

**AM60 VE AZ61 MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ
SOĞUMA HIZINA BAĞLI MEKANİK VE
MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

**2011
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

Özcan BÜYÜKGENÇ

**AM60 VE AZ61 MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ SOĞUMA HIZINA
BAĞLI MEKANİK VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Özcan BÜYÜKGENÇ

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

KARABÜK

OCAK 2011

Özcan BÜYÜKGENÇ tarafından hazırlanan “AM60 VE AZ61 MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ SOĞUMA HIZINA BAĞLI MEKANİK VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” 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. 28/ 01/ 2011

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNAL (KBÜ)




Üye : Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN (KBÜ)



...../...../2011

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.”

Özcan BÜYÜKGENÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AM60 VE AZ61 MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ SOĞUMA HIZINA BAĞLI MEKANİK VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Özcan BÜYÜKGENÇ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNAL

Ocak 2011, 70 sayfa

Bu çalışma da AZ61 ve AM60 serisi magnezyum alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerini geliştirmek için alaşımlara %0.5 oranlarında kalay (Sn) ve kurşun (Pb) elementleri ilave edilmiştir. AZ61 ve AM60 serisi alaşımlar dört farklı soğuma hızına sahip kademeli kalıba dökülmüştür.

Sonuçlar; AZ61 ve AM60 alaşımlarının tane boyutu soğuma hızının artmasıyla incelendiğini ve bu fazların ince lameler ötektik olarak şekillendiğini göstermiştir. Bu değişikliklere paralel olarak alaşımların çekme, akma ve % uzama oranları artmıştır.

Anahtar Sözcükler : Magnezyum, AM60, AZ61, mikroyapı, mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 710.3.011

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF AM60 AND AZ61 MAGNESIUM ALLOYS DEPENDING ON COOLING RATE

Özcan BÜYÜKGENÇ

**Karabuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgy Education**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Mehmet ÜNAL

January 2011, 70 pages

In this study, surface active (Sn and Pb) elements were added to AZ61 and AM60 magnesium alloys in the ratio of 0.5 wt. % in order to improve its mechanical and microstructural properties. AZ61 and AM60 serious alloys were cast in a multi-step permanent mold casting with four different cooling rates.

The results showed that grain sizes of AZ61 and AM60 serious alloys were refined and thinner lamellar eutectic phase was formed at higher cooling rate. It was also observed that these changes in the microstructures led to improvements in yield strength, tensile strength and % elongation.

Key Words : Magnesium, AM60, AZ61, microstructure, mechanical properties.

Science Code : 710.3.011

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince değerli katkı ve yardımları ile beni yönlendiren, çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNAL'a ve Yrd.Doç.Dr.Yunus TÜREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmalarım esnasında yardımlarından dolayı Arş. Gör. Erkan KOÇ'a KBÜ üniversitesi Strateji Geliştirme Daire Başkanı Özcan KAYIŞOĞLU'na Sağlık Kültür ve Spor Daire Başkanlığının Değerli personeline, KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencileri İbrahim ERDEM ve Levent ELEN'e teşekkürlerimi borç bilirim.

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

Tez çalışmalarım esnasında beni sabırla destekleyen ve bu günlerimi benimle paylaşan çok özel üç kişi; eşim Rukiye'ye, büyük kızım Ebrar Eda BÜYÜKGENÇ'e ve küçük kızım Zeynep Sena BÜYÜKGENÇ'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
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	30
MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜM YÖNTEMLERİ.....	30
3.1. KUM KALIBA DÖKÜM.....	31
3.2. KOKİL KALIBA DÖKÜM.....	31
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	36
BÖLÜM 4	38
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	38
4.1. MALZEME.....	38
4.2. ATMOSFER KONTROLLÜ ERGİTME ÜNİTESİ.....	38
4.3. ERGİTME VE ALAŞIMLAMA PRATİĞİ.....	39
4.4. KALIP UYGULAMASI.....	41
4.5. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI.....	41
4.6. MEKANİK DENEYLER.....	42
4.6.1.Çekme Deneyi.....	42
4.6.2. Sertlik Deneyi	43

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	44
DENEYSEL SONUÇLAR.....	44
5.1. MİKROYAPI SONUÇLARI	44
5.2. MEKANİK DENEY SONUÇLARI	51
BÖLÜM 6	57
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	57
6.1. MİKROYAPI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	57
6.2. MEKANİK DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	58
6.2.1. Sertlik Sonuçlarının değerlendirilmesi.....	58
6.2.2. % Uzama sonuçlarının değerlendirilmesi.....	60
6.2.3. Çekme Gerilimi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	62
BÖLÜM 7	64
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	70

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	32
Şekil 3.2. Yarı-katı sıcaklık ve durumu.....	33
Şekil 3.3. Yarı-katı döküm yöntemi.....	33
Şekil 3.4. Kullanılan gaz karışımlarına göre çelik potanın durumu	35
Şekil 3.5. Mg alaşımı dökümlerinde gaz kullanımı	35
Şekil 3.6. AZ91’in basınçlı ve kokil dökümünün gerilim-uzama diyagramı.....	37
Şekil 3.7. Mg alaşımlarının gerilim-uzama eğrileri	37

Sayfa

Şekil 4.1. Deneyleerde kullanılan atmosfer kontrollü ergitme ünitesi	39
Şekil 4.2. Ergitme işleminde kullanılan grafit pota resmi.....	40
Şekil 4.3. Kalıp ısıtma fırını kesit şekli.....	40
Şekil 4.4. Kademeli metal kalıp kesit resmi.....	41
Şekil 4.5. Mikro yapı ve sertlik numunesi	42
Şekil 4.6. Çekme deney numunesi.....	42
Şekil 5.1. AZ61 alaşımının mikroyapı görüntüleri.....	45
Şekil 5.2. AZ61 alaşımına %0.5 Sn ilavesinin mikroyapı görüntüleri	46
Şekil 5.3. AZ61 alaşımına %0.5 Pb ilavesinin mikroyapı görüntüleri	47
Şekil 5.4. AM60 alaşımının mikroyapı görüntüleri.....	48
Şekil 5.5. AM60 alaşımına %0.5 Sn ilavesinin mikroyapı görüntüleri	49
Şekil 5.6. AM60 alaşımına % 0.5 Pb ilavesinin mikroyapı görüntüleri	50
Şekil 5.7. AZ61 alaşımının değişik soğuma hızlarında çekme-akma dayanımı, Sertlik ve % uzamada meydana gelen değişimler	51
Şekil 5.8. AZ61 + 0.5 Sn miktarına bağlı değişik soğuma hızlarında çekme-akma dayanımı, sertlik ve % uzamada meydana gelen değişimler	52
Şekil 5.9. AZ61 + 0.5 Pb miktarına bağlı değişik soğuma hızlarında çekme- akma dayanımı, sertlik ve % uzamada meydana gelen değişimler	53
Şekil 5.10. AM60 alaşımının değişik soğuma hızlarında çekme-akma dayanımı, Sertlik ve % uzamada meydana gelen değişimler	54
Şekil 5.11. AM60 + 0.5 Sn miktarına bağlı değişik soğuma hızlarında çekme-akma dayanımı, sertlik ve % uzamada meydana gelen değişimler	55
Şekil 5.12. AM60 + 0.5 Pb miktarına bağlı değişik soğuma hızlarında çekme-akma dayanımı, sertlik ve % uzamada meydana gelen değişimler	56
Şekil 6.1. AZ61 ve AZ61 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) sertlik sonuçları grafiği.....	58
Şekil 6.2. AM60 ve AM60 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) sertlik sonuçları grafiği.....	59
Şekil 6.3. AZ61 ve AZ61 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) % uzama sonuçları grafiği.....	60
Şekil 6.4. AM60 ve AM60 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) % uzama Sonuçları grafiği.....	61
Şekil 6.5. AZ61 ve AZ61 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) çekme gerilmesi sonuçları grafiği	62
Şekil 6.6. AM60 ve AM60 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) çekme gerilmesi sonuçları grafiği	63

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.....	36
Çizelge 3.2. Mg alaşımlarının oda sıcaklığında fiziksel özellikleri.....	36
Çizelge 4.1. (AM60-AZ61) alaşımına deneysel çalışmalarda ilave edilen alaşım elementleri ve % miktarları.....	38

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

KISALTMALAR

ASTM	: Amerika Malzeme ve Test Standartları Kurumu
DIN	: Alman Norm Enstitüsü
HFC	: Hidro florokarbon
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 bir çok 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 süneklik, dayanım ve iyi korozyon direncine sahip demir dışı metaldir. Ancak, kristal yapısının hegzagonal sıkı paket (HSP) olmasından kaynaklanan şekillenebilirlik ve eritme 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 ve AZ61 alaşımının geliştirilmesi ve soğuma hızları ile ilgili literatür de çok az bilgi bulunmaktadır.

Dolayısıyla bu çalışmanın ana hedefi, AM60 ve AZ61 Mg alaşımlarına element ilavesi (Sn-Pb) ve katılma hızlarına göre mekanik özelliklerinin incelenmesini kapsamaktadır.

BÖLÜM 2

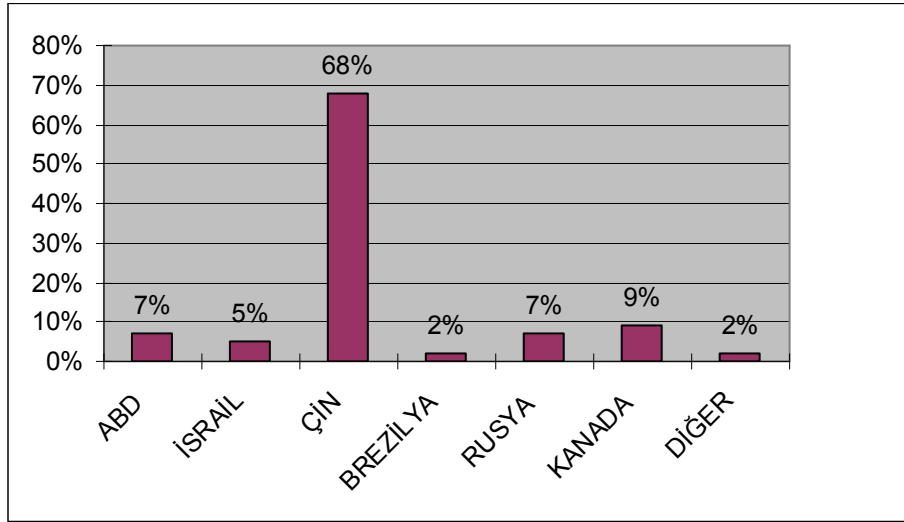
MAGNEZYUM VE MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

2.1. MAGNEZYUM

Magnezyum (Mg) yapısal uygulamalarda kullanılabilir 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

Mağnezium; 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 AB.D.'ye yayılmıştır [9]. Şekil 2.1'de 2004 yılında Mg üretimi yapan ülkeler ve oranları verilmiştir.



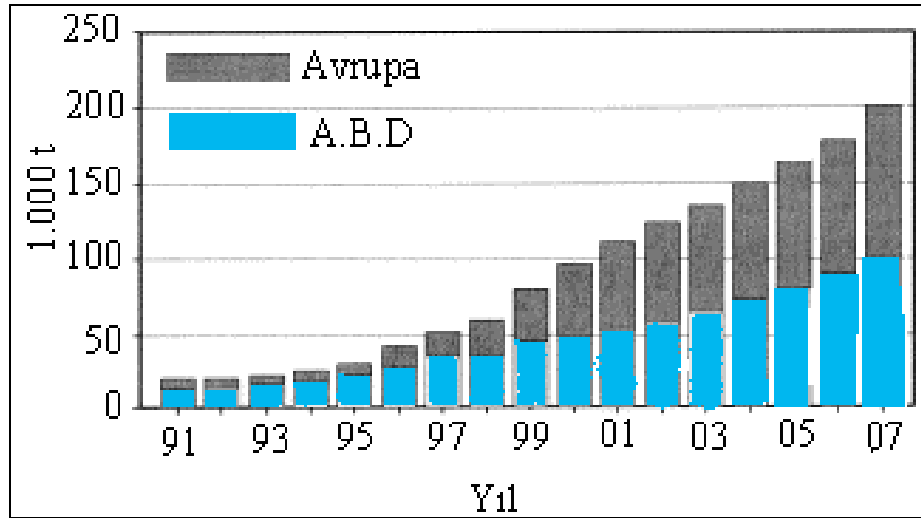
Şekil 2.1. 2004 yılı dünya ülkeleri Mg üretimi ve oranları [10].

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 Magneziumklorürün ($MgCl_2$) indirgenme prensibine göre elektrolizi, dolomitten kimyasal yollarla çökeltme ve arıtma yöntemleri ile veya doğrudan tuzlu sulardan Magneziumoksitin (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

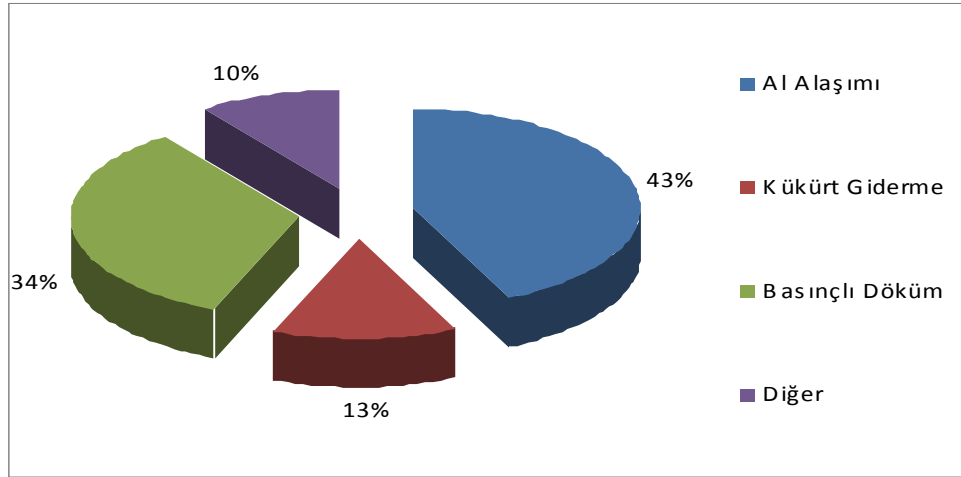
Rusya’da bulunmaktadır. Norsk-Hydro dünyadaki en önemli 13 üreticiden biridir. İki önemli yatakta üretim yapmaktadır. Bunlardan biri Norveç ve diğeri Kanada’dır. Bu firmanın birinci Mg üretimi Kanada yatağı ile birlikte yıllık üretimi 80.000 tonu bulmaktadır [1].

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’ya 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 yüzdelik dilimleridir. 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 uygulamalarına 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), inko (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

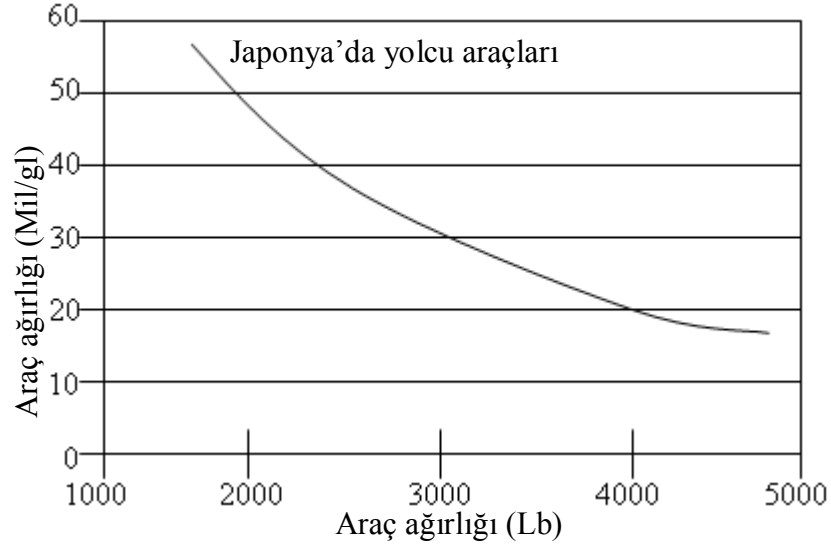
potansiyeline sahiptirler. Ancak, bazı önemli alaşım elementleri (Yi, Ag ve RE) pahalıdır ve özel uygulamalar için kullanılır [9].

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 emisyonlarının 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 alaşımını daha iyi döküm, daha iyi dayanım özellikleri göstermektedir.



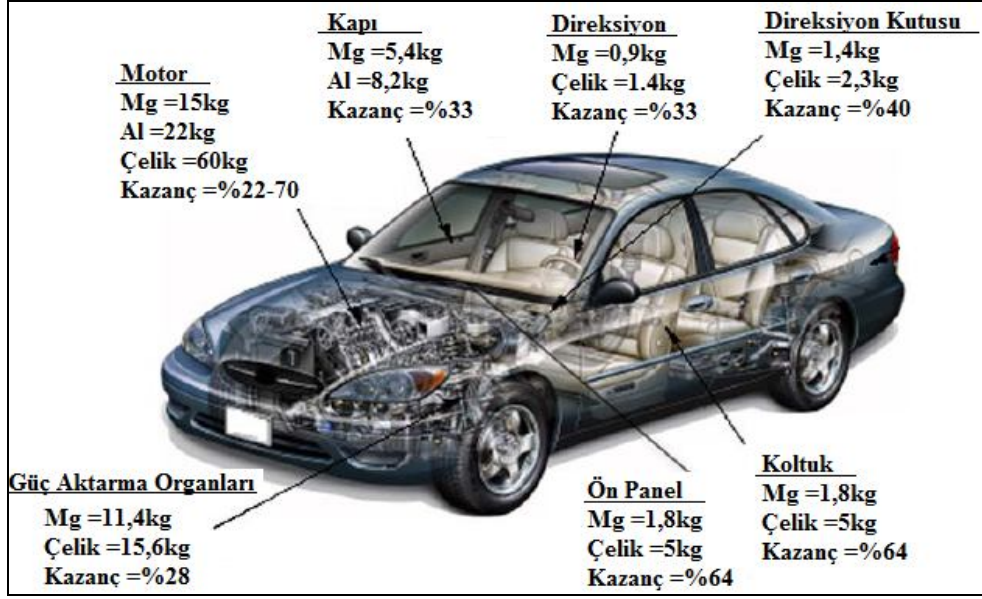
Şekil 2.4. Araç ağırlığı ile yakıt ekonomisi arasındaki ilişki [16]

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 miktartlı talepler düşük maliyetli basınçlı döküm metodu için itici bir kuvvet olmuş ve basınçlı döküm metodu hızla gelişmiştir [16,18].

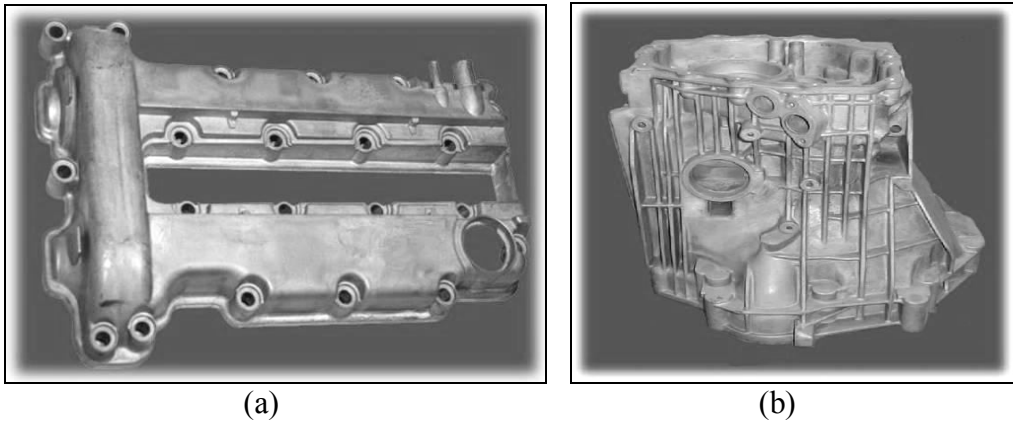
1930'lardan 1965'lere kadar, yalnızca ticari olarak kullanılan alaşımlar Mg-Al-Zn-Mn esaslıdır. Parçaların çoğunluğu AZ91 alaşımından üretilmiştir. Bu alaşım, gerilme kuvvetini biraz düşmesine rağmen, yüksek yumuşaklık ve darbe etki direncini sağlamıştır [9,15].



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].

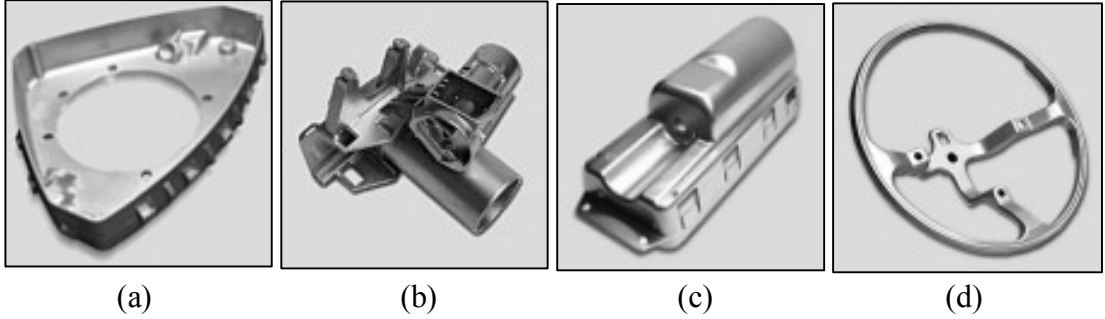
AZ serisi alaşımlar otomobil, havacılık, bilgisayar ve mobil telefonlarda kullanılır [1]. Şekil 2.6'da AZ91 alaşımından üretilmiş döküm parçalar görülmektedir.



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

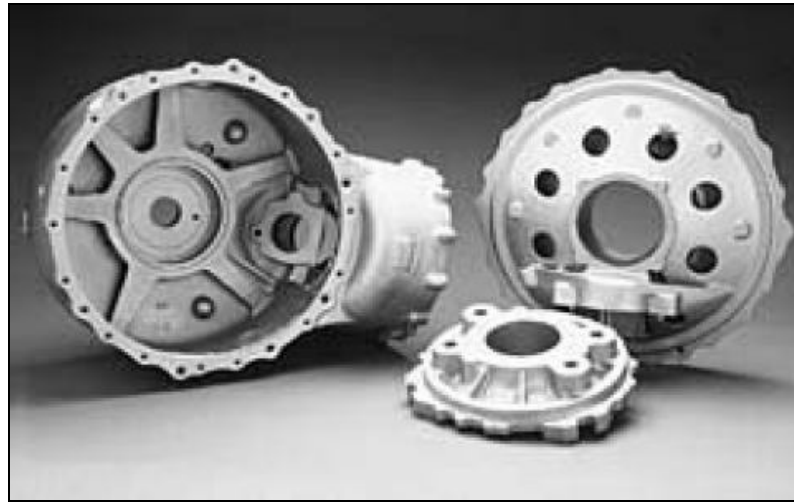
Mg alaşımlarından AM serisi alaşımlar yüksek toklukları ve enerji absorblama özellikleri bakımından özellikle direksiyon, tekerlek, otomobil koltuk iskeleti

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



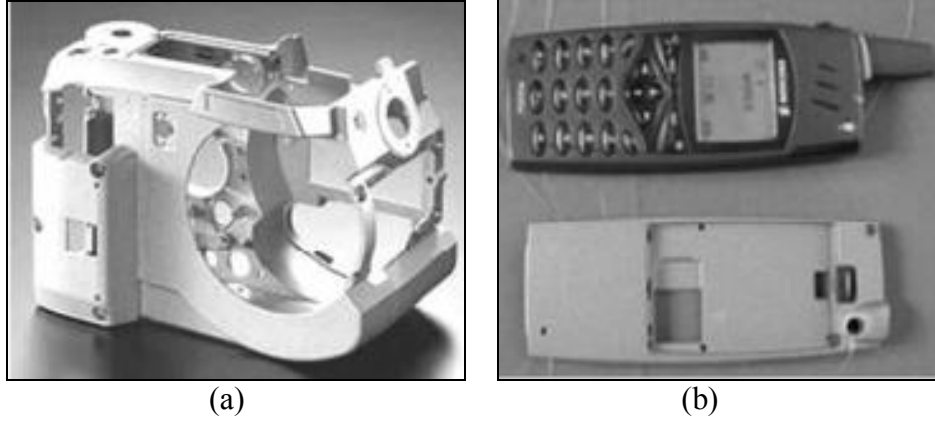
Şekil 2.7. AM alaşımı döküm parçaları [7,11,13,21,22] a) Hava yastığı kutusu b) direksiyon kilit kutusu c) Yolcu hava yastığı kiliti d) Direksiyon simidi

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]

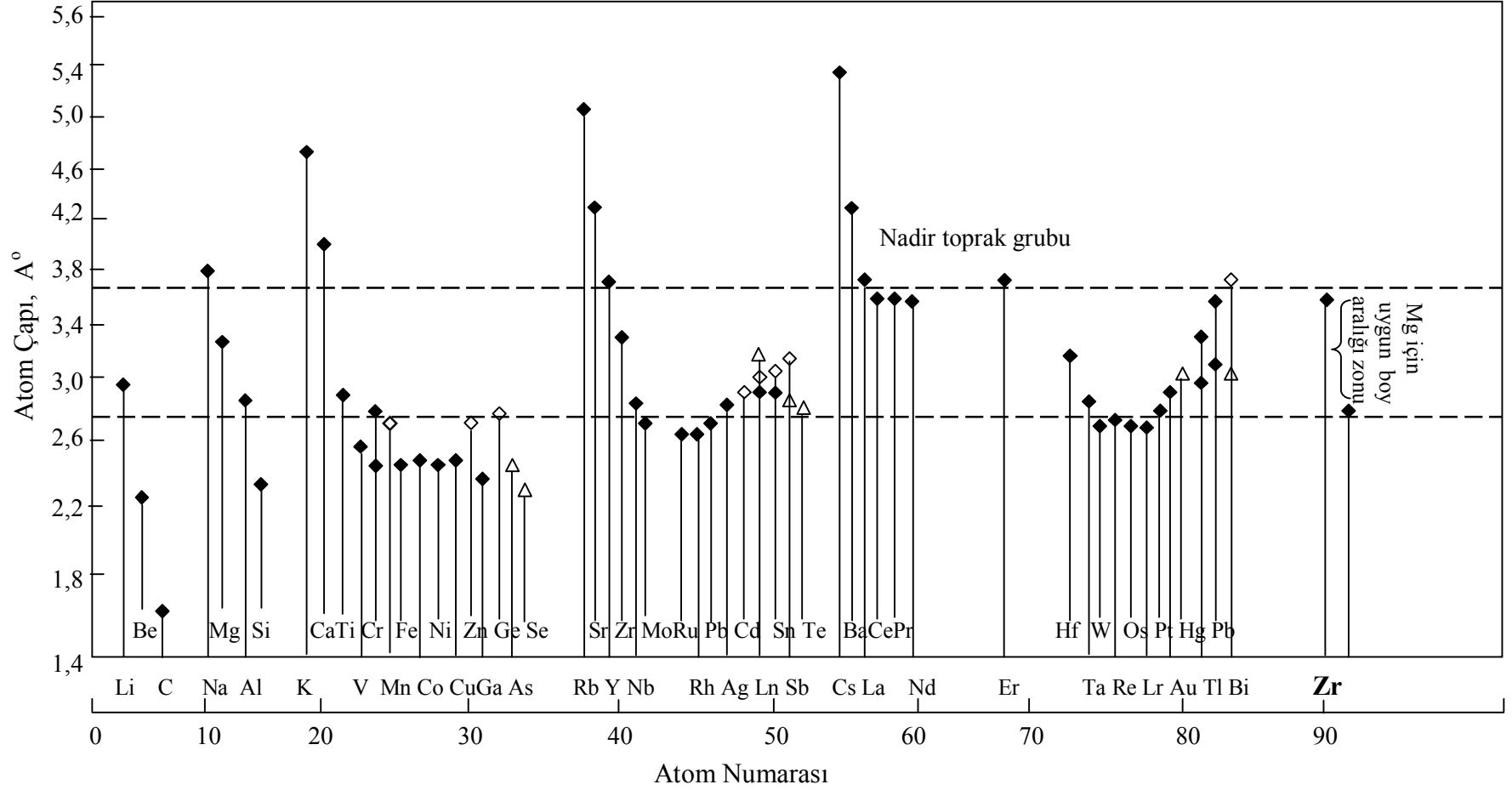
2.4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN MAGNEZYUM ALAŞIMLARINA ETKİLERİ

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 çözeltili oluşmayabilir. Ayrıca, katı çözeltili oluşturabilmek için iki elementinde aynı kristal yapıya sahip olması gerekir [9,15]. Çizelge 2.5'da 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 In	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

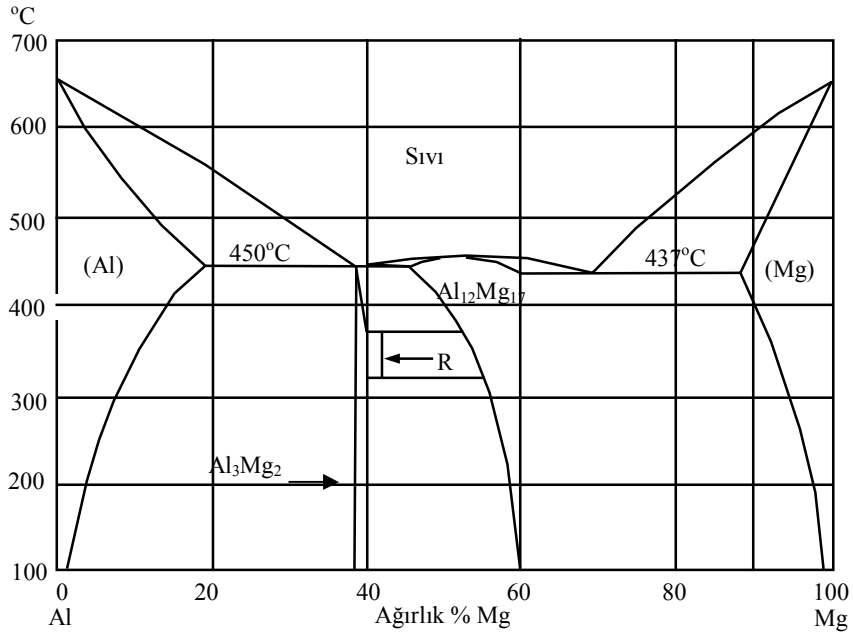


Şekil 2.10. Elementlerin uygun atomik boyutları [9]

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.

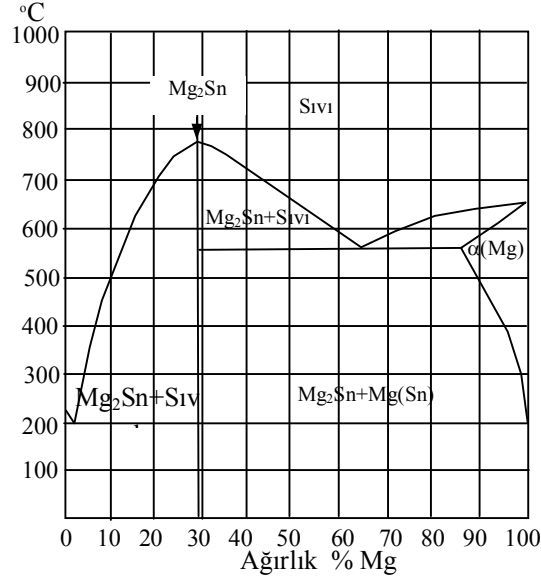


Şekil 2.11. Mg-Al denge diyagramı [26,27]

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

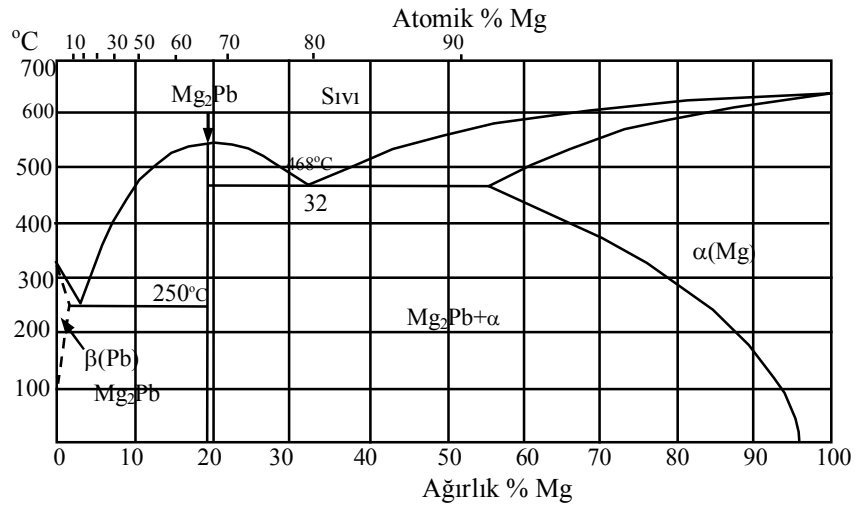
tipi Mg_2Sn partiküllerin gözlenmesi Mg matrisi ile birlikte olur [29]. Şekil 2.12’de Mg-Sn denge diyagramı görülmektedir.



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

2.4.3. Kurşun (Pb)

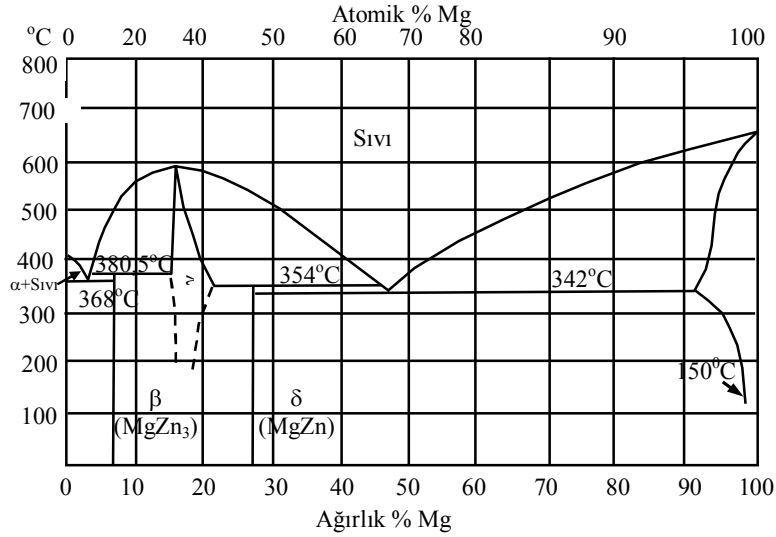
Alaşıma ilave edilen Pb iyi bir çözünürlüğe sahip olduğundan; yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 460 °C) %40’a kadar Pb çözünmekte ve ayrı faz olarak ortaya çıkmamaktadır. Şekil 2.13’de verilen Mg-Pb denge diyagramı incelendiğinde alaşım sıcaklığı azaldıkça $Mg_2Pb + \alpha$ fazı oluşmaktadır. Pb, iyi bir 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)

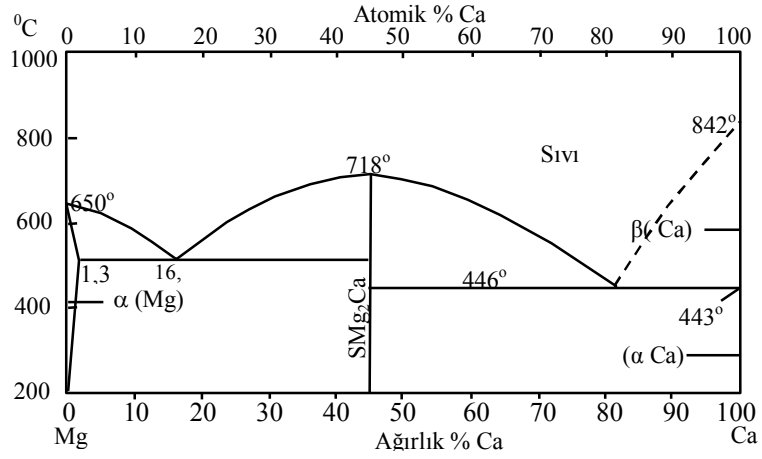
Zn, tane sınırlardaki ötektik miktarını artırarak, alaşımın katılma sıcaklığını düşürmektedir. Korozyon özelliklerinde Cu'nun kötü etkisini yok etmek için Zn ilave edilmektedir [3,19,25]. Zn, çökelti sertleşmesi sayesinde ortam sıcaklıklarında dayanımı ve aynı zamanda ergiyeğin akıcılığını artırmakla 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)

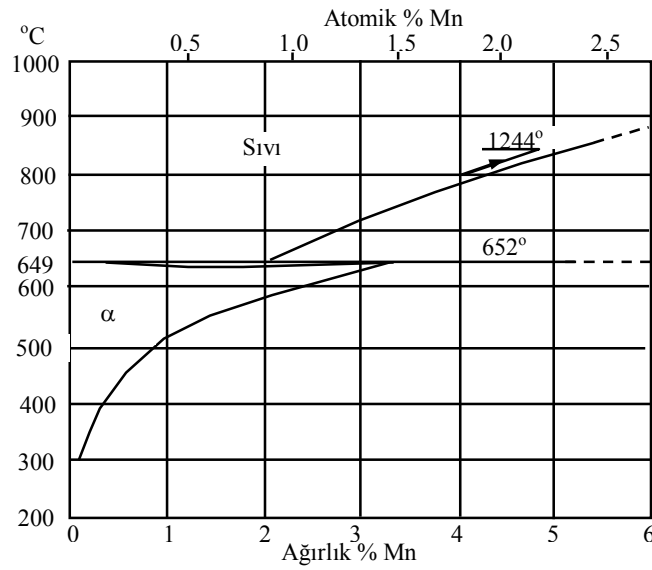
Şekil 2.10'da Mg-Ca denge diyagramı verilmiştir. Ca'nın, Mg içerisinde maksimum çözünebilirliği 565 °C'de %1,34, 200 °C'de ise yaklaşık % 0'dır. İntermetalik bileşim olan Mg₂Ca'un ergime noktası 715 °C'ye ulaşır (Şekil 2.15). Çünkü Mg'de Ca sınırlı çözünebilirliği ile katı eriyik sertleşmesine etkisi 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)

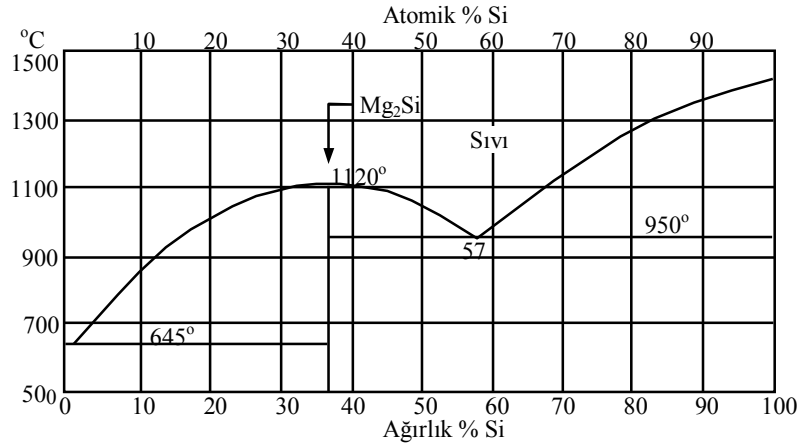
Alaşıma ilave edilen Mn daha çok korozyon direncini artırmak için kullanılır. Mn'in Mg alaşımlarında, korozyon direncine etkisi fazladır. Fe-Mn çökeltilerinde, Fe'in kontrolü için Mn kullanılır. Mn, Mg alaşımlarının sürünme direncini geliştirir ve Fe'in etkisini azalttığı için, korozyonu engeller. Fakat,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



Şekil 2.16. Mg-Mn denge diyagramı [27]

2.4.8. Silisyum (Si)

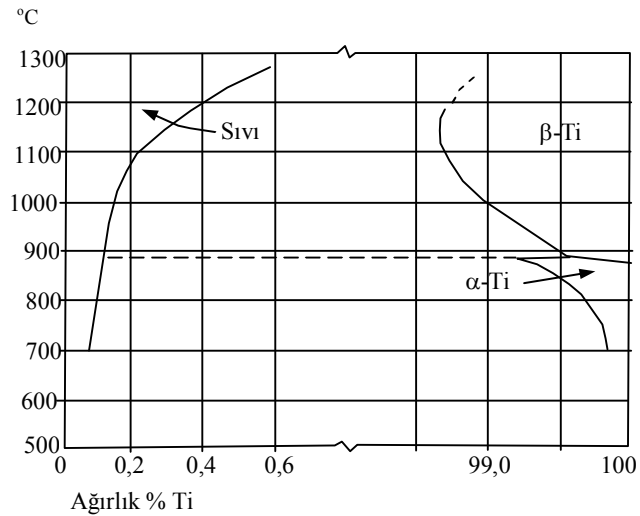
Litaratürde Si'un Mg alaşımlarının dökülebilirliğini ve akıcılığını düşürdüğü açıklanmaktadır [1,8,9]. Korozyon özelliklerinin iyileştirilmesinde ihmal edilebilir derecede etkisi vardır [8,9]. Si atomları, Mg matrisinde kritik çaptan aşağı düştüğünde, oda sıcaklığında katı halde Mg_2Si intermetalik oluşturur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



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

2.4.11. Titanyum (Ti)

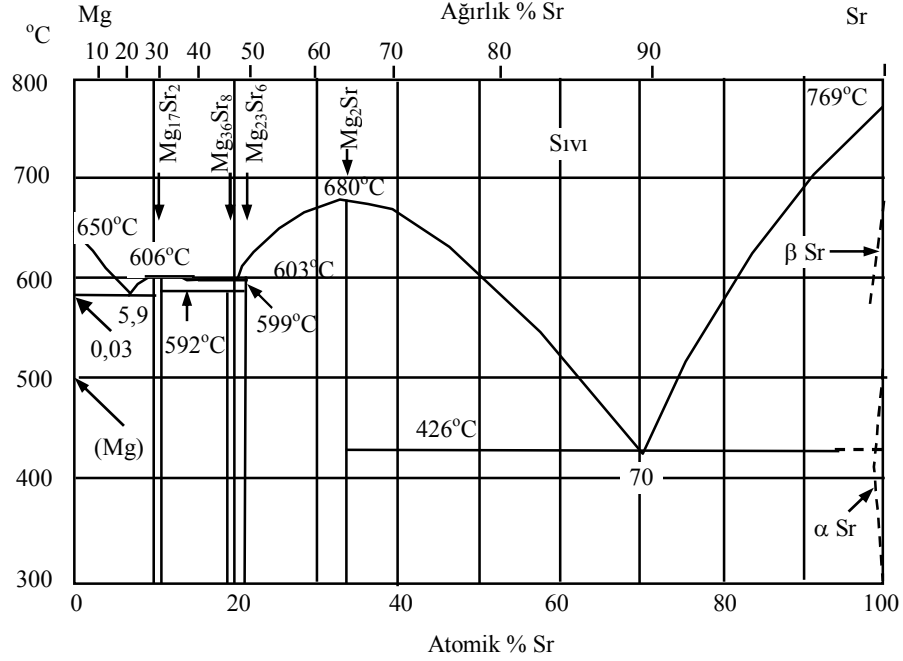
Alaşıma ilave edilen Ti, Mg içinde çok az çözünürlüğe sahiptir. Hızlı katılaşma ile Mg alaşımları üretilirse Ti'un çözünürlük miktarı artırılabilir [32]. Şekil 2.18'de Mg-Ti denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.18. Mg-Ti denge diyagramı [27]

2.4.14. 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]

2.4.16. 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 çökeltileri matriste ve tane sınırlarında dağılır. Sodyum (Na), Potasyum (K), Li gibi RE elementleri korozyon özelliklerini de iyileştirir [3,6,9].

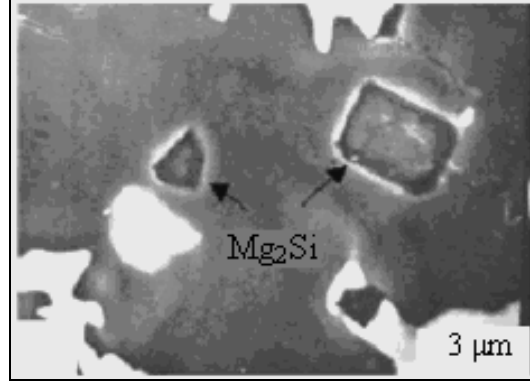
2.5. MAGNEZYUM-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

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, Yt 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 [33]. Şekil 2.26’da Si’li Mg alaşımlarının mikroyapısı görülmektedir.



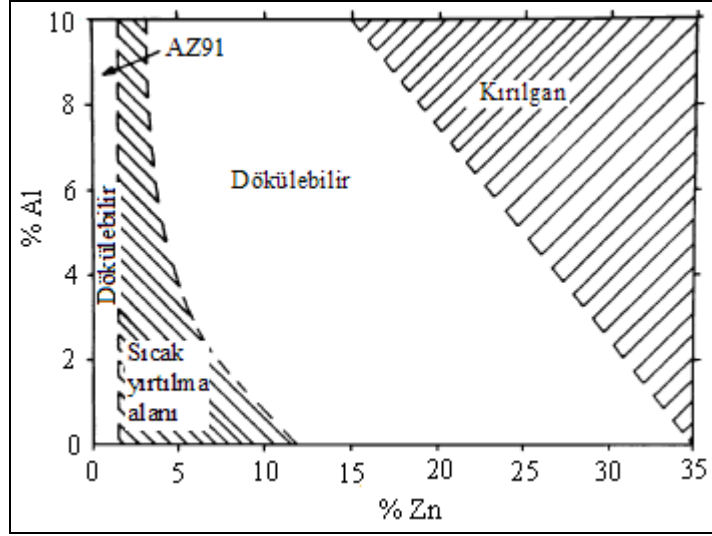
Şekil 2.20. Si'li Mg alaşımasının mikroyapısı [33]

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 [34].

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 [9,35]. Şekil 2.21'de Mg-Al-Zn esaslı döküm alaşımlarının dökülebilirlik aralıkları verilmiştir.

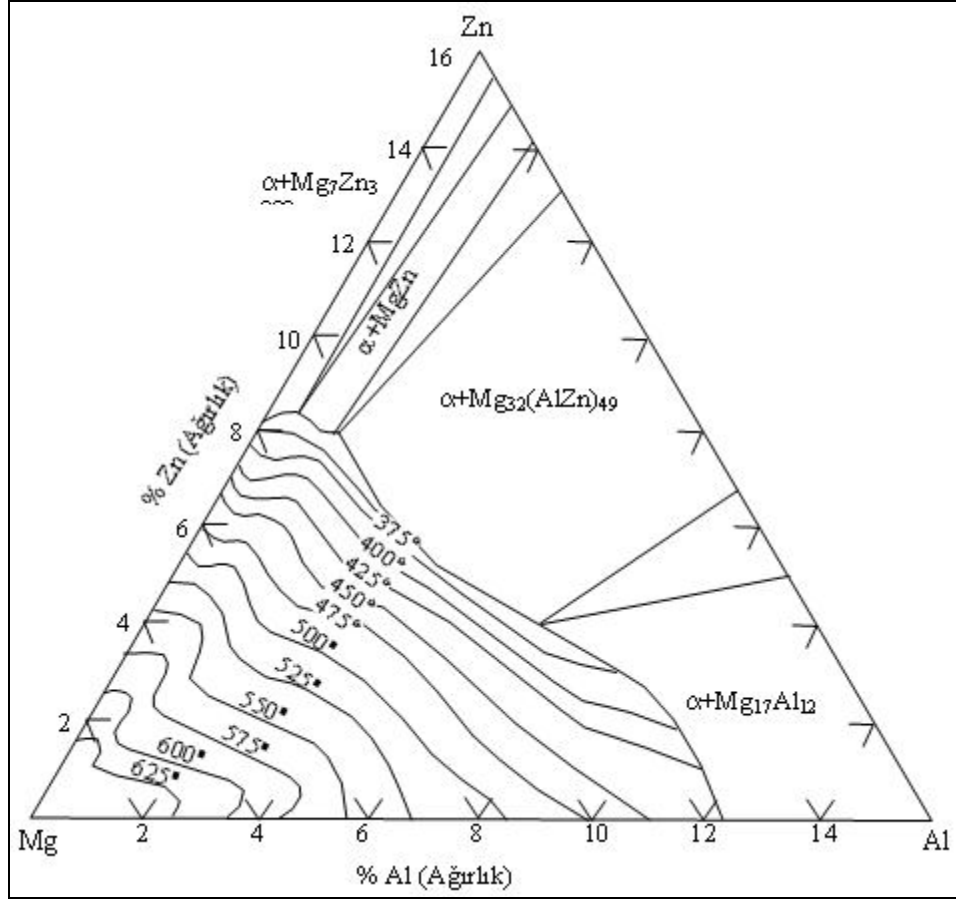


Şekil 2.21. Mg-Al-Zn alaşım sisteminin dökülebilirliğinin şematik resmi [6,35,36]

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 °C'den yüksek sıcaklıklarda ortadan kaybolur. $Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$ fazının oluşma sıcaklığı 535 °C'dir. $MgZn$ ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarının ergime sıcaklıkları sırasıyla 347 °C ve 460 °C'dir [9,36].



Şekil 2.22. Mg-Al-Zn üçlü faz diyagramı [9,36,15]

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 sıcaklıkları da τ =535 °C ve η =590 °C'dir. Bu yüzden bu iki faz termal kararlılıkları sayesinde, yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek en umut verici intermetalik bileşiklerdir [9,36,15].

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 [9,37]. 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. AZ 61 alaşımlarının Mikroyapısı genelde a-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 a-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 [1,41].

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 [41].

3.2. KOKİL KALIBA DÖKÜM

Kokil kalıp döküm, iki yada 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 [9,42]. Eğik döküm işleminde kokil kalıp dikey yönelmiş parçalarla kalıp içerisine yerleştirilir.

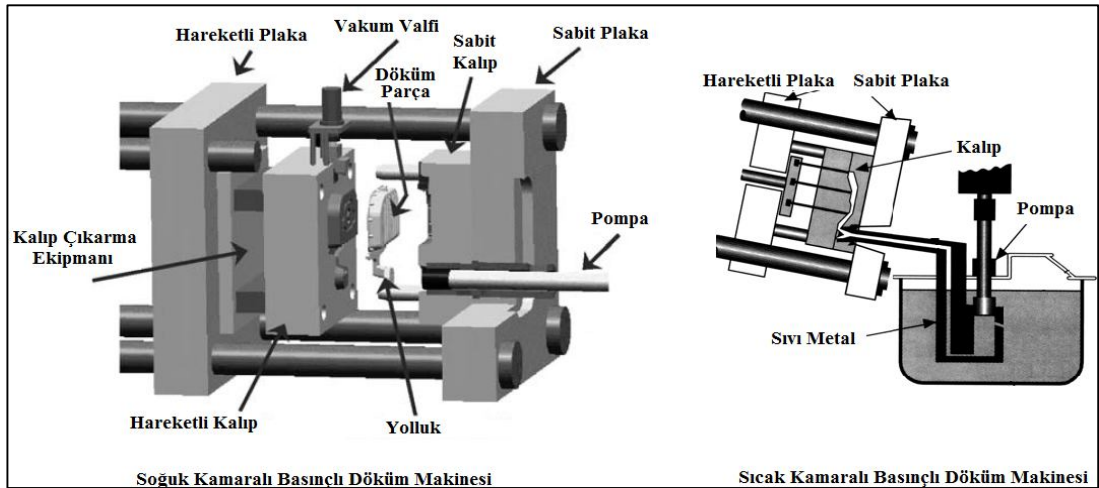
Mg-Al-Zn tipi metaller kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlardır. Bu yöntemde Mg alaşımları Al alaşımlarından çok daha hızlı dökülür. Al alaşımlarına göre kalıp ömrü daha uzundur. Çünkü Mg'de kalıp yüzeyine yapışma daha az Al'de ise daha fazladır. Mg kalıpları, Al kalıplarından 2 kere daha fazla dayanır. 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 [41].

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 işlemden 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.

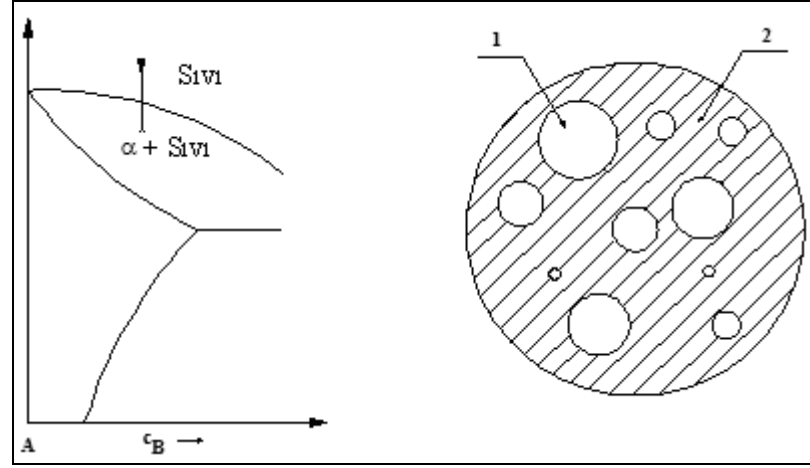


Şekil 3.1. Mg alaşımları basınçlı döküm makinesi [1,22]

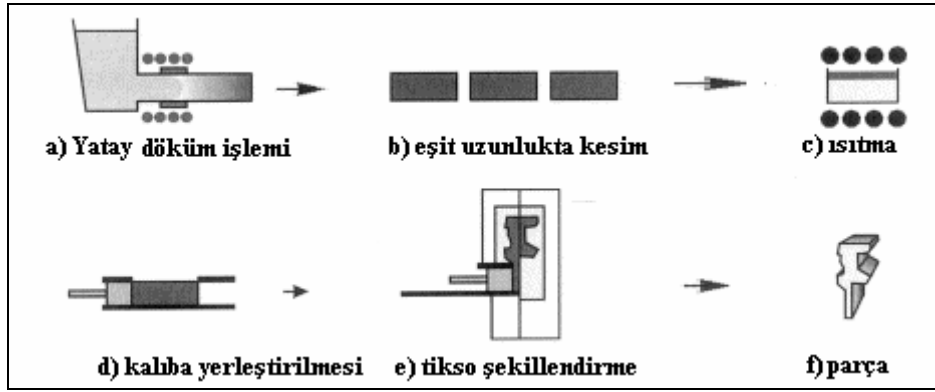
Sıcak kamaralı döküm işleminde, ergimiş metalin türbilansı azalmaktadır. AZ91, basınçlı dökümde kullanılan en önemli Mg alaşımıdır. AZ91 basınçlı döküm numunelerinin çekme özellikleri kokil ve kum döküme göre daha iyidir.

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 [43]. 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 sahip Mg ana matrisini küresel hale getirip nispeten şekillenebilen Mg-x fazı ile çevrelendirip tok bir malzeme elde etmektir [1,43].

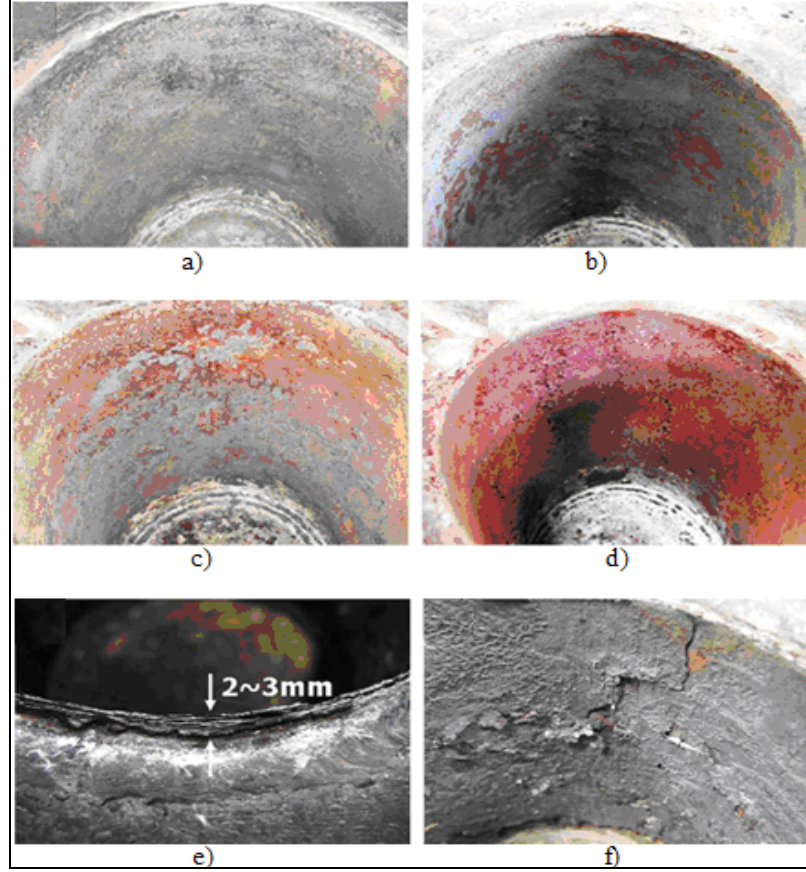
3.5. MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ ERGİTİLMESİ VE DÖKÜMÜ

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 [44]. 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 [1,40].

- 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 konsantrasyonlarda 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 [44].



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 [44]

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 [45]

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) [13,31]

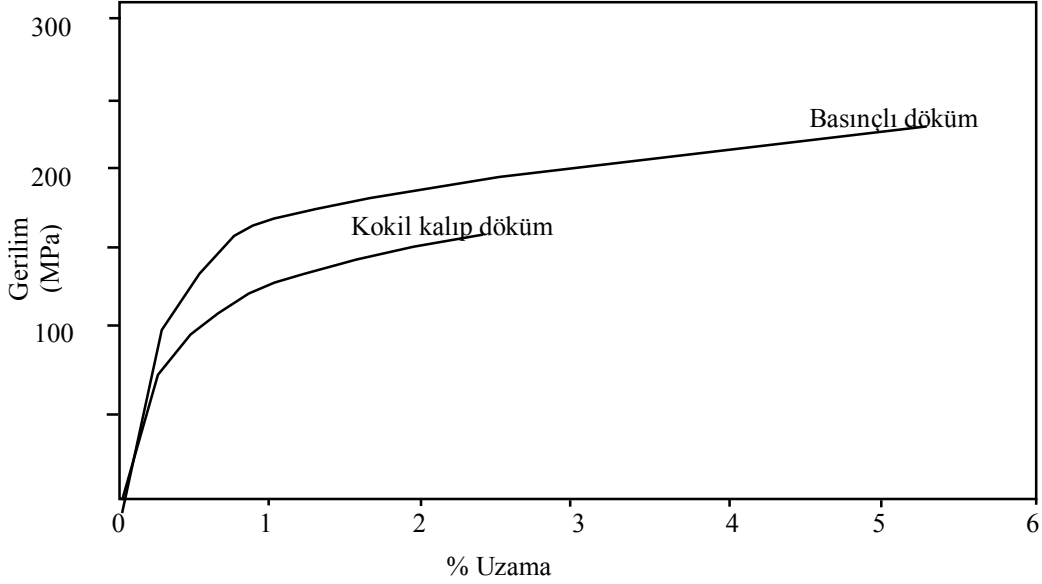
Özellik	Birim	Mg alaşımları						
		AZ91	AM60	AM50	AM20	AS41	AS21	AE42
Max.Gerilme	MPa	230	247	237	206	240	230	237
Akma Dayanımı	MPa	148	123	116	94	130	120	130
Kopma Uzaması	%	6	12	14	16	10	12	13
Elastik Modül	GPa	45	45	45	45	45	45	45
Brinell Sertlik	BSD	70	65	60	45	60	55	60
Darbe Dayanımı	J	6	17	18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

Çizelge 3.2. Mg alaşımlarının oda sıcaklığında fiziksel özellikleri (basınçlı döküm) [13,31]

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

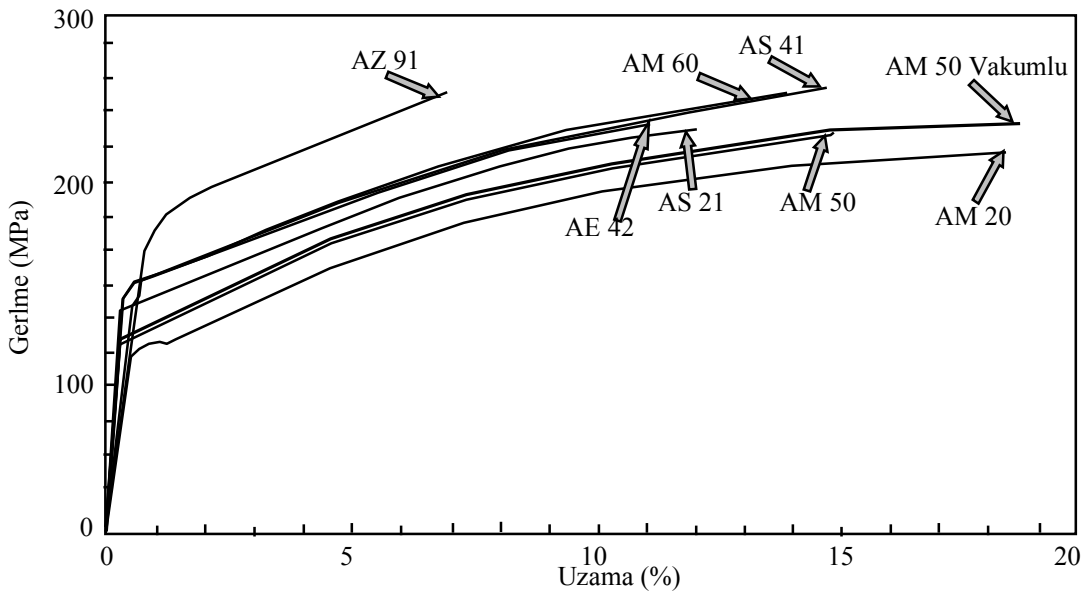
Çekme özelliklerinden genellikle, maksimum çekme dayanımı, uzama ve elastik modülü gibi bilgiler malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir. Şekil 3.6’da kokil kalıp döküm ve basınçlı döküm için tipik bir gerilme - gerinim test eğrileri verilmiştir. Bu verilen iki eğri, sınırlı bir elastik 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 [38]. 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

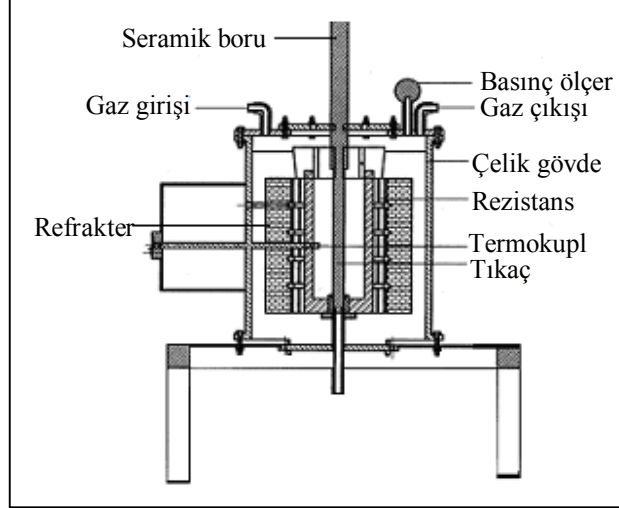
AM60 ve AZ61 magnezyum alaşımının hazırlanmasında % 99,8 saflıkta Mg kullanılmıştır. Alaşıma Diğer elementler Pb ve Sn ilavesi ön alaşım ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan ön alaşımlar, ikinci bir ergitme ile şekil 4.3' de görülen kademeli metal kalıp içine dökülmüştür. AM60 ve AZ61 alaşımına deneysel çalışmalarda ilave edilen alaşım elementleri ve % miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan alaşımların analiz sonuçları

Alaşım	Al	Mn	Zn	Pb	Sn	Diğer	Mg
AZ61	6.2	0.12	1.05	-	-	0.012	92.618
AZ61+ 0.5 Sn	6.3	0.11	0.8	-	0.52	0.009	92.261
AZ61 + 0.5 Pb	5.9	0.09	0.9	0.49	-	0.008	92.612
AM60	6.1	0.24	0.04	-	-	0.021	93.599
AM60 + 0.5 Sn	6.0	0.31	0.04	-	0.47	0.017	93.163
Am60 + 0.5 Pb	5.9	0.09	0.9	0.48		0.009	92.621

4.2. ATMOSFER KONTROLLÜ ERGİTME ÜNİTESİ

Magnezyum alaşımlarının ergitilmesinde ve dökümünde Şekil 4.1'de görülen 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 arasına ısı yalıtımı için dolgu malzemesi kullanılmıştır. Ocak içi sıcaklığını ölçmek için ısılıçift yerleştirilmiştir. Ocak üst kapağına sızdırmazlık sağlamak için dairesel (“O” ring) conta yerleştirilmiştir. Yapılan ocak bir tezgah üzerine monte edilmiştir.

4.3. ERGİTME VE ALAŞIMLAMA PRATIĞİ

Magnezyum ve alaşımlarının ergitilmesi, ocağın içine yerleştirilen 2 kg Mg ergitme kapasiteli Paslanmaz çelik potada yapılmıştır. Ergitme işlemi esnasında ortamın atmosferle temasını kesmek için ergitme süresince ocağa koruyucu gaz verilmiştir. Ergitme tamamlandıktan sonra açma-kapama kolu ile ocağın içindeki potanın altından direkt kademeli kalıba döküm yapılmıştır

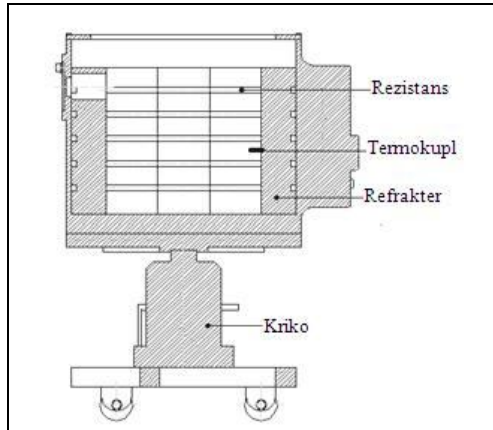
Ergitme işleminde kullanılan paslanmaz çelik potanın tabanına, açma kapama kolu ile kontrol edilebilen ve sıvı metalin akacağı yaklaşık 15 mm çapında delikli sistem yapılmıştır. Kullanılan Paslanmaz çelik pota Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Ergitme işleminde kullanılan grafit pota resmi.

Ocak ve metal sıcaklığı 750°C olarak seçilmiştir. Ocak istenilen sıcaklığa çıktıktan sonra yaklaşık 10 dakika bekletilerek alaşımın döküm sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır. Alaşım döküm sıcaklığına ulaştıktan sonra, ergitme ocağı açma kapama kolu vasıtası ile kontrollü olarak ergitme potasının tabanı açılarak kalıba sıvı metalin akması sağlanmıştır. Döküm işlemi, kalıplara koruyucu gaz verilerek; 250°C 'deki kalıp sıcaklıklarında yapılmıştır.

Deney kalıplarını 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 dökümler yapılmıştır. Kullanılan fırın kesiti resmi Şekil 4.3'de görülmektedir.

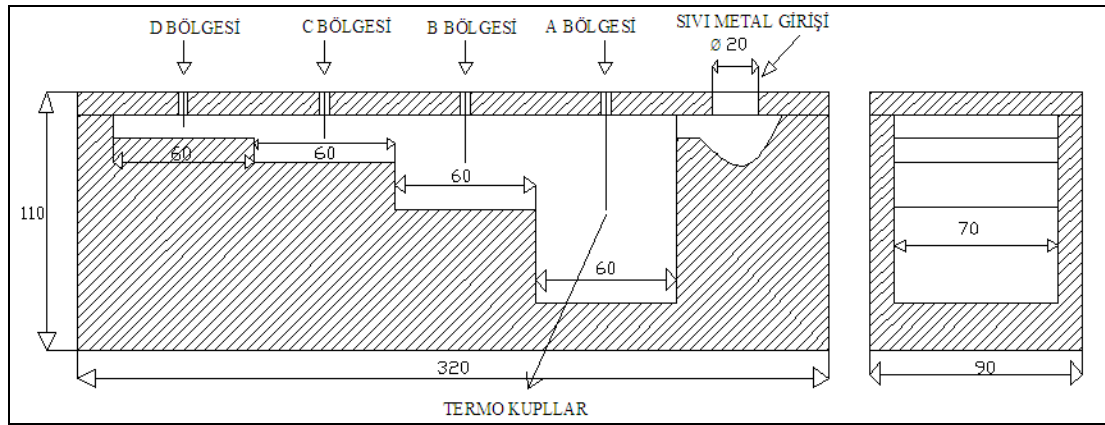


Şekil 4.3. Kalıp ısıtma fırını kesit şekli

Deneyleerde daha önce [39] doktora çalışmasında uyguladığı ocak ve kalıpta kullanılan atmosfer ortamları seçilmiştir. Ocak ortamında % 99.9 saflıkta Argon gazı, Kalıp ortamında ise CO₂ + % 0,8 SF₆ gazı kullanılmıştır.

4.4. KALIP UYGULAMASI

Deneyleerde 250 °c dereceye ısıtılan ve Şekil 4.4 de verilen kademeli kalıp kullanılmıştır. Kademeli kalıbın (a) bölgesi h:80 mm, (b) bölgesi h:40mm, (c) bölgesi h:20mm ve (d) bölgesi h:10mm yüksekliğindedir. Her bir kademenin döküm sıcaklıkları Termokupllar yardımı ile zamana bağlı olarak ölçülmüştür.

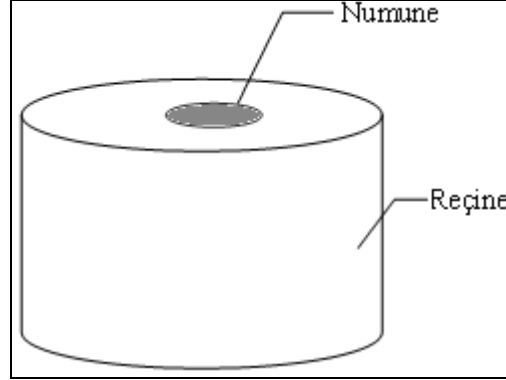


Şekil 4.4. Kademeli metal kalıp kesit resmi.

4.5. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

Dökümü yapılan alaşımların mikroyapı numuneleri döküm bölgelerinin merkezlerinden 20x20x20 mm boyutlarında çıkartılmıştır. Metalografik incelemeleri yapılmak üzere numunelerin yüzeyleri sırası ile 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 yıkayıp kurutulmuştur. Diğer aşamada ise %75 etilen glikol, %24 saf su, %1 HNO₃ karışımı ile dağlanmışır. Deneyleimizde altı farklı alaşımın mikroyapı resimleri farklı hızlarda soğuyan bölgelerden alınan numunelerden, 10, 20 ve 50 büyütmelele çekilmiştir. Mikroyapı resimleri Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal

Eğitimi Bşlümü Malzeme laboratuvarındaki Nikon Epiphot marka mikroskopta çekilmiştir.Şekil 4.5’de mikroyapı numunesi görölmektedir.

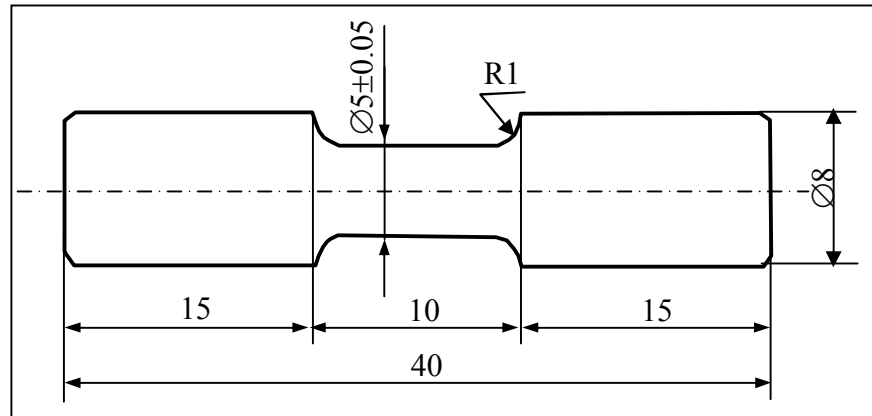


Şekil 4.5. Mikroyapı ve sertlik numunesi

4.6. MEKANİK DENEYLER

4.6.1. Çekme Deneyi

Şekil 4.3’de gördüğünüz metal kalıbın her bir bölgesinden 4’er adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Çekme deneyleri Karabük Üniversitesi laboratuvarındaki SHIMADZU marka 5 ton çekme kapasitesine ayarlanabilen çekme cihazında ve 0.5 mm/dk çekme hızında yapılmıştır. Şekil 4.6’da çekme numunesinin şekli ve ölçüsü görölmektedir.



Şekil 4.6. Çekme deney numunesi (ASTM E 8M-99) (Yokohama 2003).

4.6.2. Sertlik Deneyi

Sertlik deneyi numuneleri (Şekil 4.5) döküm bölgelerinin merkezlerinden 20x20x20 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 gr. yük uygulanmış ve Vickers cinsinden sertlik değerleri elde edilmiştir. Numunelere sertlik deneyi uygulanırken numunenin ölçüm yapılabilecek en dış noktasından merkezine kadar eşit aralıklarda 5 farklı nokta belirlenmiş ve belirlenen bu noktalardan sertlik ölçümü yapıp değerlerin ortalamaları alınmıştır.

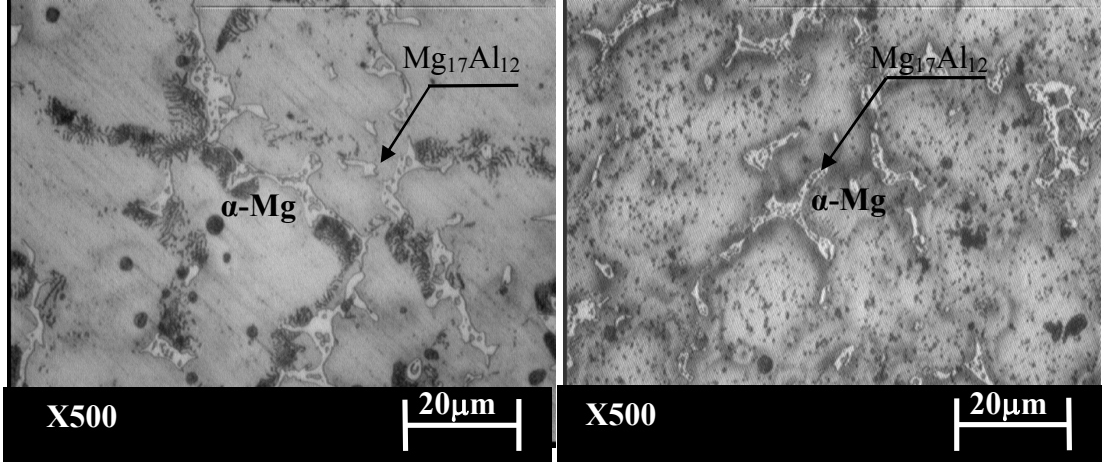
BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR

5.1 MİKROYAPI SONUÇLARI

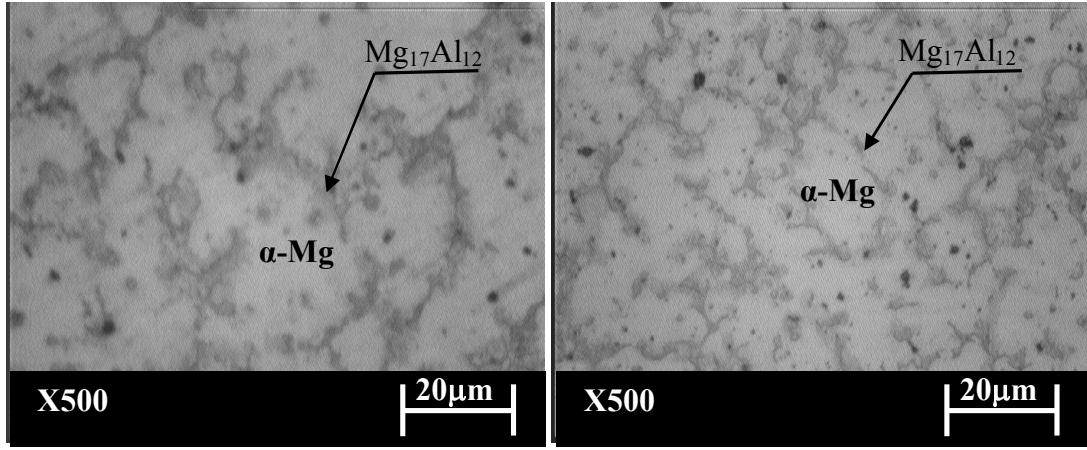
AZ61 ve AM60 alaşımları mikroyapı işlemleri için Şekil 4.4 de görülen dört kademedan oluşan metal kalıp kullanılmış ve her bir kademesinden alınan numunelerin mikroyapı görüntüleri incelenmiştir. Mikro yapı incelemeleri AZ61 ve AM60 serisi alaşımlar için ayrı ayrı yapılmıştır.

AZ61 ve AZ61'e ilave edilen % 0,5 Sn ve % 0,5 Pb elementlerin oluşturduğu dökümlerin dört farklı kademesinden alınan numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 5.1 - 5.3 de sırasıyla verilmiştir. Ayrıca AM60 ve AM60'a ilave edilen % 0.5 Sn ve % 0.5 Pb elementlerinin oluşturduğu dökümlerin dört farklı kademesinden alınan numunelerin mikroyapı görüntüleri de Şekil 5.4-5.6'da sırasıyla verilmiştir.



(a)

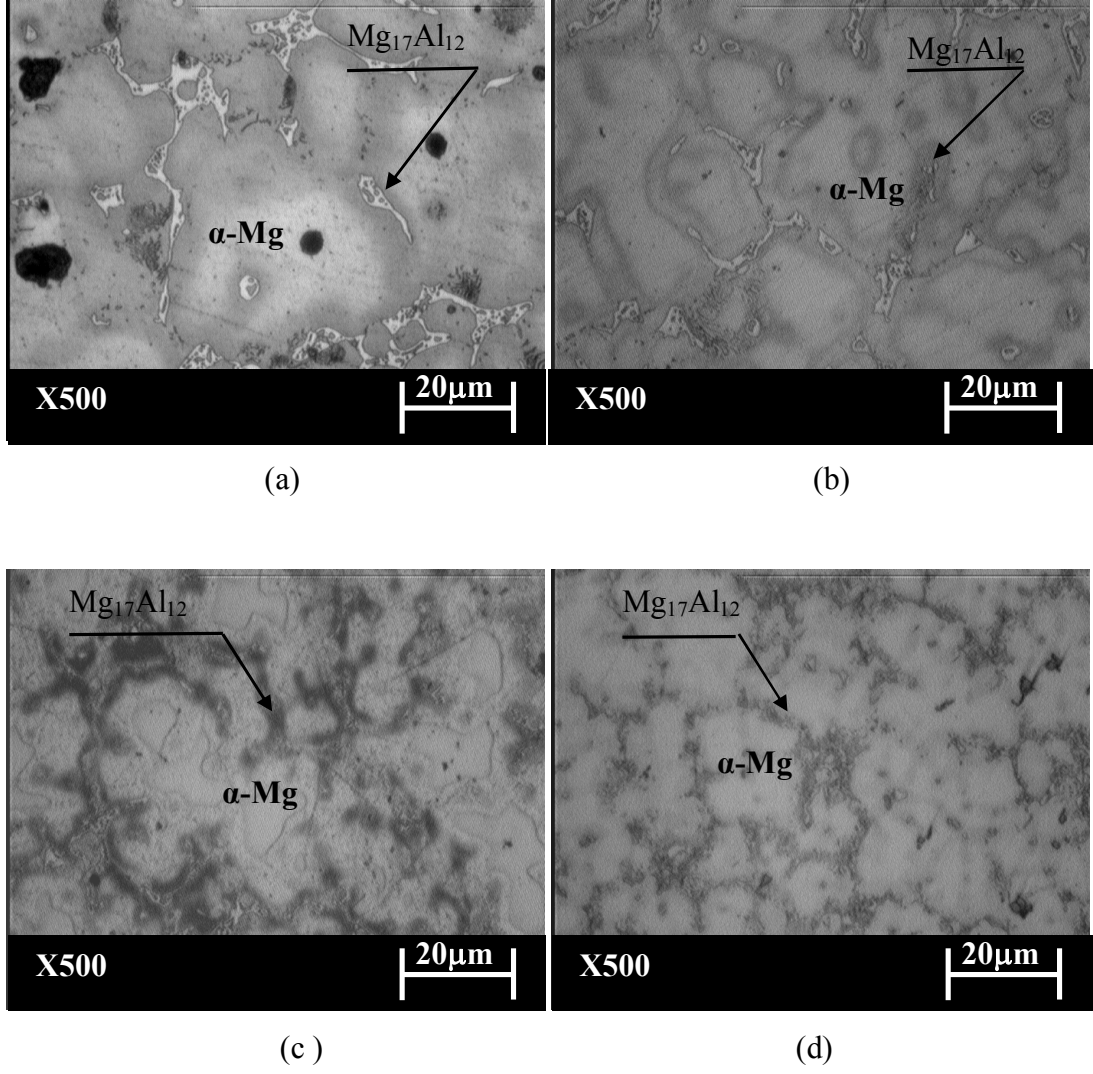
(b)



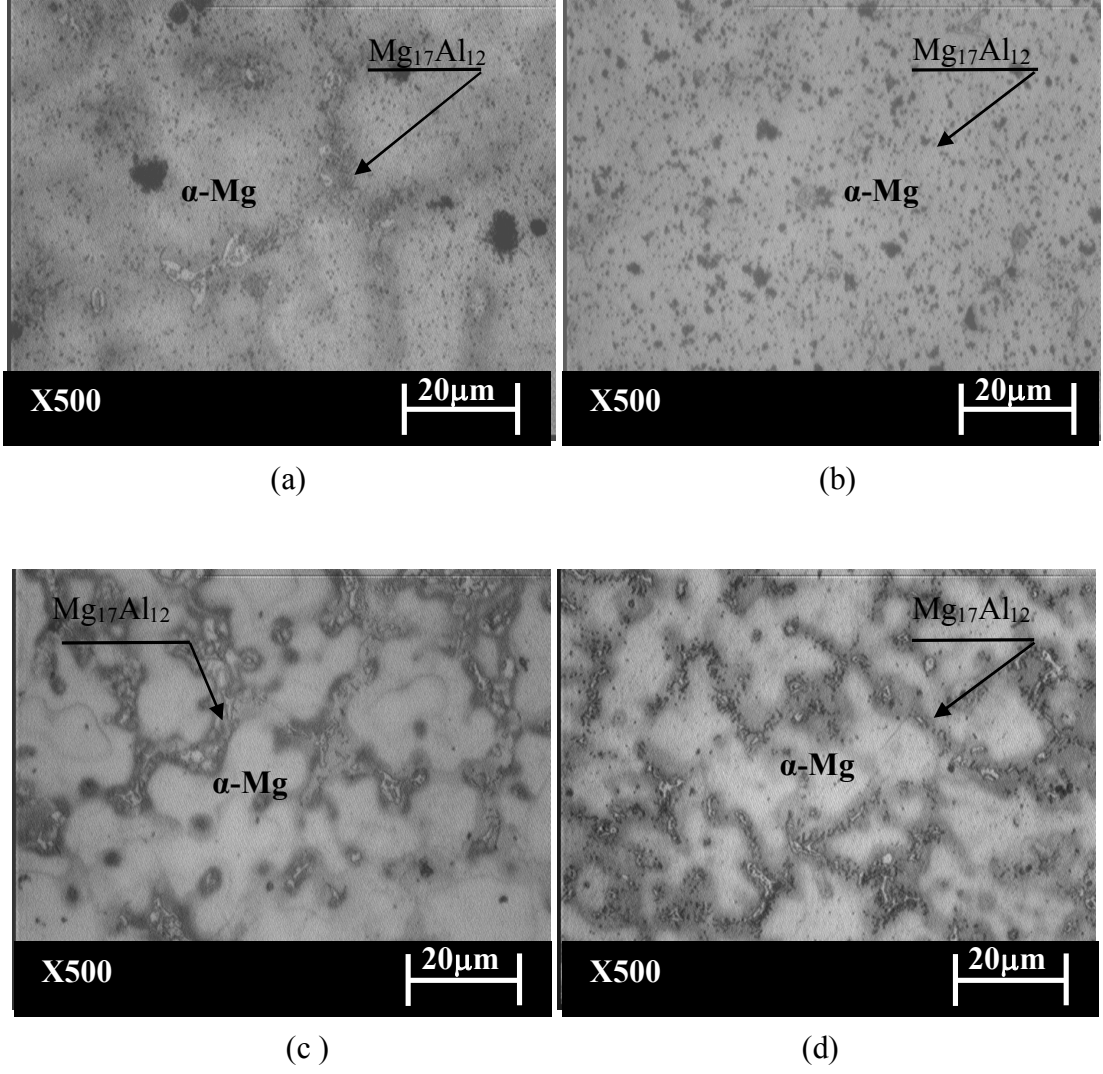
(c)

(d)

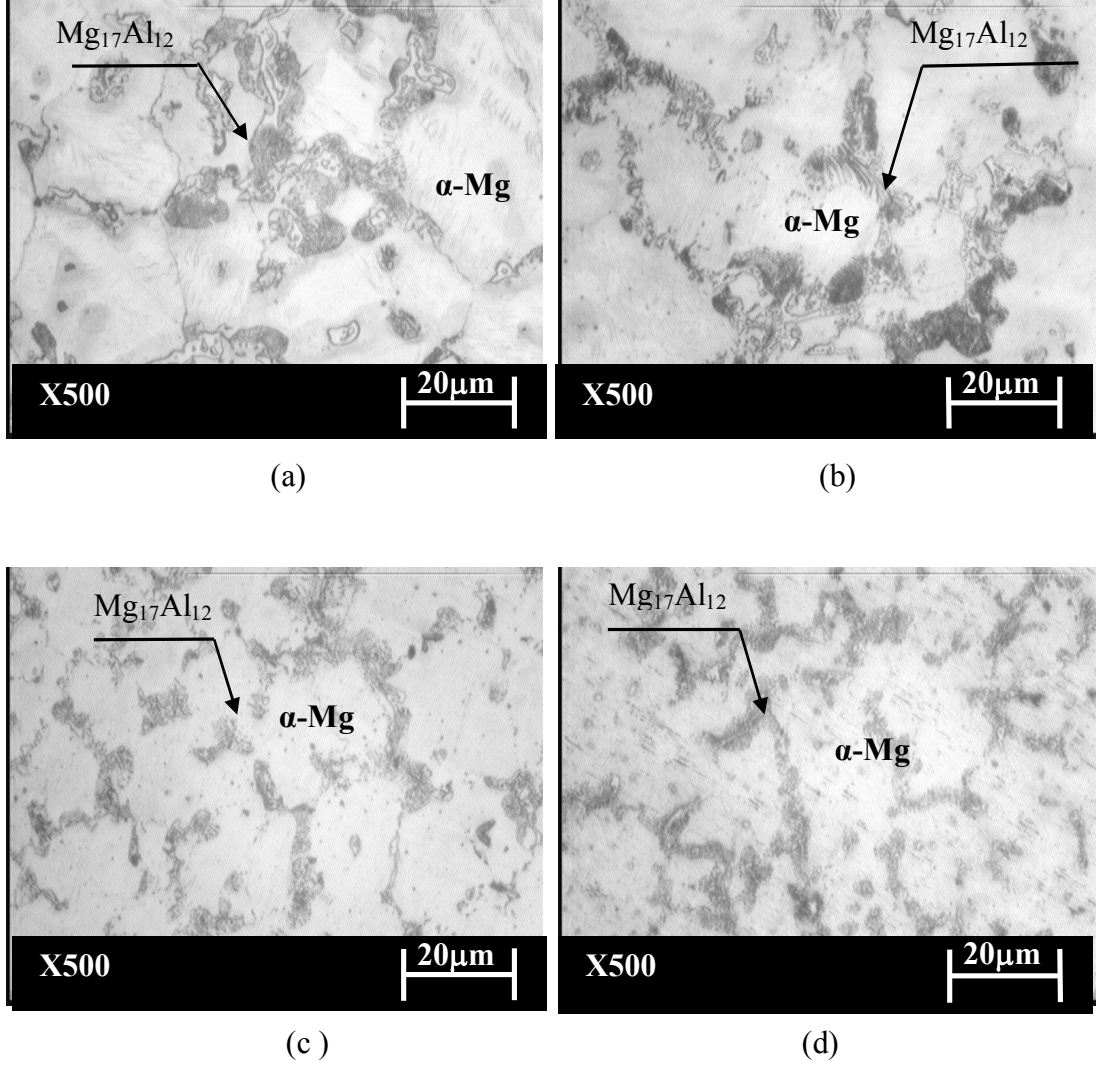
Şekil 5.1. AZ61 alaşıımının kademe kalınlığına bağlı mikroyapı görüntüleri. (a) h: 80 mm, (b) h: 40 mm, (c) h:20 mm ve (d) h: 10 mm



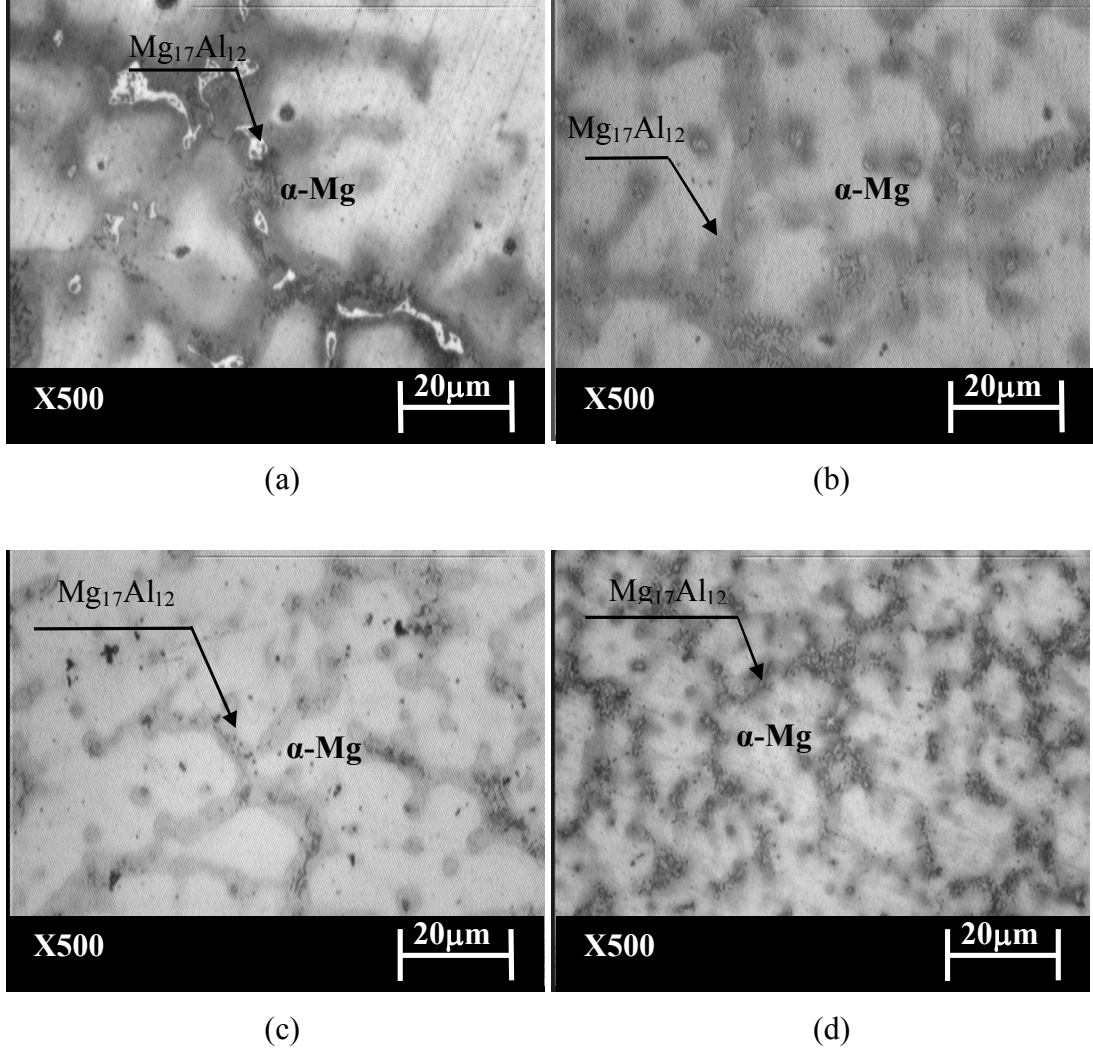
Şekil 5.2. AZ61 + % 0.5 Sn alaşımının kademe kalınlığına bağlı mikroyapı görüntüleri (a) h: 80 mm, (b) h: 40 mm, (c) h:20 mm ve (d) h: 10 mm



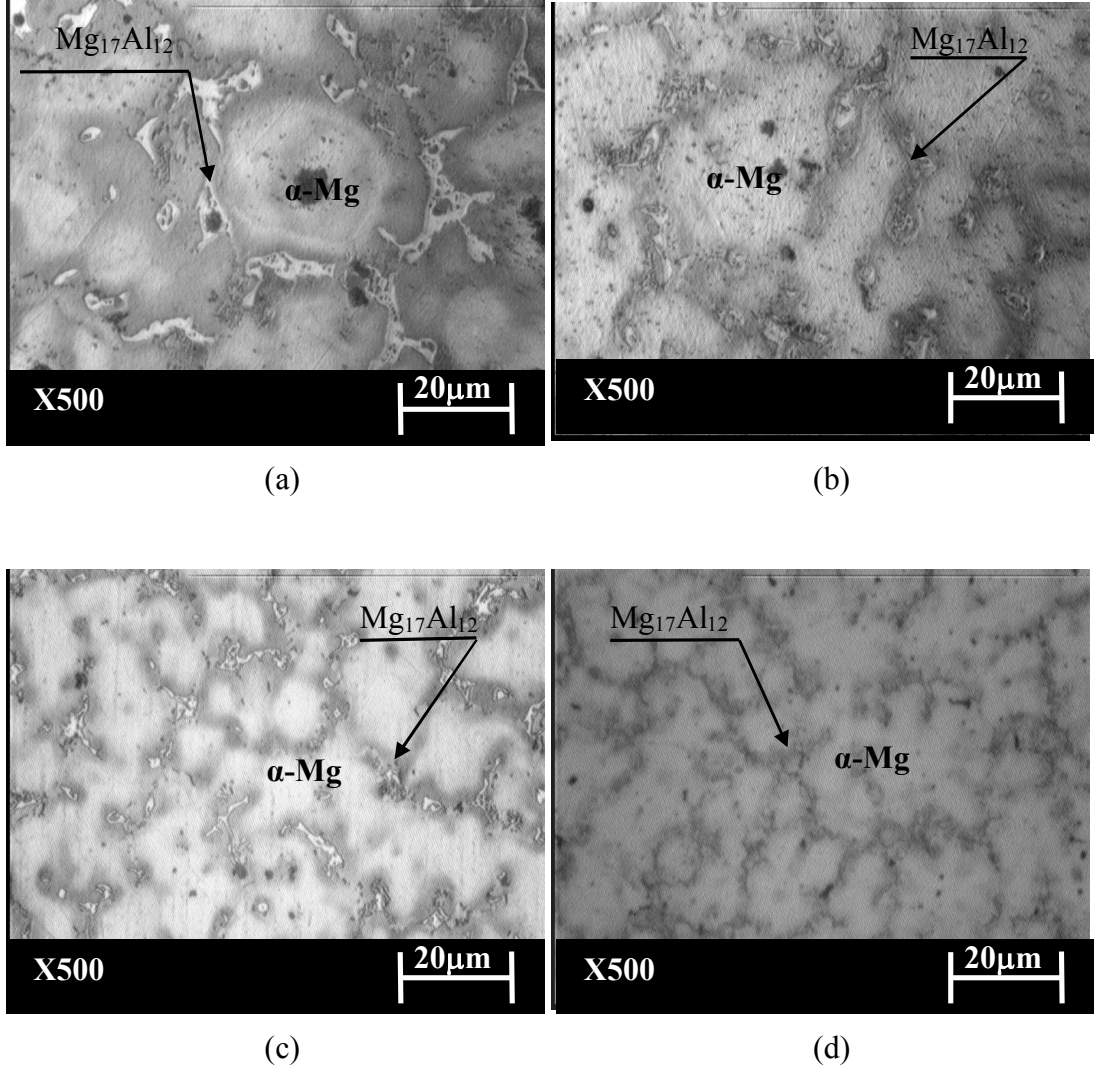
Şekil 5.3. AZ61 + % 0.5 Pb alaşımının kademe kalınlığına bağlı mikroyapı görüntüleri (a) h: 80 mm, (b) h: 40 mm, (c) h:20 mm ve (d) h: 10 mm



Şekil 5.4. AM60 alaşımının kademe kalınlığına bağlı mikroyapı görüntüleri (a) h: 80 mm, (b) h: 40 mm, (c) h: 20 mm ve (d) h: 10 mm.



Şekil 5.5. AM60 + % 0.5 Sn alaşımının kademe kalınlığına bağlı mikroyapı görüntüleri. (a) h: 80 mm, (b) h: 40 mm, (c) h:20 mm ve (d) h: 10 mm

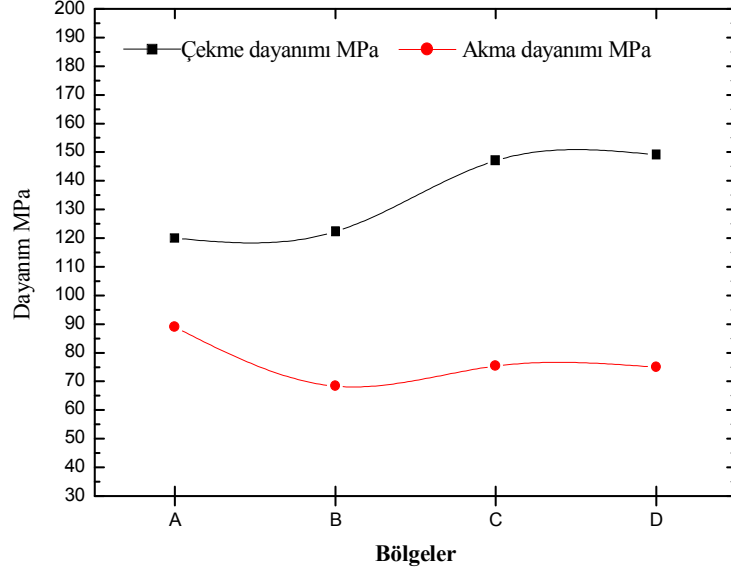


Şekil 5.6. AM60 + % 0.5 Pb alaşımının kademe kalınlığına bağlı mikroyapı görüntüleri (a) h: 80 mm, (b) h: 40 mm, (c) h:20 mm ve (d) h: 10 mm

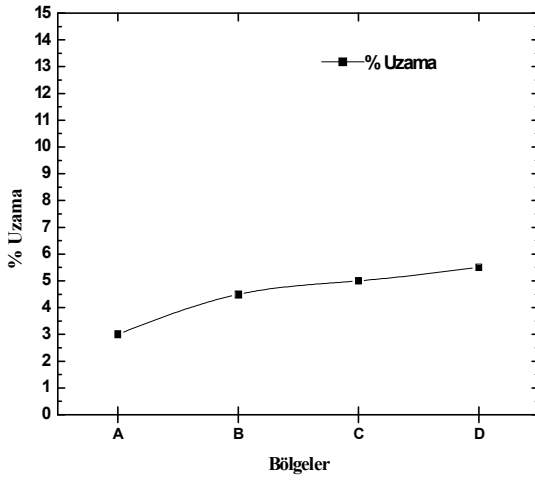
AZ61 ve AM60 serisi alaşımların mikro yapılarına bakıldığında; hepsinde soğuma hızı arttıkça tane yapısının küçüldüğü görülmektedir. Tane sınırlarında her bir alaşım için $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazının, ilave edilen elementlere bağlı olarak da Mg_2Pb ve Mg_2Sn fazlarının oluştuğu gözlenmiştir.

5.2. MEKANİK DENEY SONUÇLARI

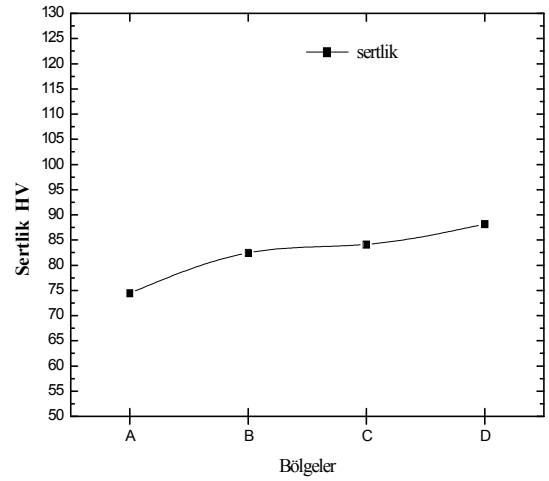
Kademeli metal kalıba dökülen alaşımların mekanik deney sonuçları (Çekme, Akma, % uzama ve Sertlik) Şekil 5.7 – 5.12’de sırasıyla verilmiştir.



(a)

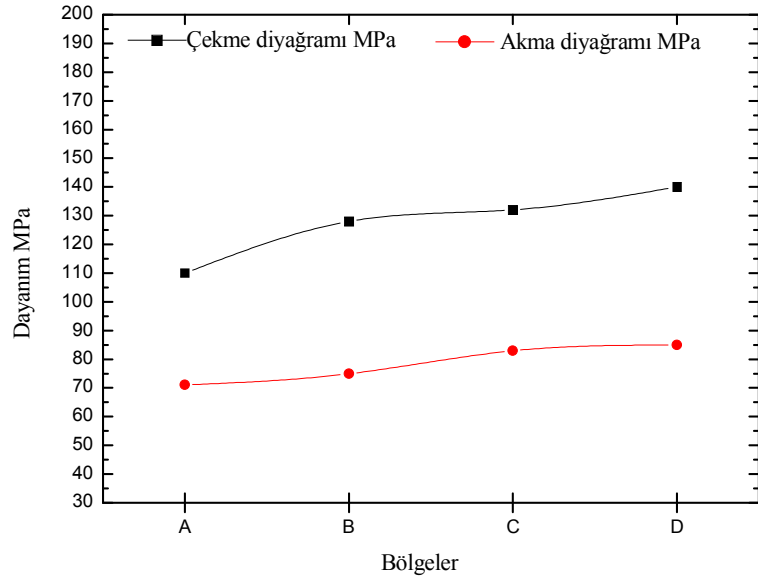


(b)

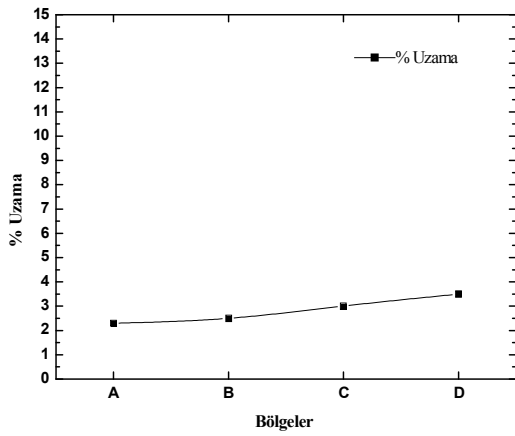


(c)

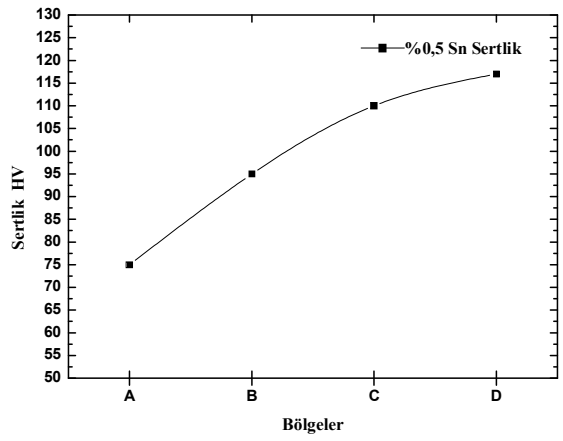
Şekil 5.7. AZ61 alaşımlarının a) Çekme-Akma dayanımı, b) % Uzama değişimi c) Sertlik değişimi.



(a)

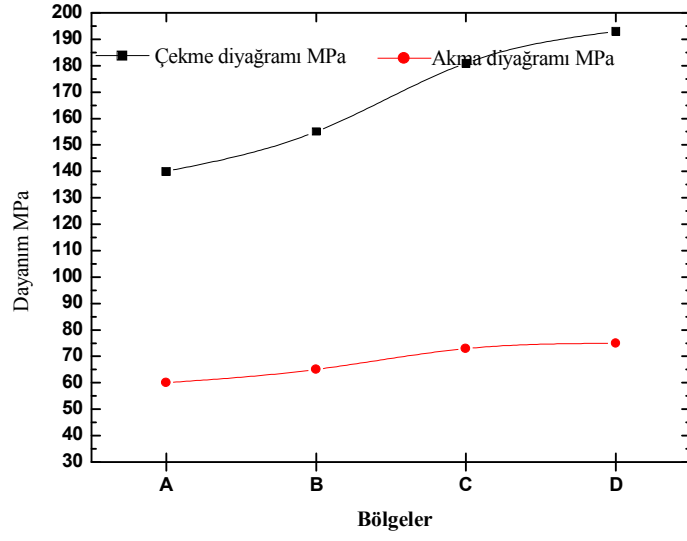


(b)

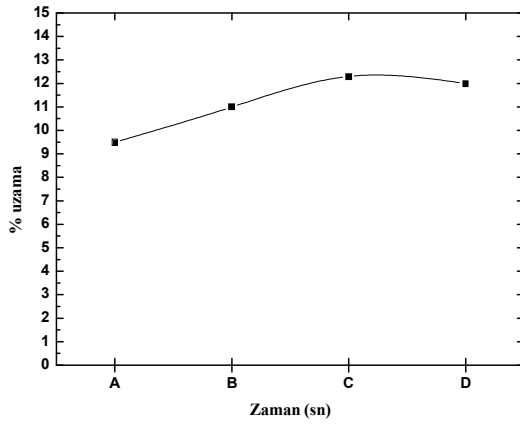


(c)

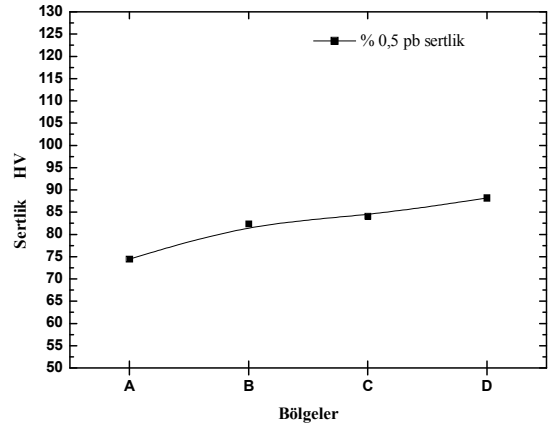
Şekil 5.8. AZ61'e ilave edilen % 0.5 Sn miktarına bağlı a) Çekme, Akma dayanımı b) % Uzama değişimi c) Sertlik değişimi.



(a)

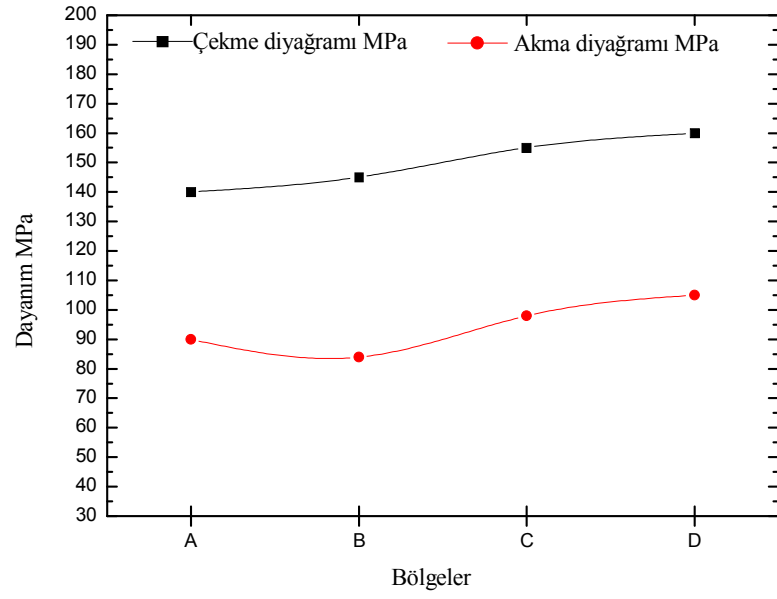


(b)

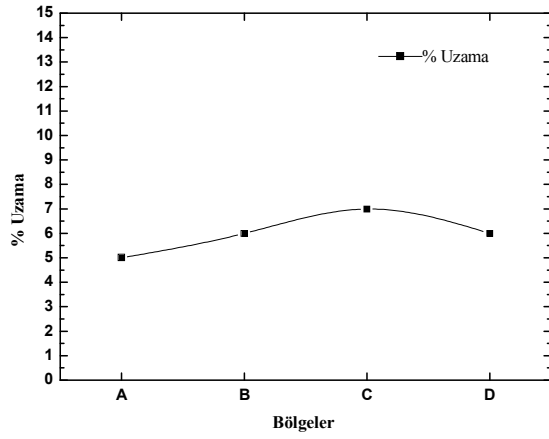


(c)

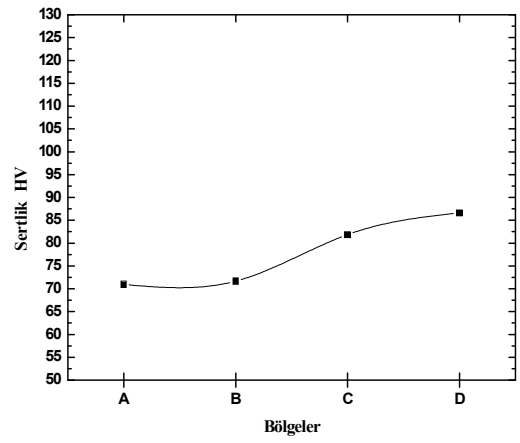
Şekil 5.9. AZ61 'e ilave edilen % 0.5 Pb miktarına bağlı a) Çekme-Akma dayanımı, b) % Uzama değişimi c) Sertlik değişimi.



(a)

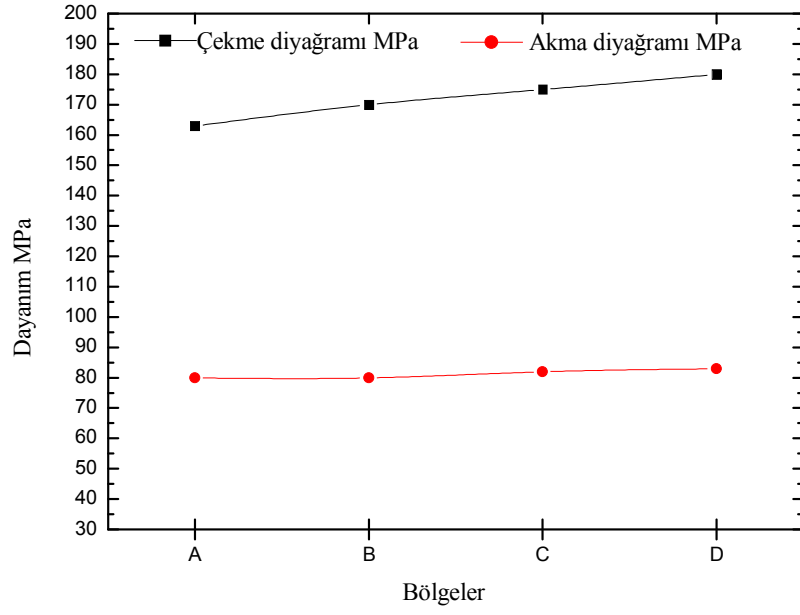


(b)

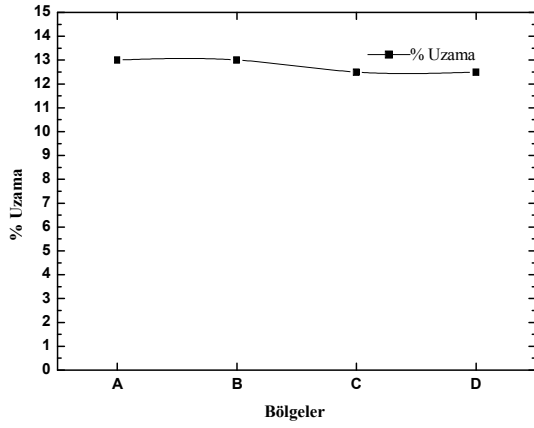


(c)

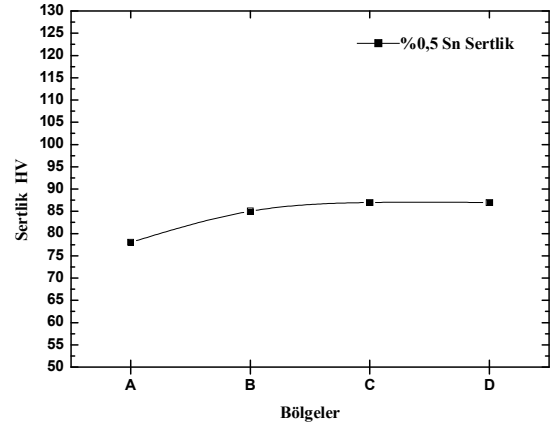
Şekil 5.10. AM60'alaşımının a) Çekme, Akma dayanımı b) % Uzama değişimi c) Sertlik değişimi.



(a)

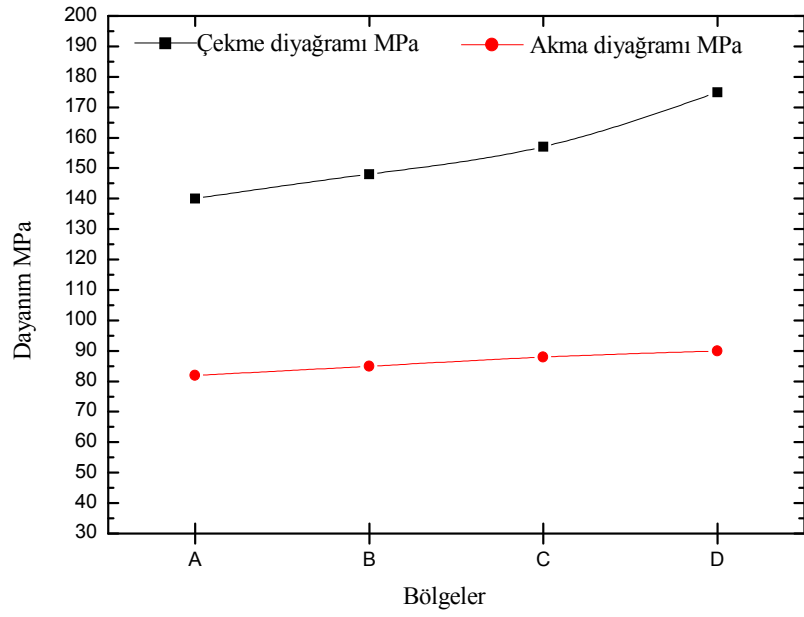


(b)

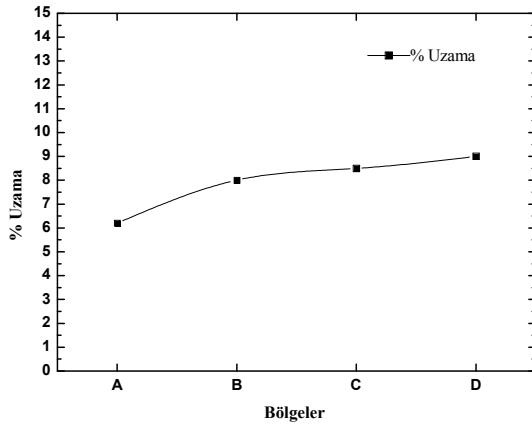


(c)

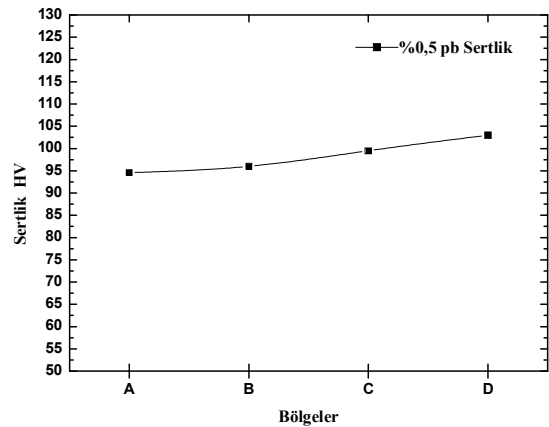
Şekil 5.11. AM60'a ilave edilen %0.5 Sn miktarına bağlı a) Çekme, Akma dayanımı b) % Uzama değişimi c) Sertlik değişimi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.12. AM60'a ilave edilen %0.5 Pb miktarına bağlı a) Çekme, Akma dayanımı b) % Uzama değişimi c) Sertlik değişimi.

AZ61 ve AM60 serisi alaşımların hepsinde döküm kademe kalınlığının azalması ile sertlikte artışlar gözlenmiştir. Herbir seri içerisinde AZ61 alaşımı en yüksek sertliğe sahip olmuştur. % uzama değerlerine bakıldığında AZ61'e ilave edilen Pb'nin alaşımın % uzamasını kayda değer oranda arttırdığı gözlenmiştir. AM60 alaşımında ise Sn' nin % uzama değerlerini büyük oranda arttırdığı tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. MİKRO YAPI SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

AZ61 alaşımının genel mikro yapısı Şekil 5.1 de gösterilmiştir. Yapı genelde a-mg ana matrisi içerisinde tane sınırları boyunca uzanan ötektik ve intermetalik fazlarından meydana geldiği gözükmektedir. Bu fazların MgAl ötektiği ile $Mg_{17}Al_{12}$ intermetaliti olduğu varsayılmaktadır. Şekil 5.2 incelendiğinde AZ61 alaşımına Sn ilavesi ile 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. Şekil 5.3 incelendiğinde ise AZ61 alaşımında Pb iyi bir çözünürlüğe sahip olduğundan Pb ilavesinde $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazına ek olarak Mg_2Pb fazı ortaya çıkmıştır. Ayrıca kurşun $Mg_{17}Al_{12}$ fazını incelediği gözlenmektedir.

Yukarıdaki açıklamalara ilave olarak Kademeli kalıp uygulamasında kalın ve ince kesit arasında mikro yapı açısından belirgin bir fark gözlenmiştir. Yavaş soğuma şartlarında (şekil a) tanelerin kabalaştığı, fakat hızlı soğuma şartlarında ise tane yapısının incelendiği belirlenmiştir. Bilindiği üzere Dökümlerde ızlı soğuma esnasında alt soğuma miktarının artması ile çekirdeklenme için gerekli merkez sayısı artmaktadır. Bu durum, çekirdek merkez sayısının artmasına paralel olarak tanelerinde küçüleceği anlamına gelmektedir. Mikro yapı resimlerinde de bu açıkça görülmektedir.

Şekil 5.4 de ki AM60 alaşımının mikro yapısı incelendiğinde yapının genelde a-mg ile $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarından meydana geldiği görülmektedir. AM60 alaşımında Al miktarının az olmasından dolayı tane sınırlarında ki $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazının şekil 5.1. deki AZ61 alaşımına göre ağ şeklinin daha ince olduğu gözlenmiştir.

AM60 alaşımına Sn ilavesi ile tane sınırları boyunca dağılış olan β ($Mg_{17}Al_{12}$) intermetalik fazının dağılışında bağlantının koştuğu g3zlenmiştir. (şekil 5.5.)

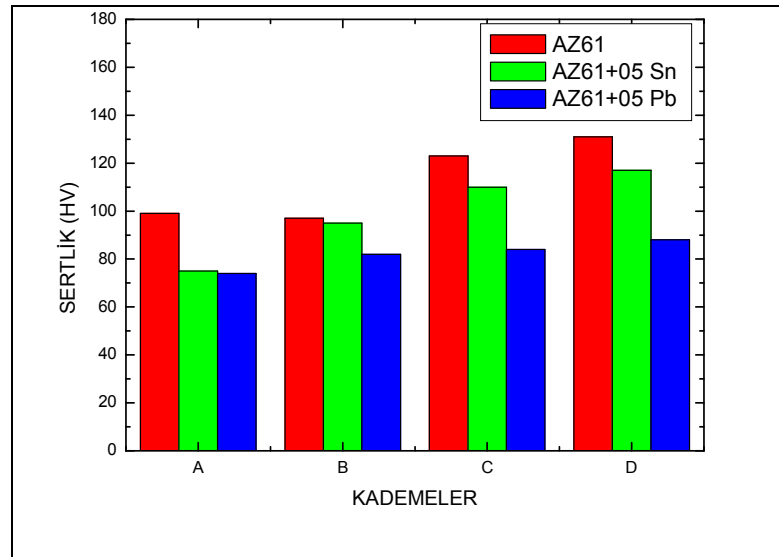
şekil 5.6. da verilen mikro yapı incelendiğinde AM60 alaşımına Pb ilavesinin etkileri AZ61 alaşımına Pb ilavesindeki etkilere benzer etki g3stermiştir. AM60 alaşımının mikro yapıları incelendiğinde hızlı soğuma ile a-mg çekirdek b3lgeleri sıkışmış ve mikro poroziteler azalmıştır. Soğuma hızının y3kselmesi ile tane sınırlarında oluşan $Mg_{17}Al_{12}$ fazının incelendiği tespit edilmiştir.

6.2.MEKANİK DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

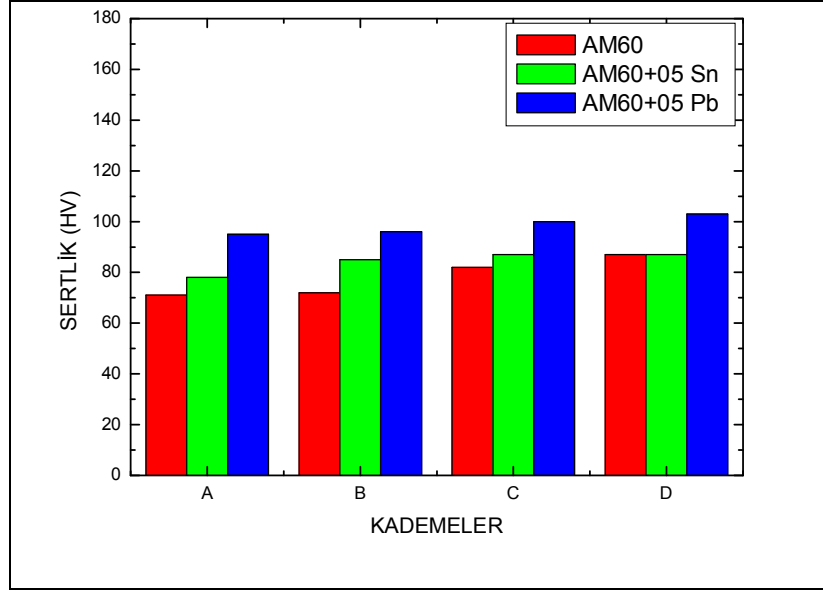
AZ61 ve AM60 alaşımına ilave edilen elementler miktarları ile birlikte ve sağuma hızlarına g3re elde edilmiş olan sertlik, % uzama ve çekme dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi farklı başlıklar halinde aşağıda verilmiştir.

6.2.1. Sertlik Sonuçlarının Değerlendirilmesi

AZ61 ve AM60 alaşımlarına ilave edilen elementler ve soğuma hızlarına bağlı sertlik değerleri topluca şekil 6.1 ve şekil 6.2'de verilmiştir.



şekil 6.1. AZ61 ve AZ61 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) sertlik sonuçları grafiği



Şekil 6.2. AM60 ve AM60 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) sertlik sonuçları grafiği

AZ61 alaşımı incelendiğinde hızlı soğuyan bölgenin sertliği 130 HV iken yavaş soğuyan bölgenin sertliği ise 99 HV dir. Soğuma hızı ile bölgelerin yapıları değişmiş, yavaş soğuyan bölgenin yapısı kaba taneli iken, hızlı soğuyan bölgenin yapısı ince taneli olduğuda şekil 5.1. de ki mikro yapıda açıkça görülmektedir. Kademeli döküm parçada kesit kalınlığının artması ile sertliğin buna bağlı olarak orantılı şekilde arttığı gözlemlenmiştir. AZ61 alaşımına % 0.5 oranında Sn ilavesi alaşımın AZ61 e göre sertliğinde bir miktar azalma gösterebilir. 0.5 Sn ilavesinin alaşımda kayda değer bir değişiklik yapmadığını söyleyebiliriz.

AZ61 alaşımına % 0.5 oranında Pb ilavesi alaşımın tüm kademelerinde sertliği belirgin oranda düşürmüştür. Kademeşi döküm parçanın en kalın kesitli a bölgesinin sertliği 99 HV iken % 0.5 Pb ilavesi bölgenin sertliğini 75 HV ye düşürmüştür. Şekil 5.3. incelendiğinde alaşıma Pb ilavesi ile tanelerin bir miktar büyümesi ve tane sınırlarında çökelti olarak bulunan $Mg_{17}Al_{12}$ fazının ağ şeklinin bozulması sertlik düşmesinin bir sebebi olarak yorumlanabilir. Kademeli döküm parçada kesit kalınlığının sertliğe etkisi bu alaşımda da gözükmemektedir.

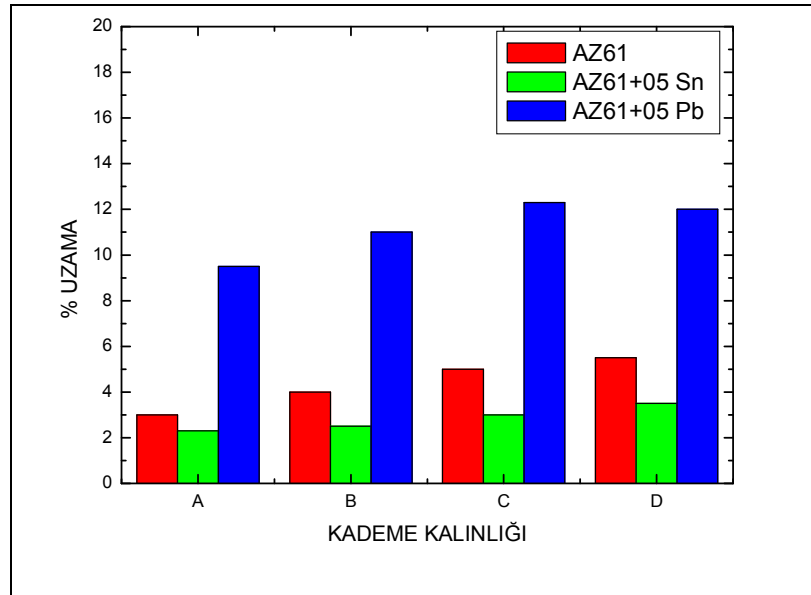
AM60 alaşımının sertlik değerleri incelendiğinde kademeli döküm parçanın kalın kesitli a bölgesi 71 HV iken daha hızlı soğuyan ince kesitli d bölgesinin sertliği 87

HV dir. Buda yine kesit kalınlığından kaynaklanan farklı soğuma ile, kalın kesitli b6lgenin kaba taneli, ince kesitli b6lgenin yapısının daha k6çük taneli olmasından kaynaklandığı varsayılmaktadır. Şekil 5.4.

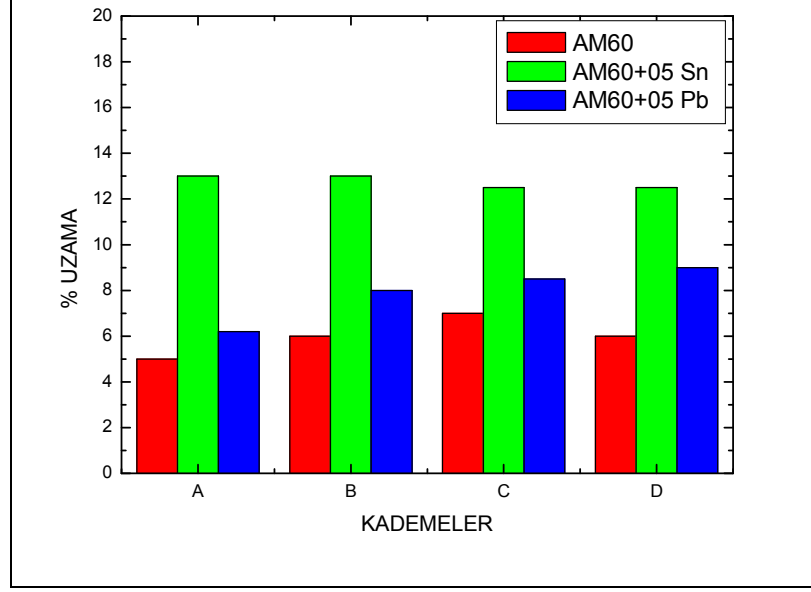
AM60 alaşımına % 0.5 oranında ilave edilen Pb kademeli d6k6m parçanın t6m b6lgelerinde sertliği belirgin oranda arttırmıştır. Alaşıma ilave edilen % 0.5 Sn de alaşımın sertliğini bir miktar t6m kademelerde y6kseltmiştir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 daki mikro yapılar incelendiğinde tane sınırlarında Pb ilavesi ile $Mg_{17}Al_{12}$ fazına ilave olarak ç6kelti t6r6 fazlar g6r6lmektedir. Bunlar b6y6k ihtimalle Mg_2Sn ve Mg_2Pb fazlarıdır. Bu fazlar ç6kelme sertleşmesi t6r6 bir sertleşmeye neden olduğu varsayılmaktadır.

6.2.2. % Uzama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

AZ61 ve AM60 alaşımına ilave edilen elementlerin soğuma hızlarına bağlı % uzama değerleri topluca Şekil 6.3 ve Şekil 6.4' de verilmiştir.



Şekil 6.3. AZ61 ve AZ61 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) % uzama sonuçları grafiği



Şekil 6.4. AM60 ve AM60 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) % uzama sonuçları grafiği

AZ61 alaşımının % uzamaları incelendiğinde kademeli döküm parçanın kalın kesitinden ince kesitine doğru uzamanın arttığı gözlemlenmiştir. kurşun ilavesi ile uzamada kayda değer bir yükselme gözlenmiştir. AZ61 alaşımına ilave edilen % 0.5 Pb nin uzamaya katkısı tane sınırlarında meydana gelen değişik morfolojide oluşması olarak açıklanabilir.

AZ61 alaşımına Pb ilavesi ile meydana gelen mikro yapısı AZ61 alaşımının mikro yapısı ile kıyaslandığında tane sınırlarında meydana gelen $Mg_{17}Al_{12}$ fazı değişikliğe uğramıştır. AZ61 alaşımında Mg_2Pb fazını sünek sınıfında kabul etmek mümkündür. Dolayısı ile tane sınırında biriken $Mg_{17}Al_{12}$ fazı ile birlikte nispeten sünek olan Mg_2Pb fazı % uzamayı arttıran bir etken olabilir. Diğer taraftan alaşıma ilave edilen % 0.5 Sn, Mg_2Sn sünek fazını oluşturmasına rağmen uzamadaki düşüş bu fazın Pb' un aksine yapıda çok ince çökelti yığılılığı halinde bulunmasına dayandırılabilir.

AM60 alaşımında kademeli döküm parçada soğuma hızının artması ile uzamanında az da olsa arttığı görülmüştür.

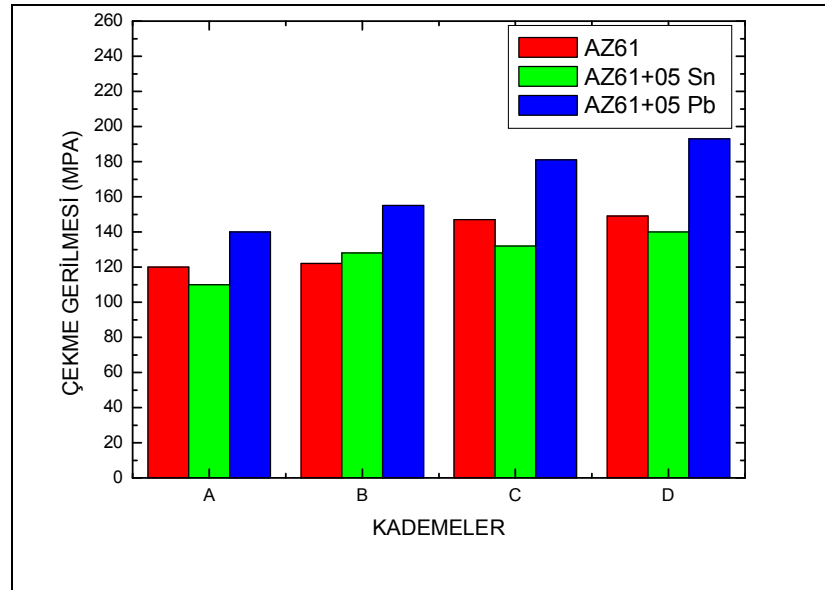
Alaşıma ilave edilen Pb uzamayı bir miktar arttırırken Sn uzamada kayda değer bir yükseltme göstermiştir. Yine uzamalardaki Pb ve Sn nin katkısı tane sınırlarında

meydana gelen intermetalik fazların değişik morfolojide oluşması olarak açıklanabilir.

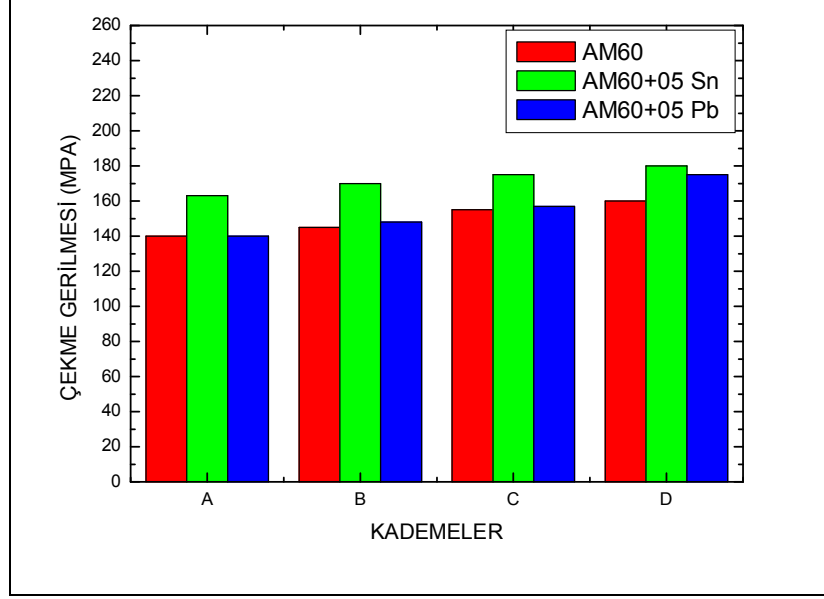
Mikro yapılar incelendiğinde tane sınırlarında meydana gelen $Mg_{17}Al_{12}$ fazının değişikliğe uğradığı açıkça görülmektedir. Aizawa ve ark.(2006) [28] Mg_2Sn fazlarının mağnezyum metali içerisindeki oluşum sentezini ve elektrik iletkenliğini incelemiş Mg_2Sn fazını sünek olarak sınıflandırmıştır. [28] Bu noktadan AM60 alaşımında $Mg_{17}Al_{12}$ fazı kırılğan bir faz olmasına rağmen nispeten sünek olan Mg_2Pb fazı % uzamaya azda olsa etki eden bir etken olarak kabul edilebilir.

6.2.3. Çekme Gerilimi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

AZ61 ve AM60 alaşımına ilave edilen elementlerin soğuma hızlarına bağlı çekme gerilmesi değerleri topluca Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilmiştir



Şekil 6.5. AZ61 ve AZ61 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) çekme gerilmesi sonuçları grafiği



Şekil 6.6. AM60 ve AM60 alaşımına ilave edilen elementlerin (Sn-Pb) çekme gerilmesi sonuçları grafiği.

Şekil 6.5. ve şekil 6.6 da kademeli döküm parçanın ve ilave elementlerin etkileri toplu halde gösterilmiştir. Şekilden bu çalışmada AZ61 ve AM60 alaşımının kademeli döküm parçanın kesit kalınlığı ile hızlı soğuması ile Çekme geriliminin kademeli olarak arttığı gözlemlenmektedir.

AZ61'e ilave edilen % 0.5 Sn çekme dayanımında belirgin bir değişiklik göstermezken Pb ilavesinde çekme dayanımının gözle görülür oranda arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 6.6. incelendiğinde AM60 alaşımına % 0.5 oranında ilave edilen Pb ve Sn alaşımın çekme dayanımını bir miktar arttırdığı görülmektedir. Sn ve Pb'nin AZ61 ve AM60 da gösterdiği etkiyi daha önce % uzama ve sertlik bölümlerinde değerlendirildiği gibi Mg_2Sn fazı çökelti halinde yapıda bulunduğu dislokasyonların hareketini engelleme ve buna bağlı olarak çekme dayanımında bir miktar artış olarak sonuçlanabilir. Diğer taraftan Pb ilavesi Mg_2Pb fazını oluşturmanın yanında Şekil 5.3. ve Şekil 5.6. da görüldüğü üzere taneler arası $Mg_{17}Al_{12}$ fazının dağılımını , genişliğini ve sürekliliğini azaltmıştır. Buna bağlı olarak taneler arası bağın güçlü olacağı ve mesafenin az olacağından çekme dayanımının yükselmesi beklenebilir.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada AZ61 ve AM60' alaşımları ile Alaşımlara ilave edilen % 0.5 Sn ve Pb'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;

- 1) Sertlik test sonuçlarına göre; AZ61'e ilave edilen Sn ve Pb alaşımın sertliğini düşürdüğü gözlenmiştir.
- 2) Sertlik test sonuçlarına göre; AM60'a ilave edilen Sn alaşımın sertliğini pek etkilemediği gözlenmiştir. Yine AM60 alaşımına ilave edilen Pb ise alaşımın sertliğini arttırmıştır.
- 3) Yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre AZ61'e ilave edilen Sn alaşımın % uzamasını düşürdüğü gözlenmiştir. Yine AZ61 alaşımına ilave edilen Pb ise alaşımın % uzamasını arttırmıştır. Sn alaşımın çekme dayanımını az miktarda düşürürken Pb ise arttırmıştır.
- 4) Yapılan çekme deneyi sonuçlarına göre AM60'a ilave edilen Sn alaşımın % uzamasını belirgin oranda arttırdığı gözlenmiştir. Yine AM60 alaşımına ilave edilen Pb ise alaşımın % uzamasını düşük oranda arttırmıştır. Sn alaşımın çekme dayanımını belirgin oranda arttırırken Pb ise çok değişikliğe yol açmamıştır.
- 5) Mikroyapılar incelendiğinde, AZ61 ve AM60 alaşımlarının mikroyapılarının α +Mg ana matrisinden oluştuğu ve tane sınırlarında $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazın oluştuğu gözlenmiştir.

- 6) Soğuma hızının artması ile yapının morfolojisinin değişerek α +Mg tanelerini küçültmüştür Ayrıca intermetalik fazlar inceleyerek yapıda dağılım göstermiştir.
- 7) AZ61 alaşımına Sn ilavesi ile 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.
- 8) AZ61 alaşımında Pb iyi bir çözünürlüğe sahip olduğundan Pb ilavesinde $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazına ek olarak Mg_2Pb fazı ortaya çıkmıştır.
- 9) Yavaş soğuma şartlarında tanelerin kabalaştığı fakat hızlı soğuma şartlarında ise tane yapısının incelendiği belirlenmiştir.
- 10) AM60 alaşımının mikro yapısı genelde a-mg ile $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarından meydana geldiği görülmektedir.
- 11) AM60 alaşımına Sn ilavesi ile tane sınırları boyunca dağılmış olan β ($Mg_{17}Al_{12}$) intermetalik fazının dağılımında bağlantının kopduğu gözlenmiştir.
- 12) AM60 alaşımına Pb ilavesi ile Pb'nin $Mg_{17}Al_{12}$ fazını incelttiği gözlenmiştir.
- 13) AZ61 ve AM60 alaşımlarda her iki elementinde (Sn – Pb) alaşıma birlikte ilavesi denenerek mikro yapı ve mekanik testlerin sonuçlarına bakılabılır.
- 14) Alaşımların içindeki inklizyonların engellenmesi için filtre kullanılması önerilebilir.

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, 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 2000*, 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, 669.2, Honeycombe, R:V:K., Hancock, p., *Metallurgy and Materials Science Series*, New York, 169-210 (1989).
7. Beffort, O. and Hausmann, C., “Das leichtmetal magnesium und seine egerungen”, *EMPA Mg seminar*, Thun, 15-22 (1999).
8. Vogel, M., “Mikrostruktur und kriechverhalten von magnesium-druckgusslegierungen im system Mg-Zn-Al-Ca”, Doktors , *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, (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., 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., 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., 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*, Aghion E., Eliezer D., Dead Sea Magnesium, 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., Viswanathan, S., 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., Yang, N.Y.C., “The development of lightweight hydride alloys based on magnesium”, Master, *Sandia National Laboratories Department of Energy*, California, 1-35 (1996).
27. Baker, H., “, Alloy phase diagrams,volum”, *ASM Handbook*, 3: 280-285 (1998).

28. Aizawa, T., 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. Aghion, E. and Bronfin, B., “Physical metallurgy of Mg alloys”, *Magnesium Technologies Users Assotiation*”, 7-44 (2005).
32. 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).
33. Feng, X. and Xuegang, M., Yangshan, S., “Microstructures and mechanical properties of AZ91 alloy with combined additions of Ca and Si”, *Journal Materials and Science*, 41: 4725-4731 (2006).
34. 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).
35. 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).
36. Zhang Z., Couture, A. and Luo, A., “An Investigation of the properties of Mg-Zn-Al alloys”, *Scripta Materialia*, 39: 45-53 (1998).
37. 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).
38. 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*, Sergio, G., Torino, 25-26 (1983).
39. Ünal, M. “ Magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin incelenmesi” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2008).

40. 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).
41. Looze, G.; Carrig, J. and Nguyen, V., “High-yield, high-integrity, permanent mould magnesium casting” *Foundry Trade Journal*, 3629: 280-282 (2005).
42. West, C. E. and Gribach, T. E., “Permanent mould casting”, *Metals Handbook. ASM international*, Metals Park, 15: 275-285 (1988).
43. 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).
44. Ha, W. and Kim, Y., “Effects of cover gases on melt protection of mg alloys”, *Journal of Alloys and Compounds*, 422: 208-213 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Özcan BÜYÜKGENÇ; 1975 Yılında Karabük'te doğdu.. ilk ve orta öğrenimini Karabük'te tamamladı. 1994 yılında "Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesini kazandı ve 1998 yılında bu üniversiteden mezun oldu. 1999 yılı Kasım ayında Milli Eğitim Bakanlığınca Kars iline sınıf öğretmeni olarak atandı ve burada 4 yıl kadar öğretmenlik ve okul yöneticilikleri yaptı. 2003-2008 yılları arasında Karaman İl Milli eğitim Müdürlüğü emrinde sınıf öğretmeni, Avrupa Birliği İl Koordinatörü ve İl Milli Eğitim Şube Müdürü olarak Görev yaptı. 2008 Yılı Aralık ayında Karabük Üniversitesine Sağlık Kültür ve Spor Daire Başkanı olarak atandı. Ve buradaki görevi halen devam etmektedir. 2008 yılında "Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi ABD' da Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen "Karabük Üniversitesi" Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi ABD' da Yüksek Lisans eğitimini sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Ergenekon Mah. Ergenekon cad. 34/1 Merkez KARABÜK
Tel : 0505 809 42 54 - 037 433 33 78
E-posta : buyukgenc@hotmail.com