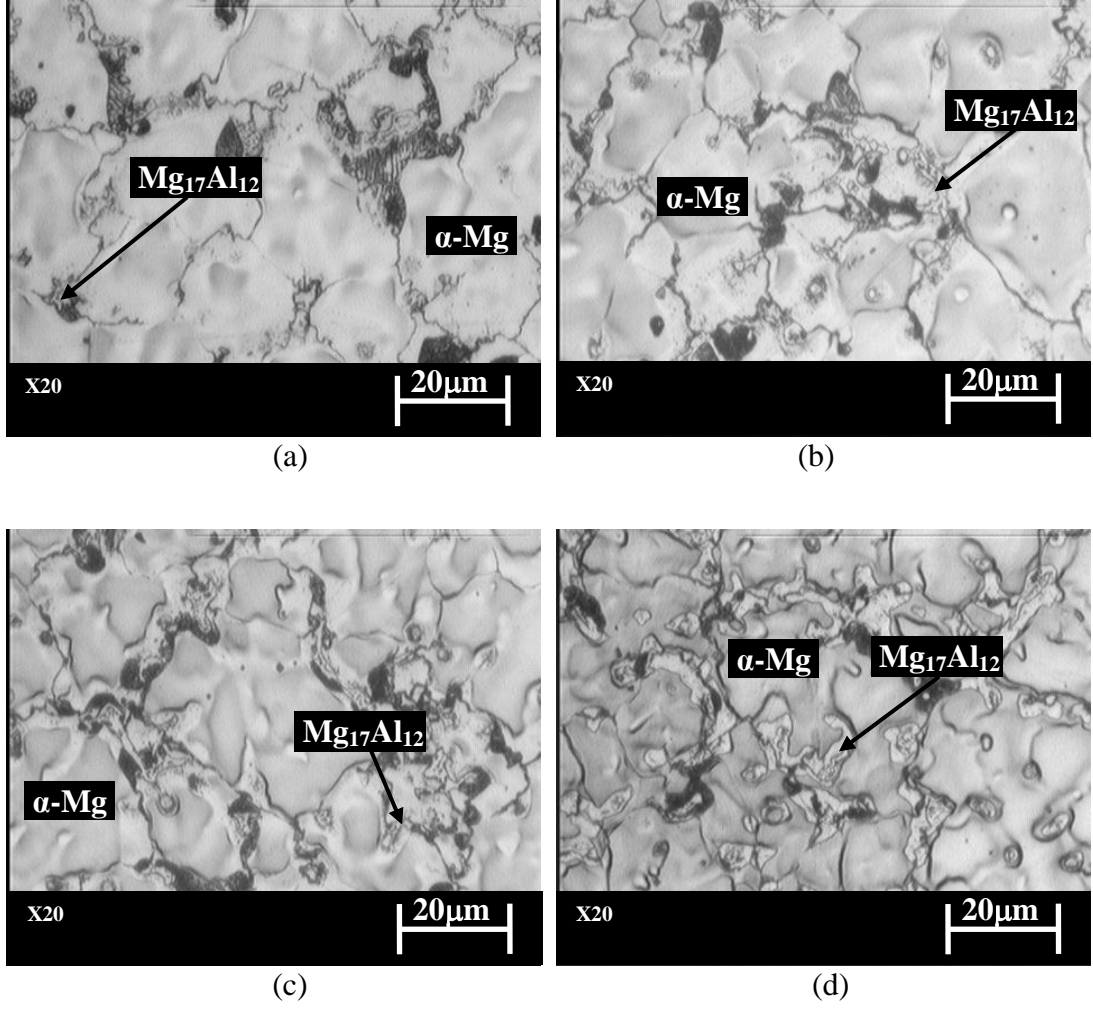
Şekil 5.2. AM60+%0,2 Cd alaşımının mikroyapı görüntüdü a) A kademesi, b) B kademesi, c) C kademesi, d) D kademesi.

AM60'a %0,2 Cd ilavesi ile oluşan Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazları hızlı soğumanın etkisi ile (Şekil 5.2-d) tane sınırlarında düzenli şekilde dağılarak ince taneli yapı oluşturmuştur.



Şekil 5.3. AM60+%0,5 Cd alaşımının mikroyapı görüntüsü a) A kademesi, b) B kademesi, c) C kademesi, d) D kademesi.

AM60 alaşımına %0,5 Cd ilavesi ile yavaş soğuyan kademelerin daha düzensiz bir yapı ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir. Yavaş soğuyan kademelerde ise kaba tane yapısı ortaya çıkmıştır. Cd'nin oluşturduğu intermetalik fazlar ise Mg fazı içinde adacıklar şeklinde oluşmuştur.

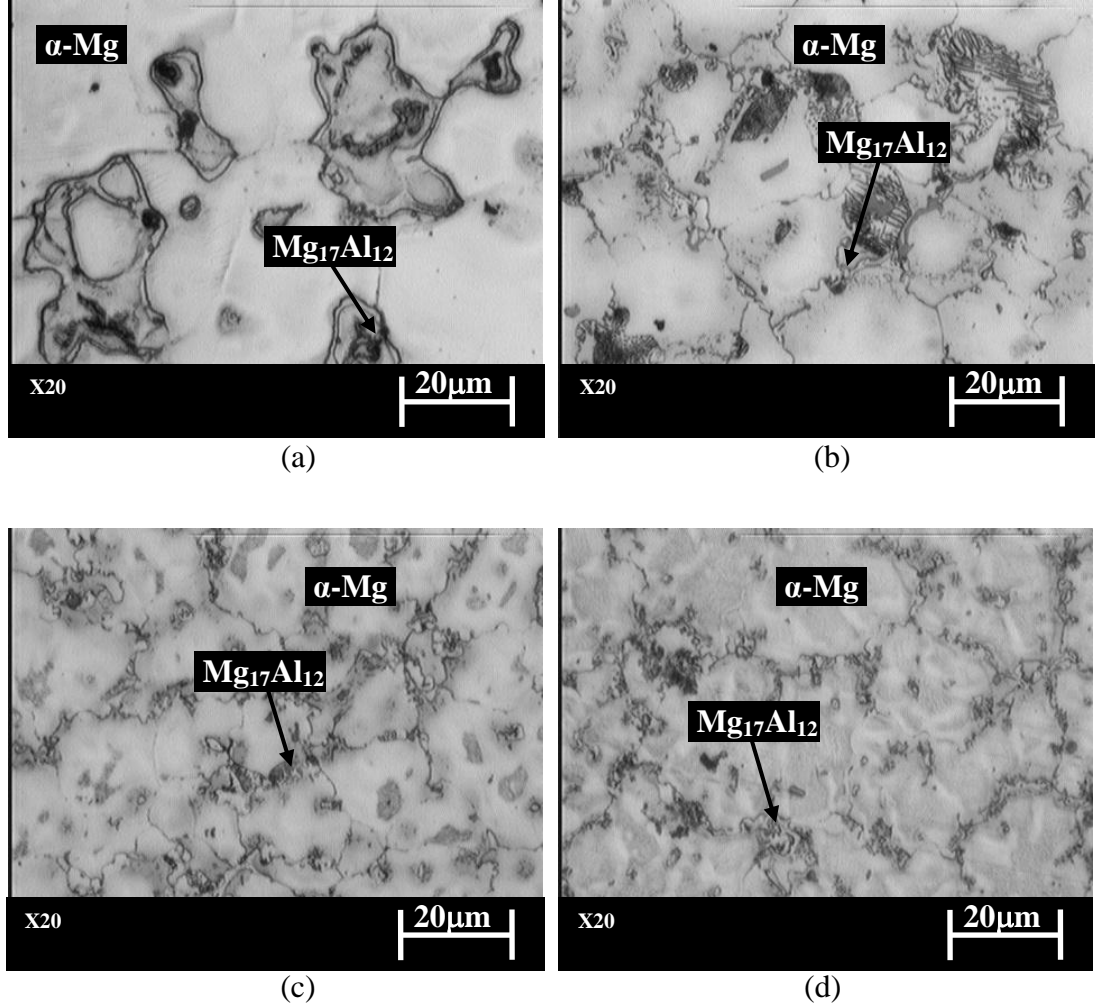


Şekil 5.4. AM60+%1 Cd alaşımının mikroyapı görüntüsü a) A kademesi, b) B kademesi, c) C kademesi, d) D kademesi.

AM60'a %1 Cd ilavesi ile alaşımın hızlı soğuyan kademelerinde Cd elementinin meydana getirdiği intermetalik faz tam olarak dağılmamış ve tane sınırlarında Mg₁₇Al₁₂ ile beraber toplanmıştır. Mg₁₇Al₁₂ fazları %1 Cd ilavesi ile kabalaşarak tane sınırlarında bulunmuştur.

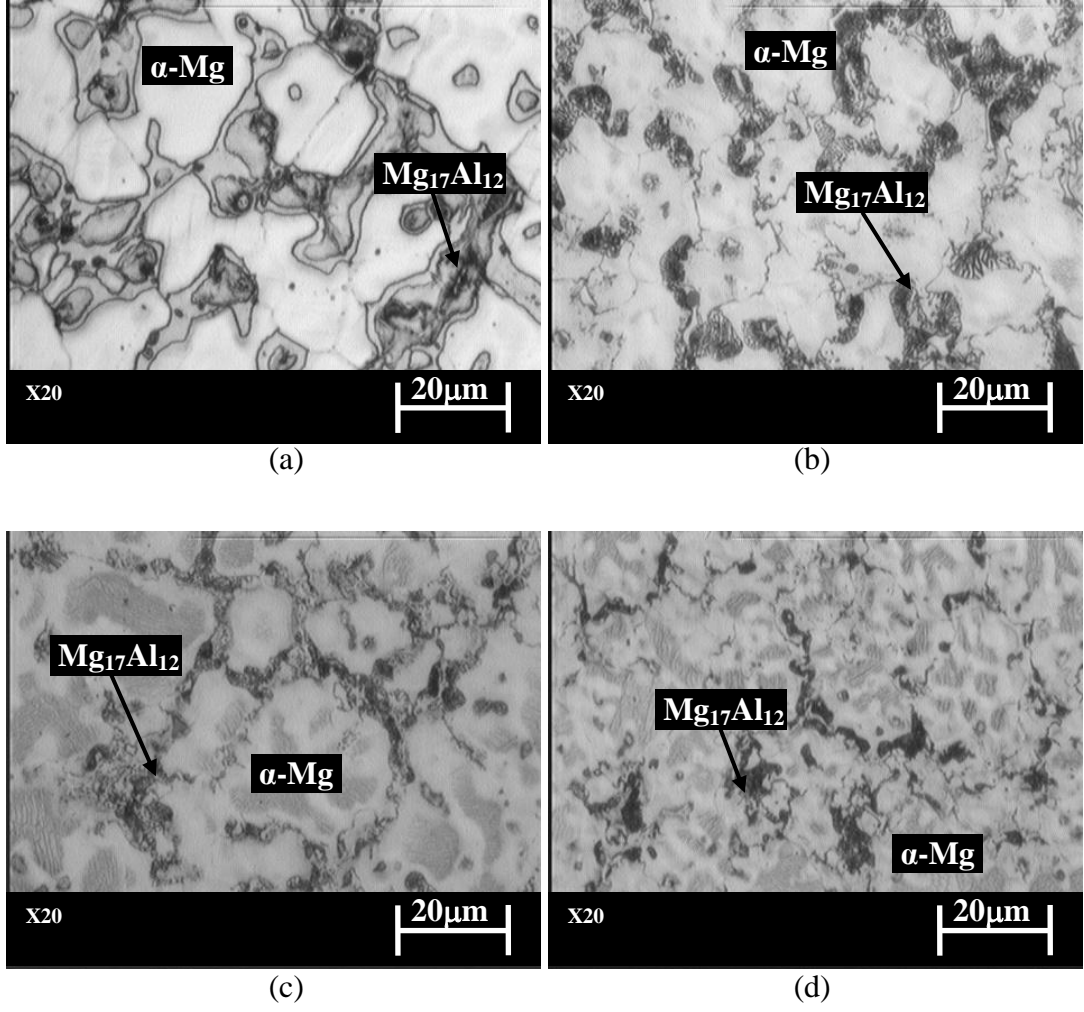
5.1.1.3. AM60'a Bi İlavesinin Mikroyapı Sonuçları

AM60'a farklı oranlarda (%0,2 - %0,5 ve %1) ilave edilen Bi alaşımının farklı kademelerinden alınan mikroyapı görüntüleri Şekil 5.5-5.7'de sırasıyla verilmiştir.



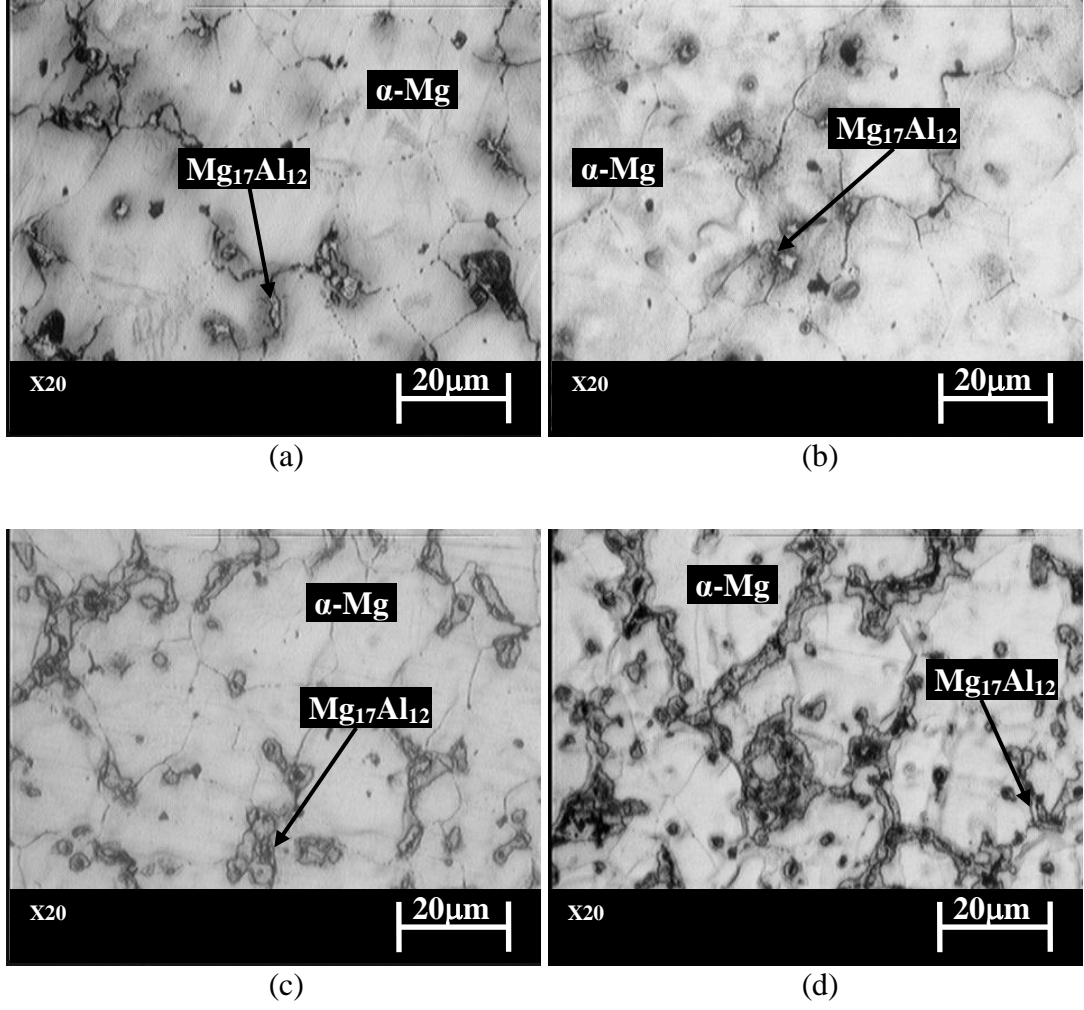
Şekil 5.5. AM60+%0,2 Bi alaşımının mikroyapı görüntüsü a) A kademesi, b) B kademesi, c) C kademesi, d) D kademesi.

AM60'a %0,2 Bi ilavesiyle mikroyapıda belirgin bir değişim gözlenmekle birlikte tane sınırlarında oluşan fazlar parçalanarak daha kaba bir şekilde görülmektedir. Soğuma hızı ile tanelerde gözle görülür değişimler meydana gelmiştir. Yavaş soğuyan A kademesinde tanelerin daha kaba, hızlı soğuyan D kademesinde ise tanelerin daha ince olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.6. AM60+%0,5 Bi alaşımının mikroyapı görüntüsü a) A kademesi, b) B kademesi, c) C kademesi, d) D kademesi.

AM60' a ilave edilen %0,5 Bi ile tane sınırlarındaki fazlarda değişim görülmektedir. Bi miktarının artması ile Mg_3Bi_2 fazı oluşturma eğilimi gözlemlenmiştir.



Şekil 5.7. AM60+%1 Bi alaşımının mikroyapı görüntüsü a) A kademesi, b) B kademesi, c) C kademesi, d) D kademesi.

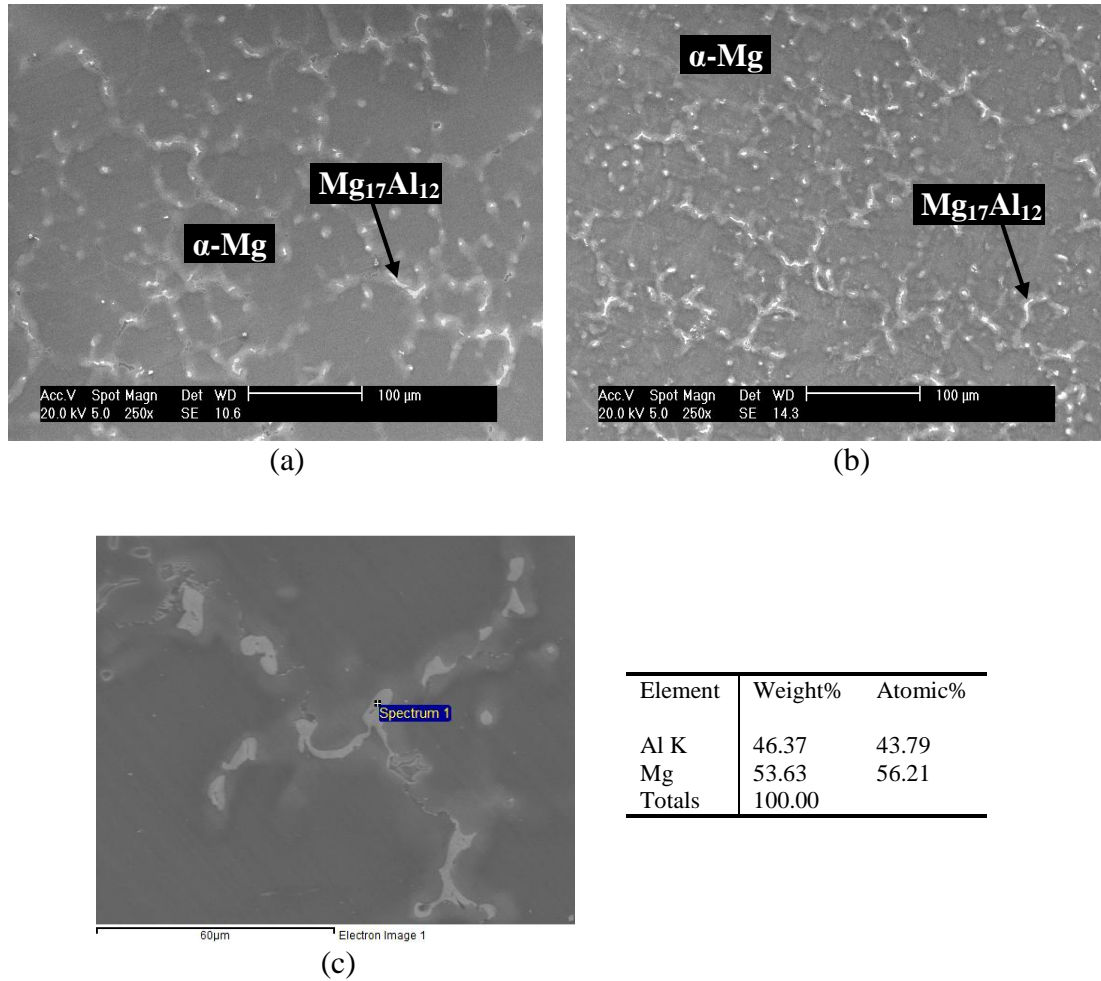
AM60'a ilave edilen %1 Bi ile mikroyapıda β intermetalik fazının daha belirgin olduğu görülmektedir. Soğuma hızının artması ile ince taneli yapı oluşmaktadır ve intermetalik fazlar tane sınırlarında dağılmıştır.

5.1.2. Elektron Mikroskop (SEM) ve EDS Analiz Sonuçları

AM60 alaşımları SEM görüntüleri için Şekil 4.4’de görülen dört kademedeki metal kalıbın katılma hızı yavaş olan A kademesinde ve katılma hızı fazla olan D kademesinden alınan numunelerin SEM görüntüleri incelenmiştir. AM60 ve AM60’a ilave edilen %0,2 - %1 Cd ve Bi elementlerin oluşturduğu dökümlerin iki farklı kademesinden (A-D) alınan numunelerin SEM görüntüleri ve EDS analiz sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

5.1.2.1. AM60 Alaşımının SEM ve EDS Analiz Sonuçları

AM60 alaşımının SEM ve EDS analiz görüntüleri Şekil 5.8’de verilmiştir.

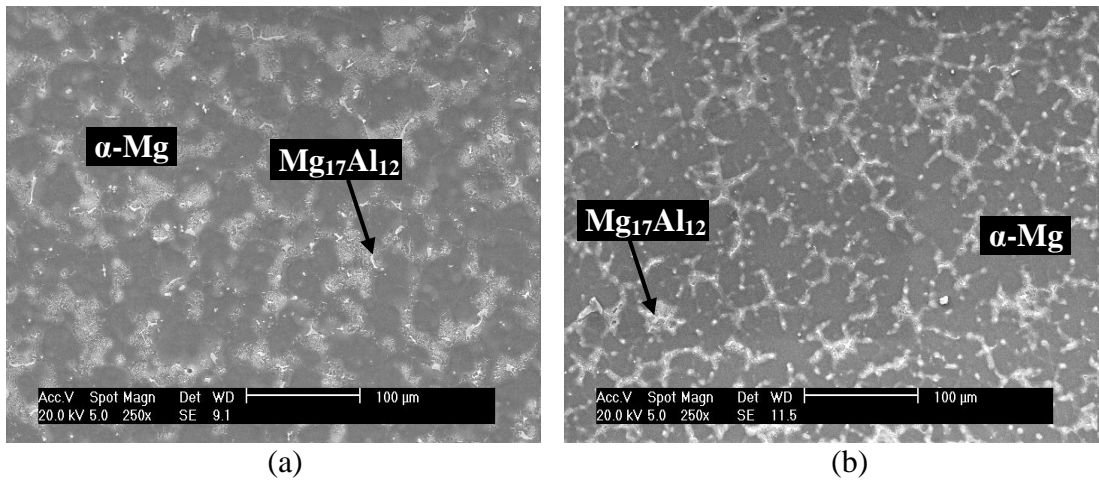


Şekil 5.8. AM60 alaşımının kademe kalınlığına bağlı SEM ve EDS analiz görüntüleri a) A kademesi, b) D kademesi, c) EDS analizi (A kademesi).

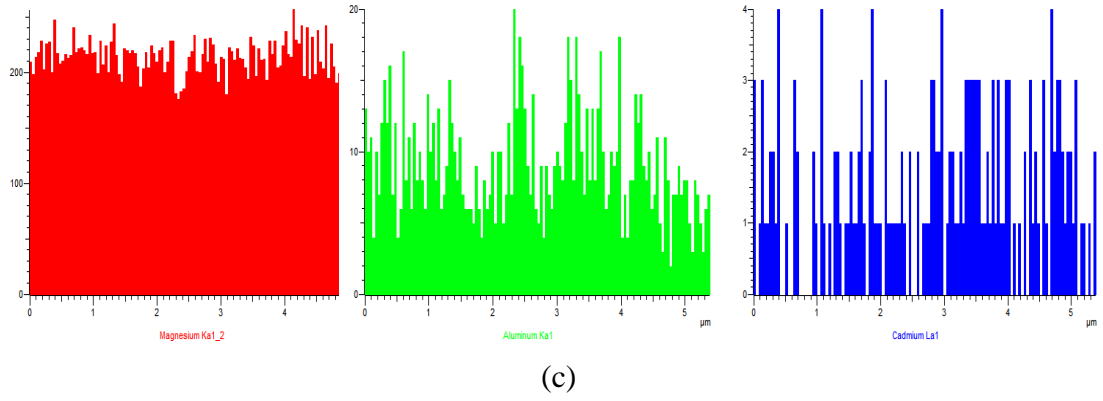
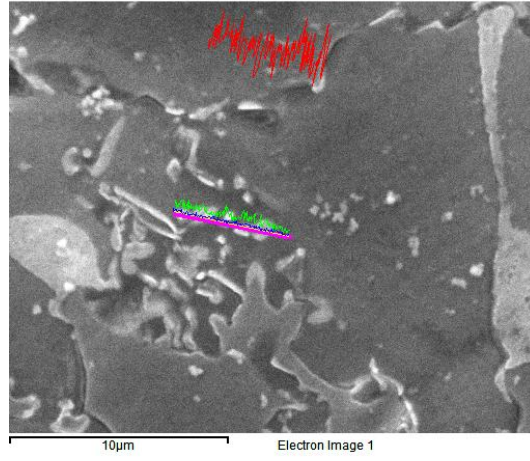
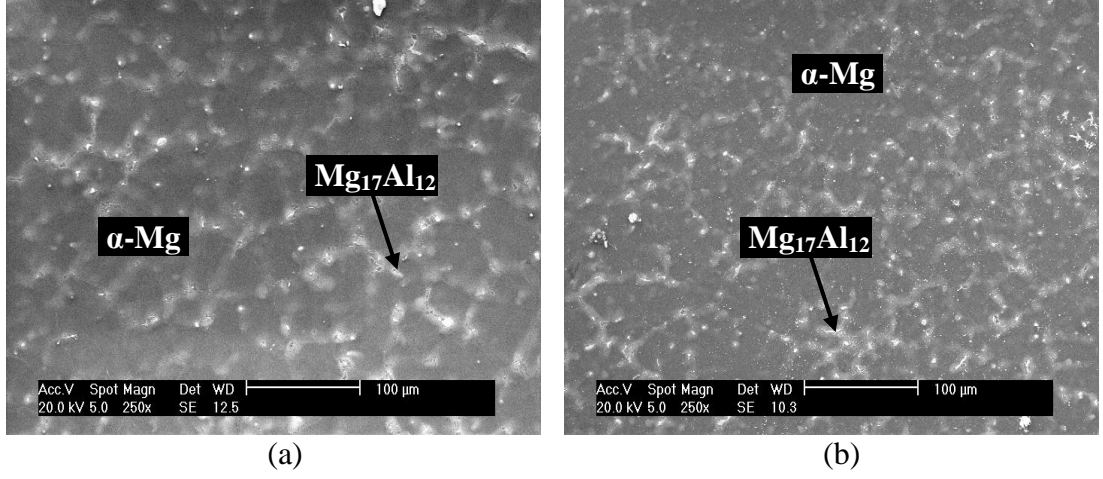
AM60 SEM görüntüleri incelendiğinde D kademesi A kademesine göre daha hızlı katılaştığından yapının ince taneli olduğu gözlemlenmiştir. SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi yapı α -Mg matrisi ve tane sınırlarında $Mg_{17}Al_{12}$ 'den oluşmuştur.

5.1.2.2. AM60'a Cd İlavesinin SEM ve EDS Analiz Sonuçları

AM60 alaşımına Cd ilavesinin (%0,2-%1) SEM sonuçları Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.9. AM60+%0,2 Cd alaşımının SEM görüntüleri a) A kademesi, b) D kademesi.

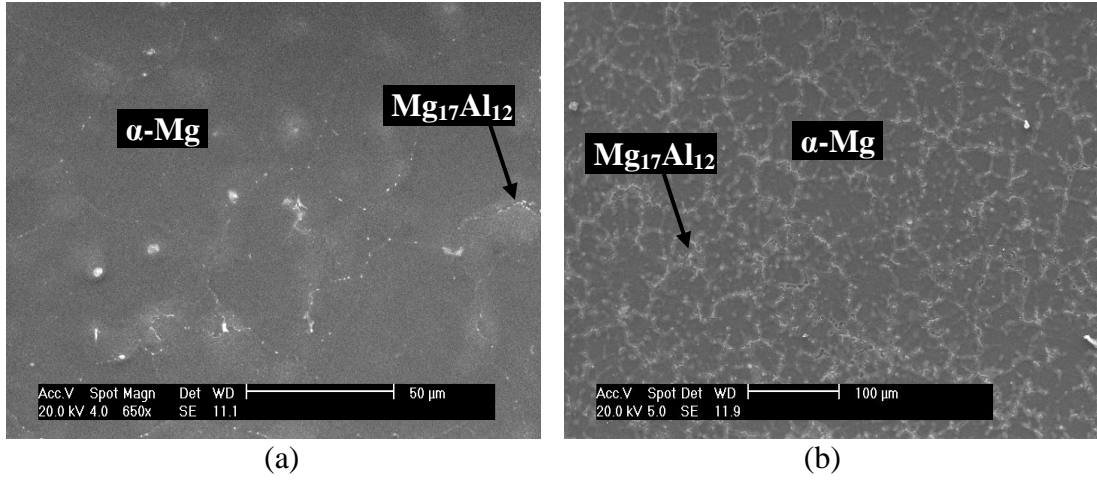


Şekil 5.10. AM60+%1 Cd alaşımının kademe kalınlığına bağlı SEM ve EDS analiz görüntüleri a) A kademesi, b) D kademesi, c) EDS analizi (A kademesi).

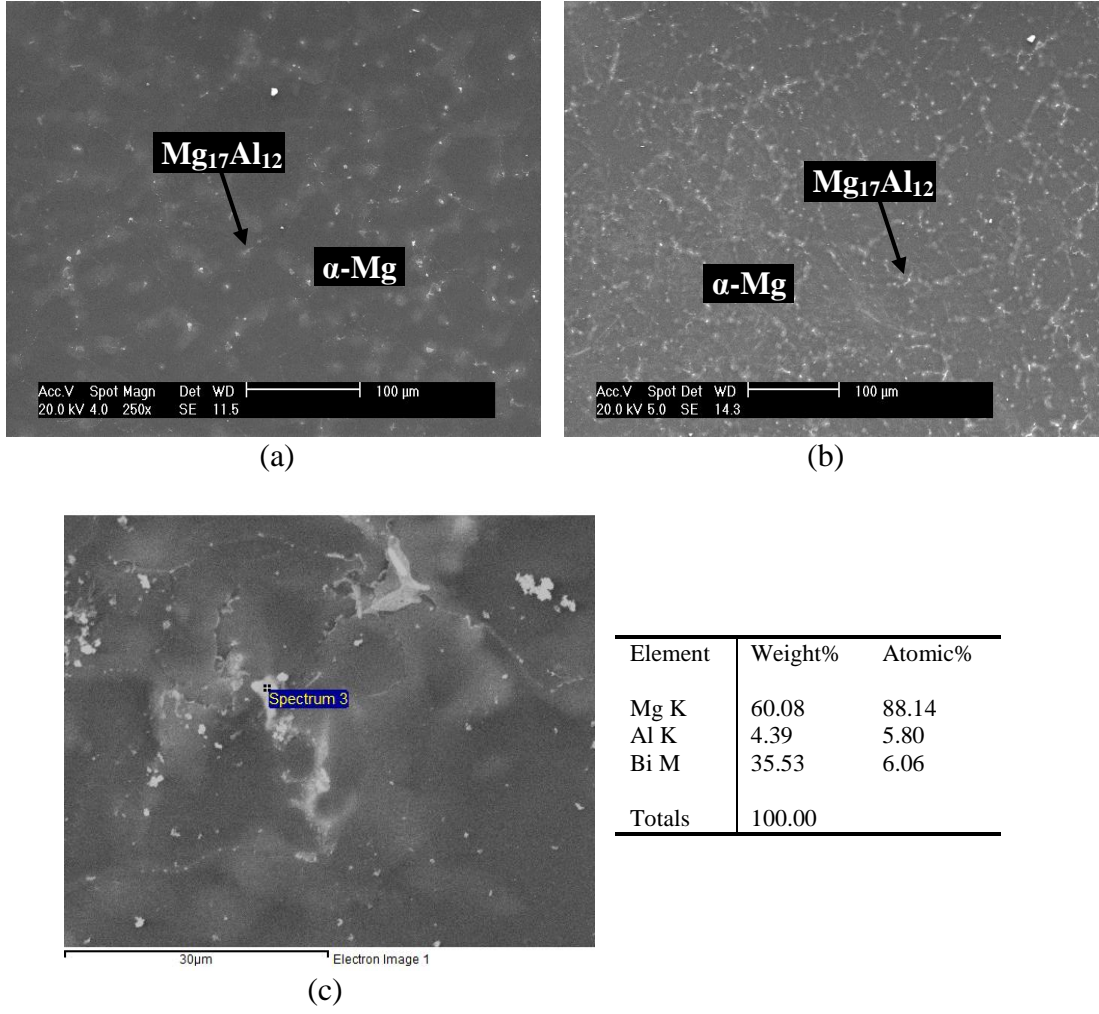
AM60 alaşımına Cd ilavesinde yavaş soğuyan kademenin daha kaba taneli ve oluşan fazların kabalaştığı görülmektedir. Artan Cd miktarı (%1) ile tane sınırlarına dağılış olan Cd etkisi ile oluşan fazların daha belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 5.10’da verilen SEM izgisel EDS analizinde de Cd elementinin varlığı gözlenmektedir.

5.1.2.3. AM60’a Bi İlavесinin SEM ve EDS Analiz Sonuçları

AM60 alaşımına Bi ilavesinin (%0,2-%1) SEM sonuçları Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.11. AM60+%0,2 Bi alaşımının SEM görüntüleri a) A kademesi, b) D kademesi.



Şekil 5.12. AM60+%1 Bi alaşımasının kademe kalınlığına bağlı SEM ve EDS analiz görüntüleri a) A kademesi, b) D kademesi, c) EDS analizi (A kademesi).

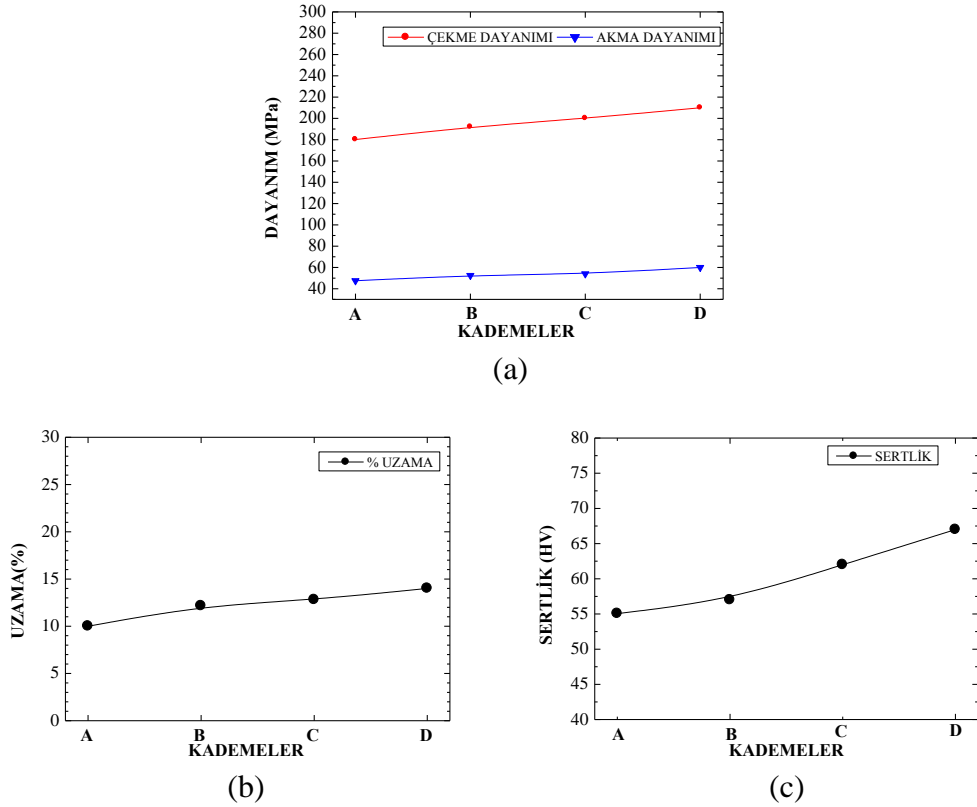
AM60 alaşımına ilave edilen Bi etkisi ile oluşan β intermetalik fazının tane sınırlarında daha belirgin hale geldiği varsayılmaktadır. Hızlı soğuyan kademelerde tane yapısı daha ince ve homojen dağılım olduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır.

5.2. MEKANİK DENEY SONUÇLARI

Kademeli kalıba dökülen alaşımların mekanik deney sonuçları (Çekme, akma, % uzama ve sertlik) bölgelere ve ilave edilen alaşım miktarına göre incelenmiştir. Her bir kademedan alınan 4 adet çekme deney sonuçlarının ortalamaları alınmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir.

5.2.1. AM60 Mekanik Deney Sonuçları

AM60 alaşımının Çekme-akma dayanımı, uzama ve sertlik değişimleri Şekil 5.13'de verilmiştir.



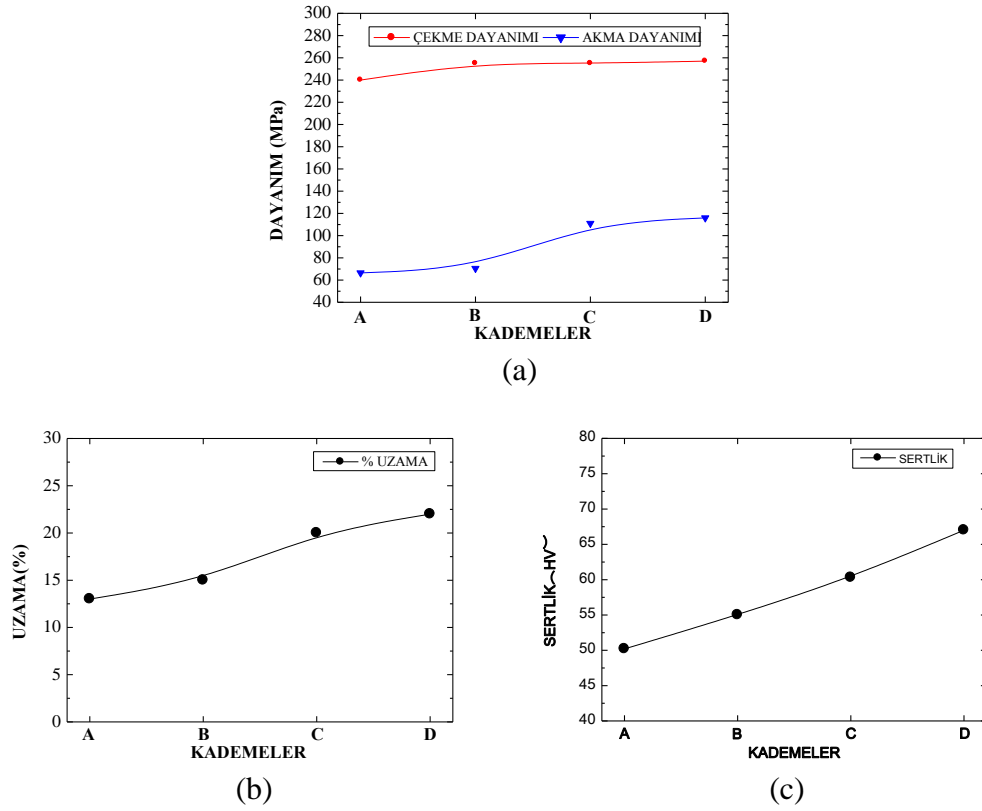
Şekil 5.13. AM60 alaşımının a) Çekme-Akma dayanımı, b) % Uzama değişimi, c) Sertlik değişimi.

AM60 alaşımında soğuma hızlarının değişimi ile A ve D kademeleri incelendiğinde çekme dayanımının 180 MPa'dan 210 MPa'ya çıktığı, akma dayanımının ise 47,5 MPa'dan 60 MPa'ya çıkarak bir miktar artış gösterdiği gözlenmiştir. Uzamada ve

sertlik değerinde ise kademeli bir artış olmuştur. Uzama miktarı %10 iken %14'e çıkmıştır. Sertlik miktarı ise 55 HV'den 67 HV'ye yükselmiştir.

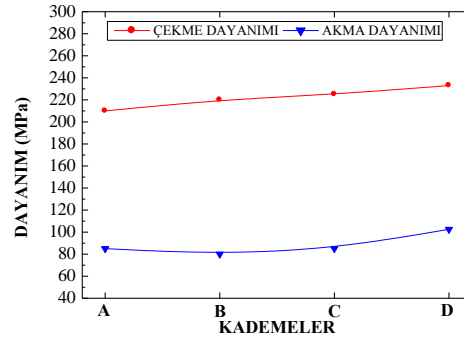
5.2.2. AM60'a Cd İlavesinin Mekanik Deney Sonuçları

AM60+Cd alaşımının Çekme-akma dayanımı, uzama ve sertlik değişimleri Şekil 5.14 - 5.16'da sırasıyla verilmiştir.

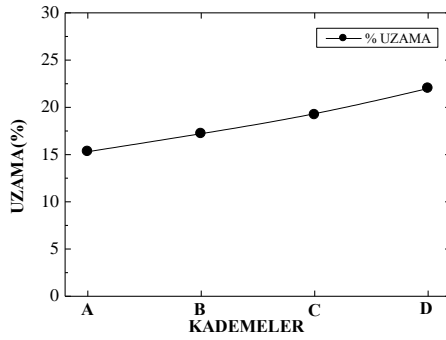


Şekil 5.14. AM60'a ilave edilen %0,2 Cd miktarına bağlı a) Çekme-Akma dayanımı, b) % Uzama değişimi, c) Sertlik değişimi.

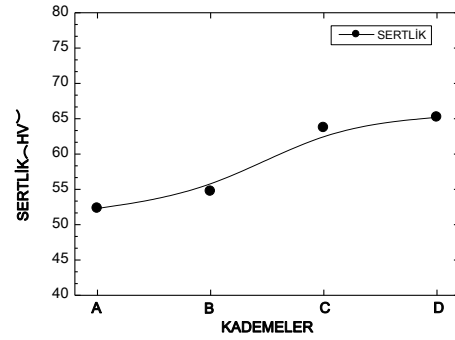
AM60 alaşımına %0,2 Cd ilavesiyle parçanın kalın kademesinden ince kademesine doğru çekme ve akma dayanımında kademeli bir artış olmuştur. Çekme dayanımı A kademesinde 240 MPa iken D kademesinde 257 MPa olmuştur. Akma dayanımı ise 70 MPa'dan 105 MPa'a yükselmiştir. Sertlik ve % uzama değerlerinde de belli bir artışın olduğu gözlemlenmiştir. Uzama miktarı %13 iken %22'ye çıkmıştır. Sertlik miktarı ise 50 HV'den 67 HV'ye yükselmiştir.



(a)



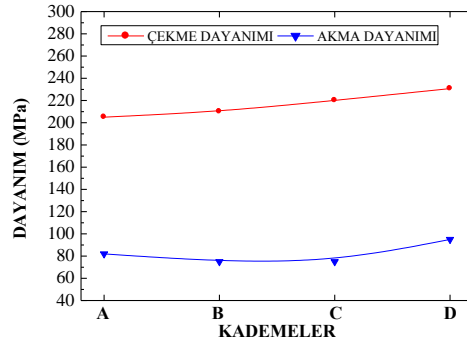
(b)



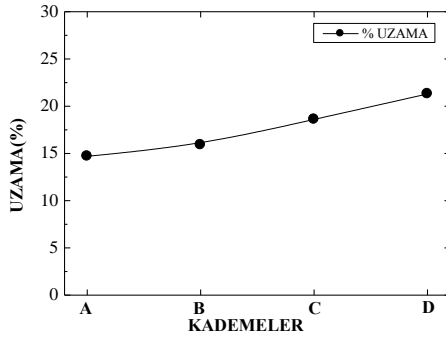
(c)

Şekil 5.15. AM60'a ilave edilen %0,5 Cd miktarına bağlı a) Çekme-Akma dayanımı, b) % Uzama değişimi, c) Sertlik değişimi.

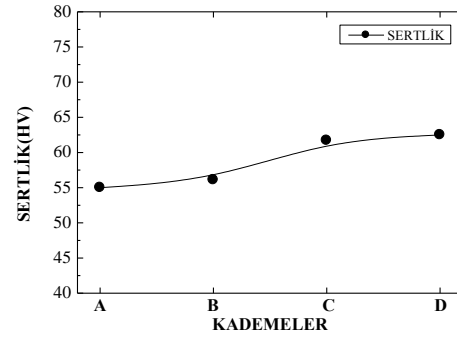
AM60 alaşımına %0,5 Cd ilavesiyle çekme dayanımında kalın kademedan (A) ince kademe (D) doğru orantılı bir artış gözlemlenirken, akma değerlerinde ise bir miktar artış olduğu gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı A kademesinde 210 MPa iken D kademesinde 233 MPa olmuştur. Akma dayanımı ise 85 MPa'dan 102,5 MPa'ya yükselmiştir. Sertlik değerlerinde en kalın kademe ile en ince kademe arasında önemli bir artışın olduğu, % uzama değerlerinde ise bir miktar artış olduğu görülmüştür. Uzama miktarı %15 iken %22'ye çıkmıştır. Sertlik miktarı ise 52 HV'den 65 HV'ye yükselmiştir.



(a)



(b)



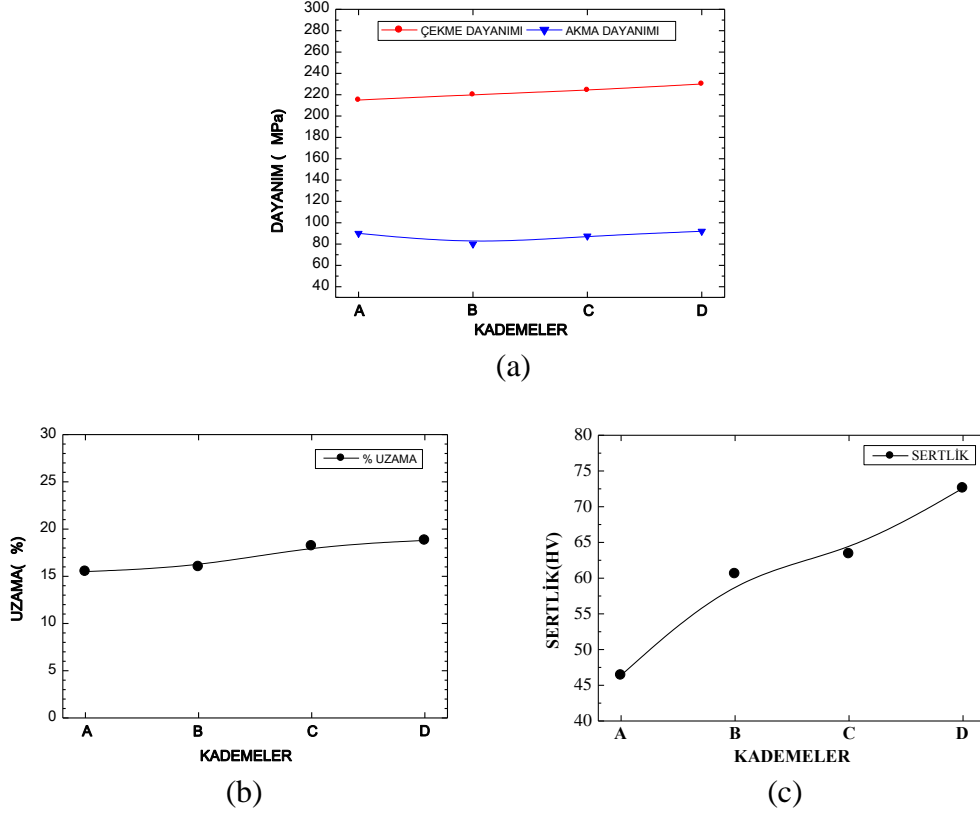
(c)

Şekil 5.16. AM60'a ilave edilen %1 Cd miktarına bağlı a) Çekme-Akma dayanımı, b) % Uzama değişimi, c) Sertlik değişimi.

AM60 alaşımına %1 Cd elementi ilavesiyle kademeli döküm parçasının çekme dayanımı ve akma dayanımı incelendiğinde çekme dayanımının bir miktar artış gösterdiği, akma dayanımının ise önemli bir değişiklik göstermediği gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı A kademesinde 205 MPa iken D kademesinde 230 MPa olmuştur. Akma dayanımı ise 82 MPa'dan 95 MPa'a yükselmiştir. % uzama ve sertlik değerlerinde ise kalın kademeden ince kademeye doğru bir miktar artış olduğu görülmüştür. Uzama miktarı %14 iken %21'e çıkmıştır. Sertlik miktarı ise 55 HV'den 62,5 HV'ye yükselmiştir.

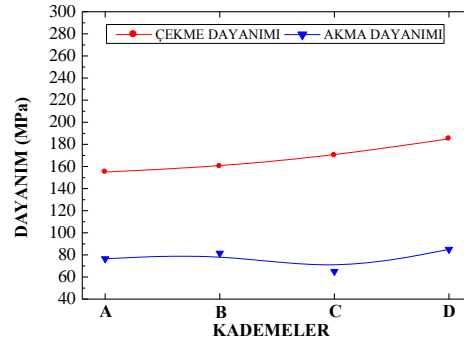
5.2.3. AM60'a Bi İlavesinin Mekanik Deney Sonuçları

AM60+Bi alaşımının Çekme-akma dayanımı, uzama ve sertlik değişimleri Şekil 5.17 - 5.19'da sırasıyla verilmiştir.

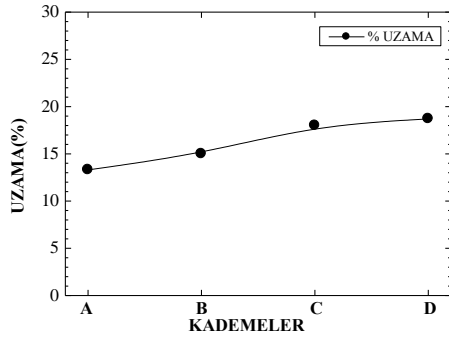


Şekil 5.17. AM60'a ilave edilen %0,2 Bi miktarına bağlı a) Çekme-Akma dayanımı, b) % Uzama değişimi, c) Sertlik değişimi.

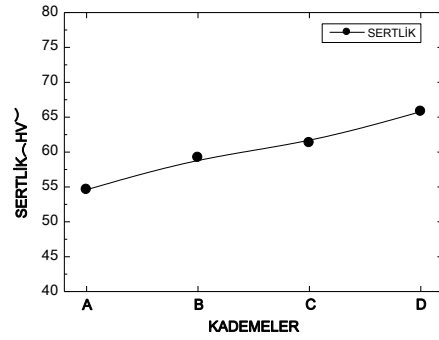
AM60 alaşımına ilave edilen %0,2 Bi miktarına bağlı olarak kademeli döküm parçası incelendiğinde çekme dayanımının bir miktar artış gösterdiği akma dayanımının ise kayda değer bir değişiklik göstermediği gözlenmiştir. Çekme dayanımı A kademesinde 215 MPa iken D kademesinde 230 MPa olmuştur. Akma dayanımı ise 90 MPa'dan 92 MPa'ya yükselmiştir. % uzama ve sertlik değerleri ise soğuma hızına göre orantılı bir şekilde artmıştır. Uzama miktarı % 15,5 iken % 18'e çıkmıştır. Sertlik miktarı ise 46 HV'den 72 HV'ye yükselmiştir.



(a)



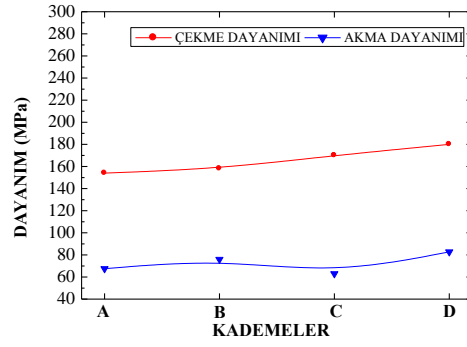
(b)



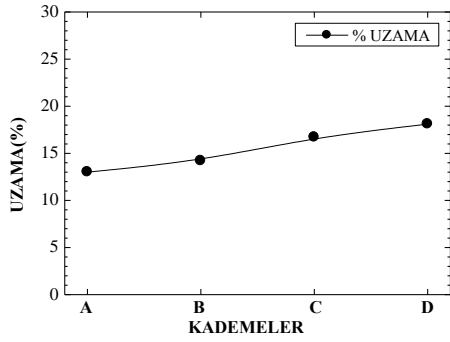
(c)

Şekil 5.18. AM60'a ilave edilen %0,5 Bi miktarına bağlı a) Çekme-Akma dayanımı, b) % Uzama değişimi, c) Sertlik değişimi.

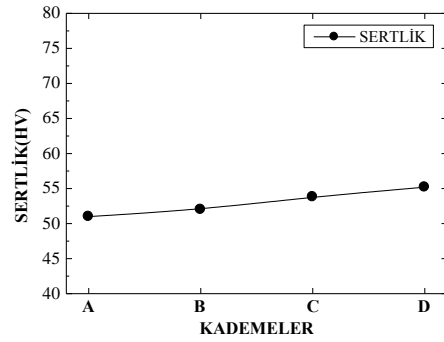
AM60'a ilave edilen %0,5 Bi miktarına bağlı olarak kademeli döküm parçasının soğuma hızı fazlaştıkça çekme dayanımı, % uzama ve sertlik miktarının kayda değer bir artışın olduğu gözlemlenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi çekme dayanımı A kademesinde 155 MPa iken D kademesinde 185 MPa olmuştur. Akma dayanımı 76,5 MPa'dan 85 MPa'a yükselmiştir. Uzama miktarı %13 iken %19'a çıkmıştır. Sertlik miktarı ise 54 HV'den 65 HV'ye yükselmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.19. AM60'a ilave edilen %1 Bi miktarına bağlı a) Çekme-Akma dayanımı, b) % Uzama değişimi, c) Sertlik değişimi.

AM60 alaşımına ilave edilen %1 Bi miktarına göre kademeli döküm parçasının mekanik özellikleri incelendiğinde akma ve çekme dayanımlarının belirgin bir artış gösterdiği gözlenmiştir. Çekme dayanımı A kademesinde 154 MPa iken D kademesinde 180 MPa olmuştur. Akma dayanımı ise 67,5 MPa'dan 82,7 MPa'ya yükselmiştir. % uzama ve sertlik değerlerinde çok önemli bir değişimin olmadığı gözlemlenmiştir. Uzama miktarı %13,5 iken %18,1'e çıkmıştır. Sertlik miktarı ise 51 HV'den 55 HV'ye yükselmiştir.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. MİKRO YAPI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

AM60 alaşımının genel mikro yapısı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Yapı genelde α -Mg ana matrisi içerisinde tane sınırları boyunca uzanan intermetalik fazlardan meydana geldiği gözükmemektedir. Şekil 5.8’de SEM ve EDS görüntülerinde elemental olarak Mg ve Al’nin varlığı tane sınırlarında oluşan $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazının oluştuğunu kanıtlamaktadır. $Mg_{17}Al_{12}$ fazının morfolojik yapısı literatür [45,46] ile benzerlik taşımaktadır. AM60 alaşımının farklı kademelerinden alınan mikroyapı sonuçlarında da görüldüğü üzere hızlı soğuma şartlarında (D kademesi) α -Mg matrisi içerisinde dağılan β - $Mg_{17}Al_{12}$ fazının tane sınırları boyunca sürekliliğini kaybederek parçalandığı belirgindir ve taneler oldukça ince yapıya sahiptirler. Yavaş soğuma şartlarında (A kademesi) ise β - $Mg_{17}Al_{12}$ fazı tane sınırları boyunca sürekliliğini fazla kaybetmemiştir ve tane sınırları kaba haldedir.

AM60 Mg alaşımlarına farklı miktarlarda Cd ilaveleri ile gözlenen mikroyapı görüntüleri arasında belirgin farklar vardır. AM60’a Cd ilavesi %0,2’den %1’e yükseltildiğinde bu fark daha çok ortaya çıkmaktadır(Şekil 5.2-5.4). Şekil 5.10’daki EDS ve SEM görüntülerinde Cd elementinin varlığı tespit edilmiştir. Bilhassa Cd tane sınırlarına yakın kısımlarda daha çok göze çarpmaktadır. Fakat Cd’nin Mg ile intermetalik bir faz oluşturduğuna literatürde rastlanmamıştır. Dolayısıyla Cd intermetalik bir faz olarak değil Mg matrisi içerisinde elemental olarak dağıldığı düşünülmektedir. Şekil 5.2-5.4 incelendiğinde AM60 alaşımına farklı Cd ilavesi tane sınırlarındaki $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazının dağılımını etkilediği ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazının tane sınırlarında ağ şeklindeki dağılımını bozarak bu fazı parçaladığı gözlenmektedir. Cd ilaveli yavaş soğuyan A kademesinde (Şekil 5.2-5.4) Cd’nin difizyon yoluyla kitlesel olarak yoğunlaştığına görebilmekteyiz.

AM60 alaşımlarında farklı Bi ilavesi ile mikro yapıda oluşan farklılıklar Şekil 5.5-5.7'de görünmektedir. Şekil 5.12'de ki EDS ve SEM görüntülerinde elemental olarak Bi ilavesinin varlığı tespit edilmiştir. Bi ilavelerinde β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazına ek olarak Mg₃Bi₂ fazı ortaya çıkmaktadır. Literatürde Yuan Guangyin et al. (2001), AZ91'de Bi etkisini incelemiş ve tane sınırlarında Mg₃Bi₂ fazının oluştuğunu rapor etmiştir [47]. Bi aynı zamanda Mg₁₇Al₁₂ fazında inceltmektedir. Kademeli kalıp uygulamasında kalın ve ince kesit arasında mikroyapı açısından belirgin bir fark gözlenmiştir. Yavaş soğuma şartlarında (A kademesi) tanelerin kabalaştığı, hızlı soğuma şartlarında (D kademesi) ise tane yapısının incelendiği belirlenmiştir. Ayrıca muhtemel oluşan Mg₃Bi₂ fazıda yavaş soğuma neticesinde kabalaşmaktadır.

6.2.MEKANİK DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

AM60'a ilave edilen alaşım elementlerinden en yüksek sertlik değerinin %0,2 Bi ilavesinin hızlı soğuma bölgesinde (D kademesi) görülmüştür. Ayrıca en düşük sertlik değeri %0,2 Bi ilavesinin yavaş soğuma bölgesinde (A kademesi) olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla sertlik miktarında %56'lık bir artış olmuştur. Sertlik artışının yapıda meydana gelen Mg₃Bi₂ intermetalik fazlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 5.1-5.7'deki mikroyapılar incelendiğinde Cd ve Bi ilavelerinde Mg₁₇Al₁₂ fazına ilave olarak çökelti türü fazlar görülmektedir. Bu fazların SEM ve EDS analiz görüntülerinde de Mg₃Bi₂ fazı olabileceği varsayılmaktadır [47]. Bu fazlarda yapı içerisinde çökeltme sertleşmesi türü gibi bir sertleşmeye neden olmaktadır. Yavaş soğuma şartlarında yüksek sertlik verebilecek olan intermetalik fazlar sadece tane sınırı bölgelerinde toplanabilmektedir. Sertlik ölçümlerinde düşük sertlik değerlerinin olması matris kesit yüzey alanının geniş yer kapladığından ileri geldiği düşünülmektedir. Hızlı soğuma şartlarında ise oluşan çökelti fazların ince yapılı olarak bütün yüzey alanında yaygın olması sertlik ölçümündeki sonuçların artışına neden olmaktadır. Bu durum hızlı soğuyan kademelerin mikroyapılarıylada kanıtlanabilir.

Bu çalışmada AM60' a %0,2 oranında ilave edilen alaşım elementleri çekme dayanımını kayda değer bir şekilde artırmıştır. En yüksek çekme dayanımı %0,2 Cd ilavesinin hızlı soğuma şartlarında (D kademesi), en düşük çekme dayanımı ise %1

Bi ilavesinin yavaş soğuma şartlarında (A kademesi) görünmüştür. Dolayısıyla çekme dayanımı %66'lık artış göstermiştir. Cd elementinin çekme dayanımını artırması herhangi bir intermetalik faz oluşturmayarak Mg matrisi içerisinde elemental bir şekilde bulunması ve bundan dolayı ince çökelti halinde dislokasyon hareketini engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuç literatür ile benzerlik göstermektedir [48]. Diğer taraftan Cd ilavesi $Mg_{17}Al_{12}$ fazının dağılımını, genişliğini ve sürekliliğini azaltmıştır. Bu bağlamda taneler arası mesafenin daha az olacağı ve buna bağlı olarak daha güçleneceği yaklaşımdan çekme dayanımının yüksek çıkması beklenebilir [48]. Bi ilavesinin çekme dayanımını düşürmesi ise yapıda intermetalik faz olarak bulunan Mg_3Bi_2 fazından dolayı olduğu düşünülmektedir [47]. AM60'a ilave edilen elementlerin çekme sonuçları Şekil 5.13-5.19'da gösterilmiştir. %0,2 oranında ilave edilen elementler çekme dayanımını artırırken %1 oranında ilave edilen elementlerin çekme dayanımını düşürdüğü gözlenmiştir. AM60 mikroyapısı taneleri arasında bulunan $Mg_{17}Al_{12}$ fazı dikkate değer biçimde değişikliğe uğramış ve tane sınırlarındaki fazlar incelenerek α -Mg taneleri arası mesafe daralmıştır. Bu noktadan çekme dayanımının artması beklenen bir sonuçtur.

AM60 alaşımına %0,2 oranında ilave edilen elementlerin %0,5 ve %1 oranında ilave edilen elementlere göre % uzamayı daha fazla artırdığı görülmüştür. Hızlı soğuma şartlarında (D kademesi) % uzamanın en fazla olduğu gözlenmiştir. AM60 mikroyapısı ile kıyaslandığında tane sınırlarında meydana gelen $Mg_{17}Al_{12}$ fazı değişikliğe uğramıştır. Tane sınırlarında biriken kırılğan $Mg_{17}Al_{12}$ fazı ile birlikte yapıda oluşan intermetalik fazlar % uzamayı azda olsa artıran bir etki olabilir. AM60'a ilave edilen elementlerin oranlarının artmasıyla % uzamanın düşüşe geçmesi yapıda daha ince çökelti yığınları oluşmasına dayandırılabilir. AM60'a Bi ilavesi ile % uzamanın, Cd ilavesine nazaran daha düşük olması yapıda Mg_3Bi_2 fazının oluşumuna bağlanabilir. Bu durum sertliğin artışı ile de uyumluluk göstermektedir. Ayrıca söz konusu elementlerin % miktarı arttıkça % uzamasının düşmesi bu değerlendirmeyi desteklemektedir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada AM60 alaşımı ile alaşımlara ilave edilen %0,2 - %0,5 ve %1 oranlarında Cd ve Bi'li alaşımların kademeli metal kalıba dökümleri yapılmış olup Soğuma hızları farklı olan kesitlerin çekme, akma ve % uzama ile sertlik değerleri alınmıştır. Ayrıca bu farklı kesitlerin mikro yapıları incelenmiştir. Yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar ve öneriler ise şöyledir;

Sonuçlar:

- 1) AM60 alaşımının mikroyapısı incelendiğinde α -Mg ana matrisinden ve tane sınırlarında β -Mg₁₇Al₁₂ intermetalik fazından oluştuğu gözlenmiştir.
- 2) AM60 alaşımının hızlı soğuma şartlarında mikroyapısının morfolojisi değişerek α -Mg taneleri küçülmüştür. Ayrıca mikroyapıda β -Mg₁₇Al₁₂ fazının incelendiği görülmektedir. Yavaş soğuma şartlarında (A kademesi) tanelerin kabalaştığı hızlı soğuma şartlarında (D kademesi) ise tanelerin incelendiği gözlenmiştir.
- 3) AM60'a Bi ilave edildiğinde Mg₃Bi₂ intermetalik fazının oluştuğu görülmektedir. Yüksek oranda Bi ilavesinde (%1) ve yavaş soğuma şartlarında bu fazların kabalaştığı gözlenmiştir.
- 4) AM60'a Cd ilave edildiğinde yapıda intermetalik faz oluşmadığı, Mg matrisi içerisinde elemental olarak dağıldığı gözlenmiştir. Yavaş soğuma şartlarında Cd'nin kitlesel olarak yoğunlaştığı görülmüştür.
- 5) AM60 alaşımının kademe kalınlığına bağlı (A'dan D'ye) mekanik sonuçları incelendiğinde çekme dayanımı %16, akma dayanımı %27, uzama miktarı %40, sertlik miktarının ise %21'lik artış gösterdiği gözlenmiştir.

- 6) AM60 alaşımına Bi ilavelerinde en yüksek çekme değerleri %0,2 ilavelerinde görünmüştür. Buna paralel olarak akma ve uzama miktarları da %0,2 Bi ilavelerinde en yüksek değerlere çıkmıştır. Kademe kalınlığına bağlı olarak (A'dan D'ye) ekme dayanımı %7, akma dayanımı %2, uzama miktarı %20 ve sertlik miktarı %52'lik artış göstermiştir.
- 7) AM60 alaşımına Cd ilavesinin mekanik deney sonuçları incelendiğinde bütün kademelerde en yüksek çekme, akma, % uzama ve sertlik değerleri %0,2 Cd ilavelerinde görünmüştür. Kademe kalınlığına bağlı olarak (A'dan D'ye) ekme dayanımı %7, akma dayanımı %16, sertlik değeri %34 ve uzama miktarı %70'lik artış göstermiştir.

neriler:

- 1) AM60 alaşımına her iki elementinde (Bi-Cd) birlikte ilavesi denenerek mikroyapı ve mekanik testlerin sonuçlarına bakılabilir.
- 2) Yapılan çalışmalarda elde edilen numunelerin homojenleştirme ve çökelti sertleşme sonrası mekanik özelliklerinin değişimi incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Kazdal, H.K., “Magnezyum alaşımları : otomotiv endüstrisinde uygulaması ve geleceği”, *Tubitak*, Marmara Araştırma Merkezi, Kocaeli, 3-39 (1999).
2. Dobrzanski, L.A., Tanski, T., Cizek and L., Brytan, Z., “Structure and properties of magnesium cast alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, (192-193): 567-574 (2007).
3. Barber, L.P., “Characterization of the solidification behavior and resultant microstructures of magnesium-aluminum alloys”, A Thesis of Master, *Worcester Polytechnic Institute*, Worcester, 10-46 (2004).
4. Luo, A.A., “Materials comparison and potential applications of magnesium in automobiles”, *Magnesium Technology*, Nashville, 89-99 (2000).
5. Gaines, L., Cuenca, R., Stodolsky, F. and Wu, S., “Potential automotive uses of wrought magnesium alloys”, *Automotive Technology Development*, Detroit, Michigan, 1-7 (1996).
6. Polmear I.J., “Magnesium alloys”, Light Alloys, *Metallurgy and Materials Science Series*, New York, 169-210 (1989).
7. Beffort, O. and Hausmann, C., “Das leichtmetal magnesium und seine egierungen”, *EMPA Mg seminar*, Thun, 15-22 (1999).
8. Vogel, M., “Mikrostruktur und kriechverhalten von magnesium-druckgusslegierungen im system Mg-Zn-Al-Ca”, Ph.D. Thesis, *Max-Planck-Institut für Metallforschung*, Stuttgart, 6-20 (2002).
9. Zhang, Z., “Development of magnesium-based alloys for elevated temperature applications”, Doctor of These, *Faculte Des Sciences Et De Genie Universite*, Quebec-Canada, 2-75 (2000).
10. Brown, R., “ Magnesium”, *Mining Journal Annual Review for 2004*, 1-14 (2004).
11. Mordike, B.L. and Ebert, T., “Magnesium properties-applications-potential”, *Materials Science&Engineering A*, 302: 37-45 (2001).
12. Plano S., “Development of innotative nanocomposite coatings for magnesium component protection”, *Nanomag, Sustainable production: The Role of Nanotechnologies*, Copenhagen, 34-47 (2002).

13. Bolstad, J., "Magnesium alloy development for intelligent magnesium Designs", *SinoMaG seminar*, Beijing-China, 8-14 (2000).
14. Davis, J.R., "Properties and Selection: Nonferrous alloys and special-purpose materials", *ASM Handbook*, 2: 480-516 (1998).
15. Mordike B.L. and Kainer K.U., "Magnesium alloys and their applications", *Werkstoff-Informationsgesellschaft*, Frankfurt, 34-482 (1998).
16. Eliezer, D., Aghion, E. and Froes, F.H., "Magnesium science, technology and applications", *Advanced Performance Materials*, 201-212 (1998).
17. Zhan, Z., "Review and classification for magnesium patents", Report for the institute of magnesium technologies, *Derwent World Patents Index*, 14 (1997).
18. Friedrich, H. and Schumann, S., "Research for a new age of magnesium in the automotive industry", *Journal of Materials Processing Technology*, 117: 276-281 (2001).
19. Watarai, H., "Trend of research and development for magnesium alloys", *Science and Technology Trends*, 18: 84-97 (2006).
20. Jambor, A. and Beyer, M., "New cars-new materials", *Materials&Design*, 4 (6): 203-209 (1997).
21. Li, N., "Automotive magnesium applications and life cycle environmental assesment", *3rd International Conference on SF₆ and the Environment*, Scottsdale, Arizona, 1-26 (2004).
22. Landkof, B., "Magnesium alloys applications", *Magnesium Alloys Science, Tecnology and Application*, Ben-Guron University, (8): 293-316 (2005).
23. Žaludová, N., "Mg-RE Alloys and their applications", *WDS'05 Proceedings of Contributed Papers*, 3: 643-648 (2005).
24. Johansson, S., "Magnesium Alloys", Summary of chapter 1-7 in light alloys by I.J.Polmear, *Engineering Materials*, 5: 17-20 (2002).
25. Schwam, D., Wallace, J.F., Zhu, Y. and Viswanathan, S. and Iskander, S., "Enhancements in magnesium die casting impact properties, final report", *Case Western Reserve University*, DOE-FC07-98ID13611, Ohio, 5-22 (2000).
26. Guthrie, S.E., Thomas, G.J., Bauer, W. and Yang, N.Y.C., "The development of lightweight hydride alloys based on magnesium", Master, Ms.C. Thesis *Sandia National Laboratories Department of Energy*, California, 1-35 (1996).
27. Baker, H., "Alloy phase diagrams", *ASM Handbook*, 3: 280-285 (1998).

28. Aizawa, T. and Song, R., “Mechanically induced reaction for solid-state synthesis of Mg₂Si and Mg₂Sn”, *Intermetallics*, 14: 382-391 (2006).
29. Kang, D.H., Park, S.S., Oh, S. and Kim, N.J., “Effect of nano-particles on the creep resistance of Mg-Sn based alloys”, *Materials Science & Engineering*, 449 (451): 318-321 (2007).
30. Balasubramani, N., Srinivasan, A., Pillai, U.T.S. and Pai, B.C., “Effect of Pb and Sb additions on the precipitation kinetics of AZ91 magnesium alloy”, *Materials Science & Engineering*, 457: 275-281 (2007).
31. Zhao, P., Wang, Q., Zhai, C. and Zhu, Y., “Effects of strontium and titanium on the microstructure, tensile properties and creep behavior of AM50 alloys”, *Materials Science and Engineering*, 444: 318-326 (2007).
32. Feng, X., Xuegang, M. and Yangshan, S., “Microstructures and mechanical properties of AZ91 alloy with combined additions of Ca and Si”, *Journal Materials and Science*, 41: 4725-4731 (2006).
33. Weichao, Z., Shuangshou, L., Bin T., Daben, Z. and Xutao, G., “Effect of rare earths on hot cracking resistant property of Mg-Al alloys”, *Journal of Rare Earths*, 24: 346-351 (2006).
34. Zhang, J., Guo, Z.X., Pan, F., Li, Z. and Xiaodong, L., “Effect of composition on the microstructure and mechanical properties of Mg-Zn-Al alloys”, *Materials Science and Engineering*, 456: 43-51 (2006).
35. Zhang Z., Couture, A. and Luo, A., “An Investigation of the properties of Mg-Zn-Al alloys”, *Scripta Materialia*, 39: 45-53 (1998).
36. Wang, Q.D, Chen, W., Zeng, X., Lu, Y., Ding, W., Zhu, Y. and Xu, X., “Effects of Ca addition on the microstructure and mechanical properties of AZ91 magnesium alloy”, *Journal Of Materials Science*, 36: 3035-3040 (2001).
37. Looze, G., Carrig, J. and Nguyen, V., “High-yield, high-integrity, permanent mould magnesium casting” *Foundry Trade Journal*, 3629: 280-282 (2005).
38. West, C. E. and Gribach, T. E., “Permanent mould casting”, *Metals Handbook. ASM international*, Metals Park, 15: 275-285 (1988).
39. Watari, H., Davey, K., Rasgado, M.T., Haga, T. and Izawa, S., “Semi-solid manufacturing process of magnesium alloys by twin-roll casting”, *Journal of Materials Processing Technology*, 155 (156): 1662-1667 (2004).
40. Ha, W. and Kim, Y., “Effects of cover gases on melt protection of mg alloys”, *Journal of Alloys and Compounds*, 422: 208-213 (2006).

41. Hillis, J.E., “The international program to identify alternatives to sf_6 for magnesium melt protection”, *The International Magnesium Association*, San Diego, 1-8 (2002).
42. Aghion, E. and Bronfin, B., “Physical metallurgy of Mg alloys”, *Magnesium Technologies Users Assotiation*”, 7-44 (2005).
43. Bowles, A.L. and Caceres, C.H., “Anomalous hardness behaviour of high pressure die-cast Mg-Al alloys”, *Metallurgical Science and Technology, Associato alla Unione Stampa Periodica Italiana*, Torino, 25-26 (1983).
44. Ünal, M. “Magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin incelenmesi” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 57-61 (2008).
45. Wang, Q., Lu, Y., Zeng, X., Ding, W., Zhu, Y., Li, Q. and Jie, L., “Study on the fluidity of AZ91+xRE magnesium alloy” *Materials Science and Engineering*, 271: 109-115 (1999).
46. Lee, C.D. and Shin, K.S., “Effect of microporosity on the tensile properties of AZ91 magnesium alloy”, *Acta Materialia*, 55: 4293-4303 (2007).
47. G., Yuan, Yangshan S. and Wenjiang, D., “Effects of bismuth and antimony additions on the microstructure and mechanical properties of AZ91 magnesium alloy”, *Materials Science and Engineering*, 308: 38-44 (2001).
48. Saklakoğlu, N. ve Ercayhan Y., “AZ91 Magnezyum alaşımının metalurjik özelliklerine kadmiyum elementinin etkisi”, *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, 162-167 (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : İbrahim ERDEM
Doğum tarihi ve yeri : 22.09.1985 Şereflikoçhisar
Telefon : 0 (362) 438 45 48
e-mail : ibrahimerdem55@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Karabük Üniversitesi/Metal Bölümü	2009
Lise	Samsun Atakum Endüstri Meslek Lisesi	2002

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. F. Gül, M. Durum, M. Ünal, Y. Türen, **İ. Erdem**, "AM60 Alaşımına Sn ve Pb İlavesinin Abrasif Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi", IATS'11, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Fırat University on 16-18 May Elazığ
2. F. Gül, M. Durum, M. Ünal, Y. Türen, **İ. Erdem**, "Bi ve Co İlavesinin AZ91 Alaşımının Abrasif Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi", IATS'11, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Fırat University on 16-18 May Elazığ